

УДК 621.831

**Р.Ш. Варсимашвили**, проф., **М.Р. Кахиани**, асоц. проф.,  
**З.Р. Варсимашвили**, инж.,  
 Грузинский технический университет, Грузия  
 Инженерная академия Грузии  
 Тел./Факс: + 995 322366773; E-mail: merabik11@hotmail.com

## НОВЫЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ С ПЕРЕМЕННЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ОТНОШЕНИЕМ

*В статье приведены новые передачи, в которых зубчатые венцы ведущих и ведомых колес оснащены равновысокими зубьями полной и неполной длины, расположенными вдоль плоских или пространственных кривых. Приведены разные виды этих передач и вариаторов скорости. Рассчитаны некоторые кинематические параметры данных передач.*

**Ключевые слова:** зубчатые передачи, передаточные отношения, ведущие и ведомые колеса, зубья.

### Введение

Современным машинам часто предъявляются требование, осуществить движение исполнительных органов по заданному закону переменного передаточного отношения.

Для решения этой задачи, в настоящее время, используются зубчатые передачи с некруглыми цилиндрическими колесами. Их отрицательной стороной считаются высокие динамические характеристики передачи, а также трудности изготовления некруглых колес.

### Основное содержание и результаты работы

Для получения заданного закона переменного передаточного отношения возможно использовать передачи, зубчатые венцы ведущих и ведомых колес которых оснащены равновысокими зубьями полной и неполной длины, расположенными вдоль плоских или пространственных кривых, которые представляют себя функцию переменного передаточного отношения.

Зубчатые передачи (рис. 1.а, 1.б, 2, 3, 4, 5) состоят из ведущих 1 круглых конических колес, а ведомые колеса 2, круглые конические (рис. 1.а, 1.б, 2, 3), или дискообразные круглые (рис. 4) или дискообразные некруглые (рис. 5). Зубчатые венцы ведущих и ведомых колес оснащены равновысокими прямыми зубьями полной 3 и неполной 4 длины, наружного (рис. 1.а, 1.б, 2, 4, 5) и внутреннего (рис. 3) зацепления. Неполные зубья расположены вдоль пространственных и плоских кривых 5, которые представляют себя заданную функцию переменного передаточного отношения. Вершины конусов  $O_1$ ,  $O_2$  в плане расположены на образующей и смещены друг от друга на расстоянии «а».

Передаточные отношения для передач (рис. 1.а, 1.б, 2, 3) определяются зависимостями:

$$U_{\max} = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = \frac{L_{e2} \sin \delta_2}{L_{e1} \sin \delta_1} = \frac{L_{e2} \sin \delta_2}{(L_{e2} \pm a) \sin \delta_1};$$

$$U_{\min} = \frac{R_{i2}}{R_{i1}} = \frac{L_{i2} \sin \delta_2}{L_{i1} \sin \delta_1} = \frac{L_{i2} \sin \delta_2}{(L_{i2} \pm a) \sin \delta_1};$$
(1)

