



Министерство образования и науки Украины  
Севастопольский национальный технический  
университет

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДВУХСТУПЕНЧАТОГО КОСОЗУБОГО  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Детали машин»  
для студентов специальности «Судовождение»  
всех форм обучения

Севастополь

2008



УДК 621.81

Методические указания к лабораторной работе «Изучение конструктивных элементов двухступенчатого косозубого цилиндрического редуктора» по дисциплине «Детали машин» для студентов специальности «Судовождение» всех форм обучения / Разраб. Н.И. Варминская. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – 12 с.

Цель методических указаний: оказание помощи студентам в изучении зубчатых передач и конструкции цилиндрического редуктора. Работа способствует углублению и закреплению теоретических знаний и подготавливает студентов специальности «Судовождение» всех форм обучения к выполнению курсового проекта.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры технической механики и машиноведения 20 ноября 2007 г., протокол № 3.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедры Технической механики и машиноведения Калинин М. И.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Цель работы .....                                                        | 3  |
| 1. Общие сведения о зубчатых передачах и редукторах .....                | 3  |
| 2. Описание одной из возможных конструкций лабораторного редуктора ..... | 7  |
| 3. Перечень оборудования и инструментов .....                            | 8  |
| 4. Порядок выполнения работы .....                                       | 8  |
| 5. Содержание отчета .....                                               | 10 |
| 6. Список контрольных вопросов .....                                     | 10 |
| Библиографический список .....                                           | 10 |
| Приложение А. Таблицы стандартных параметров .....                       | 11 |

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** приобретение практических навыков расчета основных параметров цилиндрического двухступенчатого редуктора и изучение его конструктивных особенностей.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ И РЕДУКТОРАХ

*Зубчатая передача* (ЗП) является механизмом, который с помощью зубчатого зацепления передает или преобразует движение с изменением угловых скоростей и моментов. Данные передачи применяются в широком диапазоне областей и условий работы: от часовых механизмов до турбогенераторов на электростанциях, для передачи мощностей от ничтожно малых до десятков тысяч киловатт, с диаметром колес от нескольких миллиметров до нескольких метров.

По окружной скорости ЗП делятся на тихоходные  $v < 3$  м/с, среднескоростные  $v = 3 \dots 5$  м/с и быстроходные  $v > 15$  м/с.

*Редуктор* – механизм, служащий для понижения угловой скорости (частоты вращения) и увеличения вращающего момента входного (быстроходного) вала *I* по отношению к выходному (тихоходному) валу *III*. Механизмы, повышающие частоту вращения и понижающие вращающие моменты, называются мультипликаторами. На рисунке 1 представлена кинематическая схема одного из вариантов двухступенчатого редуктора с различным расположением валов и передач, выполненных по развернутой схеме.

Основной кинематической характеристикой редуктора является *передаточное отношение*, определяемое по формуле

$$u = n_{вх} / n_{вых} ,$$

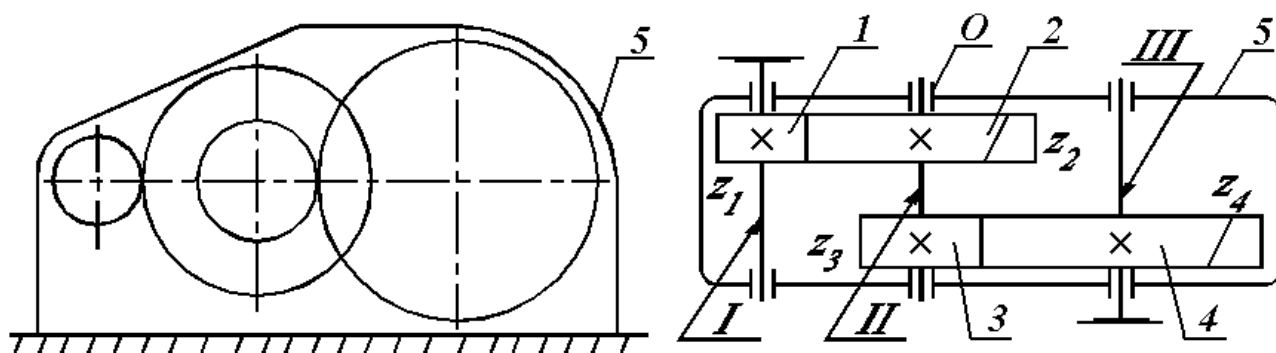
где  $n_{\text{вх}}$ ,  $n_{\text{вых}}$  – соответственно частота вращения входного вала  $I$  и выходного вала  $III$  (рисунок 1). Для двухступенчатого редуктора передаточное отношение может быть вычислено по формуле