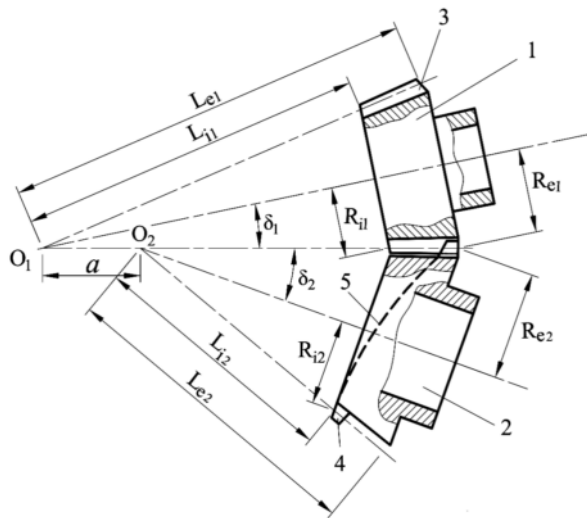


Рис. 1.а. Коническая передача

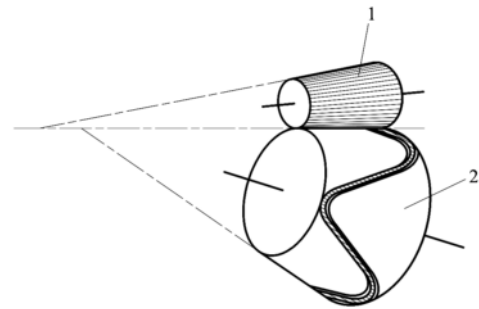


Рис. 1.б. Коническая передача

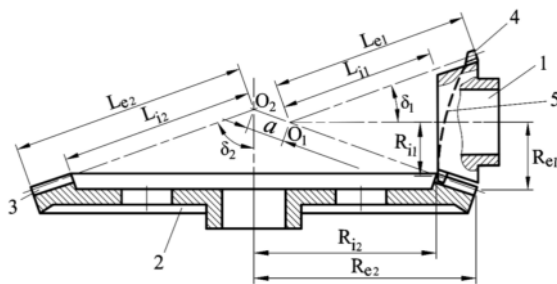


Рис. 2. Коническая передача

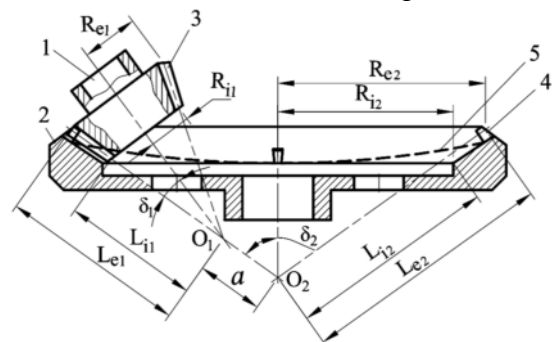


Рис. 3. Коническая передача внутреннего зацепления

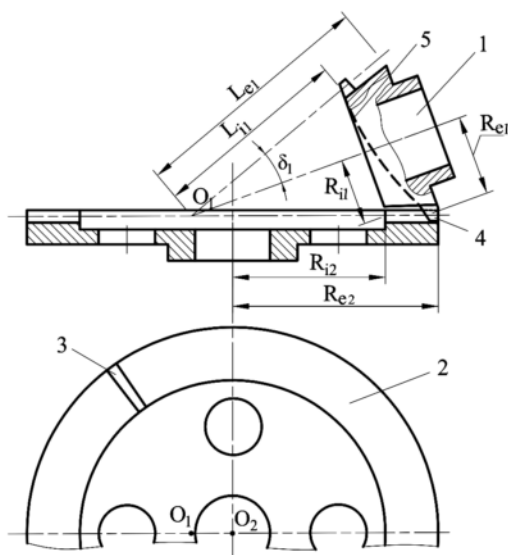


Рис. 4. Коническо дискообразно-круглая передача

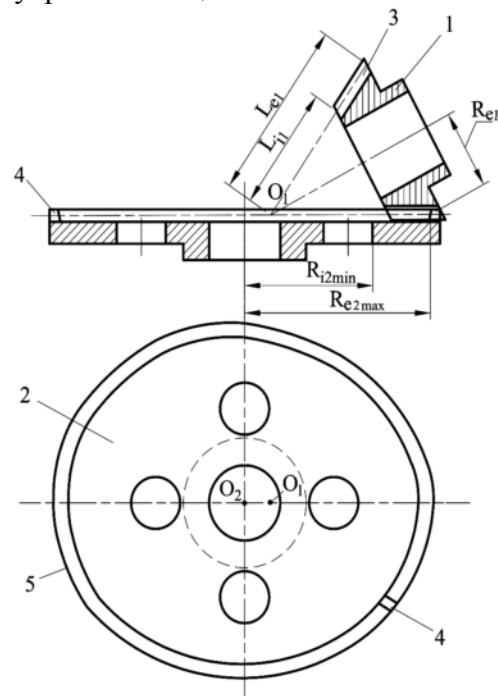


Рис. 5. Коническо дискообразно-некруглая передача

для передачи (рис. 4)

$$U_{\max} = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = \frac{L_{e2}}{L_{e1} \sin \delta_1} = \frac{L_{e2}}{(L_{e2} \pm a) \sin \delta_1};$$

$$U_{\min} = \frac{R_{i2}}{R_{i1}} = \frac{L_{i2}}{L_{i1} \sin \delta_1} = \frac{L_{i2}}{(L_{i1} \pm a) \sin \delta_1};$$
(2)

а для передачи (рис. 5) примет вид

$$U_{\max} = \frac{R_{e2 \max}}{L_{e1} \sin \delta_1} = \frac{R_{e2 \max}}{(R_{e2 \max} - a) \sin \delta_1};$$

$$U_{\min} = \frac{R_{i2 \min}}{R_{i1} \sin \delta_1} = \frac{R_{i2 \min}}{(R_{i2 \min} - a) \sin \delta_1};$$
(3)

Знак минус относится к случаю, когда вершина  $O_1$  ведущего колеса 1 расположена на образующей ведомого колеса 2, а знак плюс – когда вершина  $O_2$  ведомого колеса 2 расположена на образующей ведущего.

Диапазон регулирования для передач (рис. 1, 2, 3, 4, 5) имеет вид

$$D = \frac{L_{e2}(L_{i2} \pm a)}{L_{i2}(L_{e2} \pm a)}.$$
(4)

Для показанных случаев знак плюс относится для рис. 1, 4, а знак минус для рис. 2, 3, 5.

Зубчатые передачи (рис. 6, 7, 8, 9, 10, 11) состоят из ведущих сферических (рис. 6, 7, 8, 9, 10) и эллипсоидных (рис. 11), колес 1 и ведомых сферических (рис. 6, 7, 8) внутреннего зацепления и тороидальных (рис. 9, 10, 11) наружного зацепления, колес 2. Зубчатые венцы ведущих 1 и ведомых 2 колес оснащены равновысокими прямыми (рис. 6, 7, 9, 10, 11) или косыми (рис. 8) зубьями полной 3 и неполной 4 длины и расположены вдоль пространственных кривых 5, которые представляют собой заданную функцию переменного (рис. 6, 7, 8, 9, 10), или переменного-постоянного (рис. 11) передаточных отношений. Оси колес расположены по отношению друг к другу: параллельно (рис. 6), под углов (рис. 8) или пересекаются (рис. 7, 9, 10, 11).

Передаточные отношения для передач (рис. 6, 7, 8) имеют вид:

$$U_{\max} = \frac{R_{2 \max}}{R_{1 \max}};$$

$$U_{\min} = \frac{R_{2 \min}}{R_{1 \min}},$$
(5)

диапазон регулирования

$$D = \frac{R_{2 \max} \cdot R_{1 \min}}{R_{1 \max} \cdot R_{2 \min}}.$$

Передаточные отношения для передачи (рис. 9) имеет вид

$$U_{\max} = \frac{R_{2 \max}}{R_1};$$

$$U_{\min} = \frac{R_{2 \min}}{R_{1 \min}} = \frac{R_{2 \min}}{R_1 \sin(90^\circ - \varphi_{\max})} = \frac{R_{2 \min}}{R_1 \cos \varphi_{\max}},$$
(6)

а диапазон регулирования  $D = \frac{R_{2 \max}}{R_{2 \min}} \cdot \cos \varphi_{\max}.$

Для передачи (рис. 10)

$$\begin{aligned}
 U_{\max} &= \frac{R_{2\min}}{R_1 - r_1}; \\
 U_{\min} &= \frac{R_{2\max}}{R_1}; \\
 D &= \frac{R_{2\min}}{R_{1\max}} \left( 1 - \frac{R_1}{r_1} \right).
 \end{aligned} \quad (7)$$

Для передачи (рис. 11)

$$\begin{aligned}
 U_{\max} &= \frac{R_{2\max}}{R_{1\text{торц}}}; \\
 U_{\min} &= \frac{R_{2\min}}{R_{1\min}} = \frac{R_{2\min}}{R_{1\max} \cos \varphi_{\max}}; \\
 D &= \frac{R_{2\max}}{R_{2\min}} \cdot \frac{R_{2\max} \cos \varphi_{\max}}{R_{1\text{торц}}}.
 \end{aligned} \quad (8)$$