$$u = u_B u_T,$$

где  $u_B$ ,  $u_T$  – соответственно передаточные отношения быстроходной и тихоходной ступеней, которые в свою очередь вычисляются так

$$u_B = z_2/z_1, \quad u_T = z_4/z_3.$$

Здесь  $z_1$ ,  $z_3$ ,  $z_2$ ,  $z_4$  – соответственно количество зубьев шестерен  $1$ ,  $3$  и колес  $2$ ,  $4$  (рисунок 1).



$z_1, z_3, z_2, z_4$  – числа зубьев шестерен  $1, 3$  и колес  $2, 4$ ;  $5$  – корпус;  
 $I, II, III$  – быстроходный, промежуточный, тихоходный валы;  
 $O$  – опоры

Рисунок 1 – Кинематическая схема цилиндрического двухступенчатого редуктора

Для оценки эффективности работы редуктора с точки зрения потерь на трение в зацеплении и подшипниках используется такой показатель как *коэффициент полезного действия*, который определяется по формуле

$$\eta = \eta_B \eta_T \eta_{n.к}^3,$$

где  $\eta_B$  и  $\eta_T$  – к.п.д., соответственно, быстроходной и тихоходной ступеней зубчатых передач;  $\eta_{n.к}$  – к.п.д. пары подшипников качения;  $\eta_{n.к} = 0,99$ .

Коэффициент полезного действия отдельной ступени редуктора определяется как

$$\eta_{з.н} = 1 - 0,5\pi\varepsilon_\alpha f' \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right),$$

где  $f'$  – коэффициент трения ( $f' = 0,06 \dots 0,1$ ), принимаем  $f' = 0,1$ ;  
 $\varepsilon_\alpha$  – коэффициент торцового перекрытия

$$\varepsilon_{\alpha} = \left[ 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cos \beta,$$

где  $\beta$  – угол наклона зубьев.

Цилиндрические редукторы служат для согласования режима работы двигателя с исполнительным органом машины при окружных скоростях до 30 м/с при общем передаточном числе от 1 до 400 и к.п.д. 0,95...0,98.

В редукторных передачах во избежание увеличения габаритов максимальные значения передаточных чисел (они выбираются из стандартизованных рядов) тихоходной и промежуточной передач принимаются 5,6...6,3, быстроходной – 6,3...8; для быстроходной и тихоходной ступеней они должны быть близкими по значению; причем в зацеплении участвуют шестерня и колесо с одинаковыми модулями.

Основные параметры ЗП стандартизованы, что облегчает и удешевляет их производство, упрощает компоновку новых вариантов за счет использования стандартных узлов и деталей.

Большинство цилиндрических зубчатых редукторов общего назначения изготавливают с косозубыми колесами и эвольвентным зацеплением, которые по сравнению с прямозубыми обладают большей нагрузочной способностью и быстроходностью.

Широкое распространение редукторов по сравнению с другими видами передаточных механизмов обусловлено их достоинствами: большая долговечность и надежность работы; высокий к.п.д.; постоянство передаточного числа; большой диапазон передаваемых мощностей; компактность; небольшие нагрузки на валы и опоры передачи. К недостаткам относятся: шум при больших скоростях; относительно большая металлоемкость; высокая жесткость, не позволяющая компенсировать динамические нагрузки; невозможность бесступенчатого изменения передаточного числа.

Наибольшее распространение для передач общего назначения получили качественные углеродистые стали: нелегированные – 35, 40, 45, 50; легированные – 40Х, 35ХМ, 50ХН, 50Г и близкие к ним с использованием объемной или поверхностной закалки. Для передач, работающих с частыми переключениями, перегрузками и ударами, когда наряду с высокой твердостью рабочих поверхностей требуется достаточная пластичность сердцевины и противоударная стойкость зубьев, целесообразно применять стали 15Х, 20Х, 20ХНМ, 18ХГТ и т.п. с последующей цементацией и термообработкой. Для колес больших размеров применяются углеродистые и низколегированные стали в нормализованном состоянии. Нередко такие колеса изготавливаются литьем из

сталей 40Л, 45Л, 50Л или 40ХЛ, 30ХГСЛ и т.п. Для изготовления средненагруженных тихоходных зубчатых колес больших размеров, не испытывающих ударных нагрузок, целесообразно использование модифицированных чугунов повышенной прочности СЧ 28 – 48, СЧ 32 – 52, СЧ 35 – 56.

Корпусные детали редукторов чаще выполняют литыми из чугуна СЧ 15 или алюминиевого сплава АЛ11. Наиболее распространена для цилиндрических редукторов конструкция корпусных деталей с разъемом по плоскости, в которой лежат продольные оси валов. Форму корпуса и крышки образуют вертикальные, горизонтальные и наклонные (на крышке) поверхности с минимальным числом дополнительных элементов: строповочных «ушек», полок для болтов и штифтов, соединяющих крышку и корпус, а также бобышек под подшипниковые узлы, смотровые окна, отверстия для заливки и слива масла или его принудительной подачи, маслоуказатели и отдушины. Для создания необходимой жесткости наружная поверхность стенок корпуса редуктора снабжается ребрами жесткости, а присоединительные поверхности корпуса и крышки изготавливают в виде достаточно широких горизонтальных полок, которые пересекаются с поверхностями бобышек подшипниковых узлов. Днище корпуса выполняется с уклоном в сторону сливного отверстия или двухскатным с уклоном к оси симметрии (для полного слива масла).

Для уплотнения выходных концов валов рекомендуется использовать уплотнительные манжеты в привертных и закладных крышках. Горизонтальный разъем корпусных деталей уплотняется специальной герметизирующей пастой, прокладками из специального промасленного картона или паронита. Сливные отверстия закрывают пробками с уплотняющими прокладками.

Смазывание узлов редукторов общего применения уменьшает износ его деталей, обеспечивает отвод тепла и продуктов износа от трущихся поверхностей, а также защищает от коррозии. От правильного выбора смазочных материалов, методов смазывания и способов уплотнения зависит работоспособность и долговечность передач. В редукторах общемашиностроительного применения смазывание осуществляется непрерывной подачей масла без избыточного давления, т.е. окунанием зубьев колеса в масло, залитое в корпус редуктора. Объем масляной ванны принимается таким, чтобы обеспечить отвод выделяющегося в зацеплении тепла к стенкам корпуса. При окружных скоростях, превышающих 15 м/с, применяется струйное смазывание под давлением че-



рез сопла. Уровень масла в масляной ванне контролируется с помощью маслоуказателей или пробки.

На валах редуктора чаще устанавливаются конические роликоподшипники, воспринимающие значительные радиальные и осевые нагрузки.