Двухступенчатый вариатор скорости (рис. 12) состоит из ведущего тороидального 1, промежуточного сферического или эллипсоидного 2, 3 (или эллипсоидного 2 и сферического 3) и ведомого тороидального 4 колес. Колеса 2, 3 жестко закреплены между собой с возможностью вращения на неподвижной оси 5. Колеса 1, 4 оснащены равновысокими прямыми зубьями 6 полной длины. Колеса 2, 3 оснащены равновысокими прямыми зубьями 7, 8 неполной длины, которые расположены вдоль одинаковых или разных пространственных кривых 9, 10, которые представляют заданную функцию переменного передаточного отношения.

Передаточные отношения имеют вид

$$\begin{aligned}
 U_{\max} &= \frac{R_2 \cos \varphi_2}{r_{1\min}} \cdot \frac{r_{4\max}}{R_3 \cos \varphi_2} = \frac{R_2 \cos \varphi_2}{R_3 \cos \varphi_3} \cdot \frac{r_{4\max}}{r_{1\min}}; \\
 U_{\min} &= \frac{R_2 \cos \varphi_2}{r_{1\max}} \cdot \frac{r_{4\min}}{R_3 \cos \varphi_2} = \frac{R_2 \cos \varphi_2}{R_3 \cos \varphi_3} \cdot \frac{r_{4\min}}{r_{1\max}}.
 \end{aligned} \quad (9)$$

Диапазон регулирования равен

$$D = \frac{r_{1\max} \cdot r_{4\min}}{r_{1\min} \cdot r_{4\max}}.$$

Трехступенчатый вариатор скорости (рис. 13) состоит из ведущего тороидального колеса 1, промежуточного сферического или эллипсоидного колеса 2, промежуточных тороидальных колес 3, 4, которые соединены между собой посредством валов 5, 6, круглых конических колес 7, 8, 9, 10, вала 11 и ведомого сферического или эллипсоидного колеса 12, который жестко закреплен на ведомом валу 13. Колесо 2 свободно закреплено на неподвижной оси 14. Колеса 1, 3, 4 оснащены равновысокими прямыми зубьями 15 полной длины, а колеса 2, 12 оснащены равновысокими прямыми зубьями 16, 17 неполной длины, которые расположены вдоль кривых 18, 19, которые представляют заданную функцию переменного передаточного отношения.