## 2. ОПИСАНИЕ ОДНОЙ ИЗ ВОЗМОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛАБОРАТОРНОГО РЕДУКТОРА

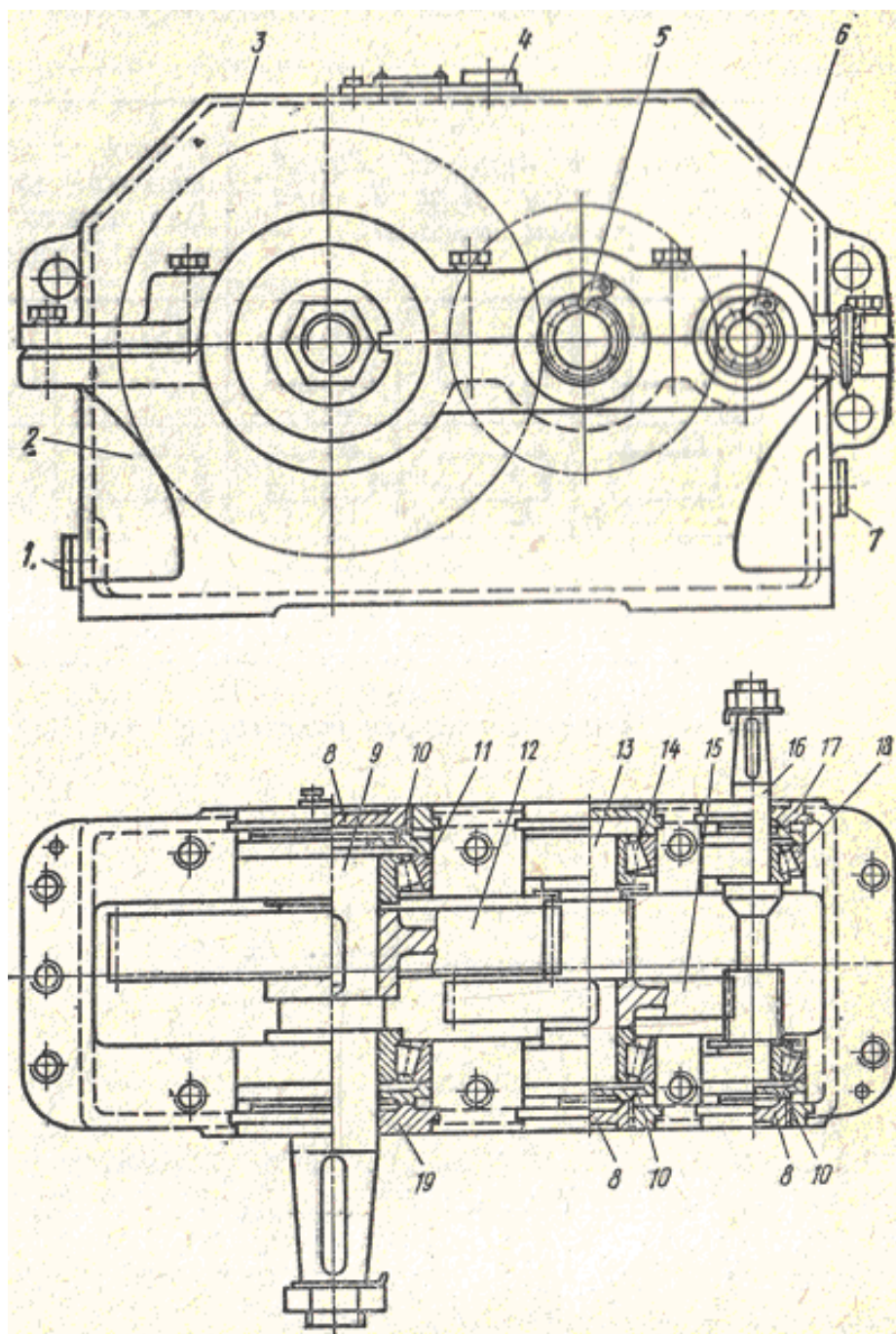


Рисунок 2 – Общий вид цилиндрического двухступенчатого редуктора

Двухступенчатый цилиндрический редуктор состоит из передач цилиндрическими зубчатыми колесами 2, 4 и шестернями 1, 3 (рисунок 1).

На рисунке 2 в качестве примера представлен общий вид редуктора типа Ц2У. Корпус редуктора 2 и крышка 3 соединены в горизонтальной плоскости болтами и штифтами. Вращательное движение от быстроходной валшестерни 16 через зубчатое колесо 15, промежуточную валшестерню 13 и соединенное с ней зубчатое колесо 12 передается на выходной (тихоходный) вал 9. Валы установлены в корпус редуктора на кони -

ческих роликотподшипниках 11, 14 и 18. В редукторе использовано зубчатое эвольвентное косозубое зацепление. Регулировка подшипников производится регулировочными винтами 8 через нажимные шайбы 10. Винты фиксируются замками 5 и 6. Неподвижные соединения уплотняются прокладками, а выходные концы валов – за счет уменьшения зазоров между валами и закладными крышками 17 и 19. В верхней части крышки 3 редуктора предусмотрено отверстие для залива масла, закрытое пробкой 4, а для слива масла – отверстие в нижней части корпуса, закрытое пробкой 1. Для контроля уровня масла служит контрольная пробка 7. Смазывание осуществляется из общей масляной ванны: деталей зацеплений – окунанием, а подшипников – разбрызгиванием.

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТОВ

1. Редуктор двухступенчатый цилиндрический
2. Штангенциркуль
3. Набор ключей
4. Линейка

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Ознакомиться с конструкцией цилиндрического редуктора и его деталей по имеющимся в лаборатории образцам, выяснить назначение каждой из них.

- 4.1. Снять крышку редуктора, разобрать редуктор.
- 4.2. Составить кинематическую схему редуктора с условным обозначением валов передач.
- 4.3. Произвести измерение основных параметров зацепления быстроходной и тихоходной ступеней, указанных в таблице 1, и результаты записать в таблицу.

Таблица 1 – Измеряемые параметры

| Параметр |                               | Обозначение | Размерность | Быстроходная ступень | Тихоходная ступень |
|----------|-------------------------------|-------------|-------------|----------------------|--------------------|
| 1        | Число зубьев шестерни         | $Z_1$       | -           |                      |                    |
| 2        | Число зубьев колеса           | $Z_2$       | -           |                      |                    |
| 3        | Межосевое расстояние          | $a_w$       | мм          |                      |                    |
| 4        | Рабочая ширина венца передачи | $b_w$       | мм          |                      |                    |
| 5        | Длина зуба колеса             | $l$         | мм          |                      |                    |
| 6        | Диаметр вершин шестерни       | $d_{a1}$    | мм          |                      |                    |

Примечание – Межосевое расстояние  $a_w$  должно соответствовать ГОСТ 2185-86.



- 4.4. Рассчитать параметры зубчатого зацепления и заполнить таблицу 2.
- 4.5. Рассчитать коэффициент полезного действия редуктора.
- 4.6. Выполнить эскиз узла (по указанию преподавателя); проставить габаритные и присоединительные размеры.

Таблица 2 – Вычисляемые параметры

| Параметр |                                    | Обозначение | Размерность | Формула                             | Быстроходная ступень |           | Тихоходная ступень |           |
|----------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|--------------------|-----------|
|          |                                    |             |             |                                     | подстановка          | результат | подстановка        | результат |
| 1        | Передаточное число                 | $u$         | -           | $z_2/z_1$                           |                      |           |                    |           |
| 2        | Общее передаточное число редуктора | $u_{общ}$   | -           | $u_B \cdot u_T$                     |                      |           |                    |           |
| 3        | Угол наклона зубьев                | $\beta$     | град        | $\arccos(b_w/l)$                    |                      |           |                    |           |
| 4        | Модуль                             | $m$         | мм          | $\frac{2a_w \cos \beta}{z_1 + z_2}$ |                      |           |                    |           |
| 5        | Высота зуба                        | $h$         | мм          | $(2h_a^* + c^*)m$                   |                      |           |                    |           |
| 6        | Диаметр делительный шестерни       | $d_1$       | мм          | $mz_1/\cos \beta$                   |                      |           |                    |           |
| 7        | Диаметр делительный колеса         | $d_2$       | мм          | $mz_2/\cos \beta$                   |                      |           |                    |           |
| 8        | Диаметр вершин шестерни            | $d_{a1}$    | мм          | $d_1 + 2h_a^*m$                     |                      |           |                    |           |
| 9        | Диаметр вершин колеса              | $d_{a2}$    | мм          | $d_2 + 2h_a^*m$                     |                      |           |                    |           |
| 10       | Диаметр впадин шестерни            | $d_{f1}$    | мм          | $d_1 - 2(h_a^* + c^*)m$             |                      |           |                    |           |
| 11       | Диаметр впадин колеса              | $d_{f2}$    | мм          | $d_2 - 2(h_a^* + c^*)m$             |                      |           |                    |           |
| 12       | Межосевое расстояние               | $a_w$       | мм          | $(d_1 + d_2)/2$                     |                      |           |                    |           |

Примечания: 1. Модуль  $m$  должен соответствовать ГОСТ 9563-80.

2. Коэффициент высоты головки  $h_a^* = 1$ .

3. Коэффициент радиального зазора  $c^* = 0,25$ .

Высота зуба  $h$  (для сравнения):  $(d_a - d_f)/2$ , мм.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Цель работы.

5.2. Кинематическая схема редуктора.