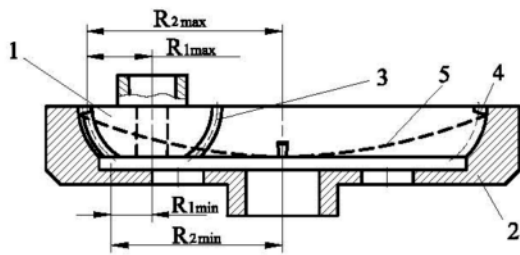


Рис. 6. Передача со сферическими колесами

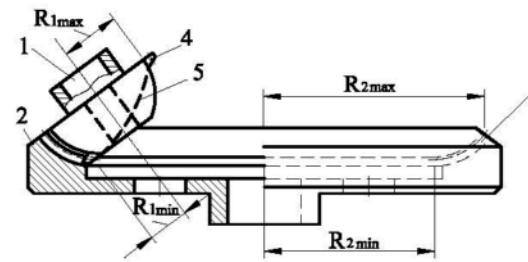


Рис. 7. Передача со сферическими колесами

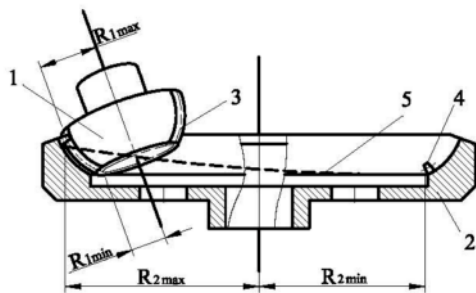


Рис. 8. Передача со сферическими колесами

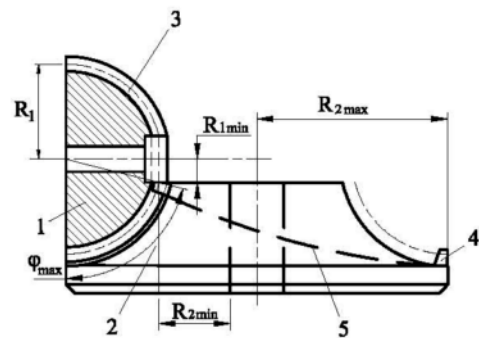


Рис. 9. Передача со сферическими и тороидальными колесами

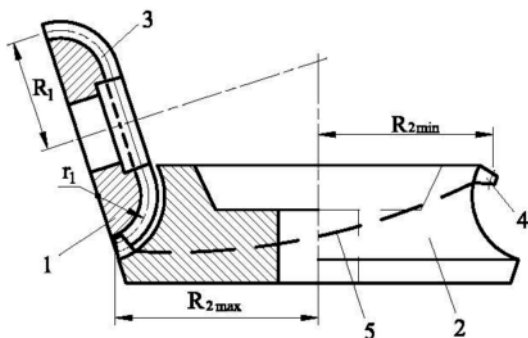


Рис. 10. Передача со сферическими и тороидальными колесами

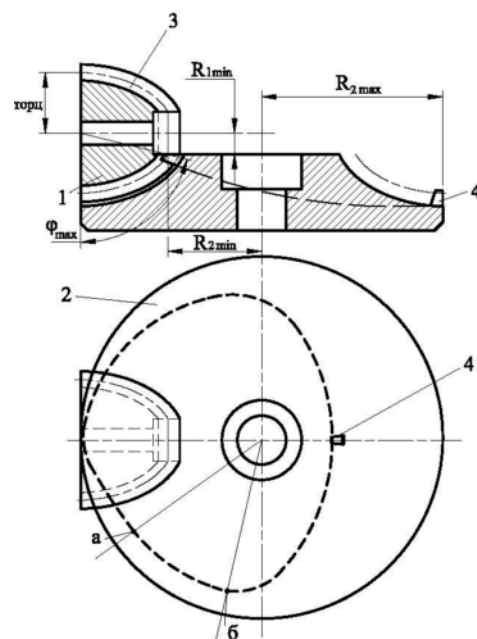


Рис. 11. Передача с эллипсоидными и тороидальными колесами

Передаточные отношения:

$$U_{\max} = \frac{R_2 \cos \varphi_2}{r_{1 \min}} \cdot \frac{r_{3 \max}}{R_2} \cdot \frac{R_1 \cos \varphi_{12}}{r_{4 \min}} = \frac{r_{3 \max}}{r_{1 \min} r_{4 \min}} \cos \varphi_2 \cdot \cos \varphi_{12};$$

$$U_{\min} = \frac{R_2}{r_{1\max}} \cdot \frac{r_{3\min}}{R_2 \cos \varphi_2} \cdot \frac{R_{12}}{r_{4\max}} = \frac{r_{3\min}}{r_{1\max} r_{4\max}} \cdot \frac{1}{\cos \varphi_2}. \quad (10)$$

Диапазон регулирования

$$D = \frac{r_{1\max} \cdot r_{3\max} \cdot r_{4\max}}{r_{1\min} \cdot r_{3\min} \cdot r_{4\min}} \cdot \cos^2 \varphi_2 \cdot \cos \varphi_{12}.$$

Четыреступенчатый вариатор скорости (рис. 14) состоит из ведущего 1, промежуточных 2, 3, ведомого 4 тороидальных колес и промежуточных сферических или эллипoidalных колес 5, 6, которые с возможностью вращения закреплены на неподвижной оси 7. Колеса 1, 2, 6 оснащены равновысокими прямыми зубьями 8 неполной длины, которые расположены вдоль пространственных кривых 9, 10, 11, которые представляют заданную функцию переменного передаточного отношения. Колеса 3, 4, 5 оснащены равновысокими прямыми зубьями 12 полной длины. Колеса 2, 3 между собой соединены посредством вала 13, 14, 15 и круглых конических колес 16, 17, 18, 19.