- 5.3. Таблица измеряемых параметров (табл. 1).
- 5.4. Таблица расчетных параметров (табл. 2).
- 5.5. Расчет коэффициента полезного действия.
- 5.6. Эскиз узла с указанием размеров.

## **6. СПИСОК КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ**

При подготовке к лабораторной работе и ее выполнении необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Каково назначение редуктора?
2. Изменяется ли мощность, частота вращения, крутящий момент при переходе с одного вала редуктора к другому?
3. Что такое передаточное отношение зубчатой передачи, редуктора? Как его вычислить?
4. Для чего применяются многоступенчатые редукторы? Исходя из чего происходит разбивка общего передаточного числа редуктора?
5. От чего зависит к.п.д. редуктора?
6. Назовите основные кинематические параметры редуктора.
7. Каким образом редуктор крепится к раме или фундаментной плите?
8. Способы смазки зубчатых передач и подшипников?
9. Какие из параметров зубчатой передачи могут быть измерены, а какие – рассчитаны?

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
2. Методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу «Основы конструирования машин» «Изучение конструктивных элементов двухступенчатого косозубого цилиндрического редуктора» для студентов специальностей 12.01, 12.02 / Сост. В.М. Пронин, В.П. Сердобольская. – Севастополь, 1993. – 14 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### (справочное)

### Таблицы стандартных параметров

**Таблица А.1 – Номинальные передаточные числа цилиндрических зубчатых передач (ГОСТ 2185-66 или СТ СЭВ 312-76)**

|       |     |       |      |       |     |      |     |      |      |      |      |     |
|-------|-----|-------|------|-------|-----|------|-----|------|------|------|------|-----|
| Ряд 1 | 1,0 | -     | 1,25 | -     | 1,5 | -    | 2,0 | -    | 2,5  | -    | 3,0  | -   |
| Ряд 2 | -   | 1,125 | -    | 1,375 | -   | 1,75 | -   | 2,25 | -    | 2,75 | -    | 3,5 |
| Ряд 1 | 4,0 | -     | 5,0  | -     | 6,0 | -    | 8,0 | -    | 10,0 | -    | 12,0 | -   |
| Ряд 2 | -   | 4,5   | -    | 5,5   | -   | 7,0  | -   | 9,0  | -    | 11,0 | -    | -   |

**Таблица А.2 – Межосевые расстояния цилиндрических зубчатых передач, мм**

|       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Ряд 1 | 40  | 50  | 63  | -   | 80  | -   | 100 | -   | 125 | -   | 160 | -   | 200  | -    |
| Ряд 2 | -   | -   | -   | 71  | -   | 90  | -   | 112 | -   | 140 | -   | 180 | -    | 225  |
| Ряд 1 | 250 | -   | 315 | -   | 400 | -   | 500 | -   | 630 | -   | 800 | -   | 1000 | -    |
| Ряд 2 | -   | 280 | -   | 355 | -   | 450 | -   | 560 | -   | 710 | -   | 900 | -    | 1120 |

**Таблица А.3 – Модули нормальные цилиндрических зубчатых колес, мм (ГОСТ 9563-80)**

|       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ряд 1 | 1,0  | -     | 1,25 | -     | 1,5  | -    | 2,0  | -    | 2,5  | -    | 3,0  | -    |
| Ряд 2 | -    | 1,125 | -    | 1,375 | -    | 1,75 | -    | 2,25 | -    | 2,75 | -    | 3,5  |
| Ряд 1 | 4,0  | -     | 5,0  | -     | 6,0  | -    | 8,0  | -    | 10,0 | -    | 12,0 | -    |
| Ряд 2 | -    | 4,5   | -    | 5,5   | -    | 7,0  | -    | 9,0  | -    | 11,0 | -    | 14,0 |
| Ряд 1 | 16,0 | -     | 20,0 | -     | 25,0 | -    | 32,0 | -    | 40,0 | -    | 50,0 | -    |
| Ряд 2 | -    | 18,0  | -    | 22,0  | -    | 28,0 | -    | 36,0 | -    | 45,0 | -    | 55,0 |

Заказ № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г. Тираж \_\_\_\_\_ экз.  
Изд-во СевНТУ