Передаточные отношения

$$U_{\max} = \frac{R_5 \cos \varphi_5}{r_{1\min}} \cdot \frac{r_{2\max}}{R_5} \cdot \frac{R_6 \cos \varphi_6}{r_{3\min}} \cdot \frac{r_{4\max}}{R_6} = \frac{r_{2\max} \cdot r_{4\max}}{r_{1\min} \cdot r_{3\min}} \cos \varphi_5 \cdot \cos \varphi_6,$$

$$U_{\min} = \frac{R_5}{r_{1\max}} \cdot \frac{r_{2\min}}{R_5 \cdot \cos \varphi_5} \cdot \frac{R_6}{r_{3\max}} \cdot \frac{r_{4\min}}{R_6 \cdot \cos \varphi_6} = \frac{r_{2\min} \cdot r_{4\min}}{r_{1\max} \cdot r_{3\max}} \cdot \frac{1}{\cos \varphi_5 \cdot \cos \varphi_6}. \quad (11)$$

Диапазон регулирования

$$D = \frac{r_{1\max} \cdot r_{2\max} \cdot r_{3\max} \cdot r_{4\max}}{r_{1\min} \cdot r_{2\min} \cdot r_{3\min} \cdot r_{4\min}} \cdot \cos^2 \varphi_5 \cdot \cos^2 \varphi_6.$$

Если необходимо, чтобы ведомые колеса и валы, зубчатых передач и вариаторов скорости, с переменным передаточным отношением совершали вращательное движение переменного-постоянной угловой скоростью, то равновысокие зубья неполной длины должны быть расположены вдоль кривых, которые состоят из частей с изменяющимися и постоянными радиусами (рис. 11, сектор а-б).

Если необходимо, чтобы ведомые колеса и валы передачи осуществляли вращения разными законами передаточного отношения, то зубья неполной длины должны быть расположены вдоль различных кривых, которые представляют разные функции заданного закона переменного передаточного отношения. Кривая, составленная из частей, соответствующих разным функциям переменного передаточного отношения располагается на начальной поверхности ведущего или ведомого колес.

Зубчатые передачи с переменным передаточным отношением (рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) работают следующим образом. Сообщим колесу 1 вращательное движение с постоянной угловой скоростью. Посредством зацепления боковых поверхностей зубьев 3, 4 колес 1, 2, потому-что полюс зацепления вдоль зубчатого венца меняет свое местонахождение, колесо 2 совершает вращательное движение с переменной (рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10), с переменного-постоянной (рис. 11) угловыми скоростями, по заданному закону переменного, переменного-постоянного передаточного отношения.

Двухступенчатый вариатор скорости (рис. 12) работает следующим образом. Колесу 1 сообщим вращательное движение с постоянной угловой скоростью. Посредством боковых поверхностей зубьев полной 6 и неполной 7 длины колес 1, 2, колесо 2 совершит вращательное движение с переменной угловой скоростью, которое передается жестко соединенному колесу 3. Посредством боковых поверхностей зубьев

неполной 8 и полной 6 длины колес 3 и 4, колесо 4 совершит движение суммарной переменной угловой скоростью.

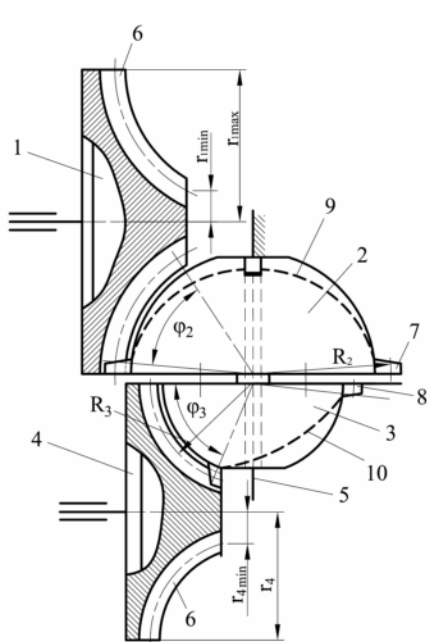


Рис. 12. Двухступенчатый вариатор скорости

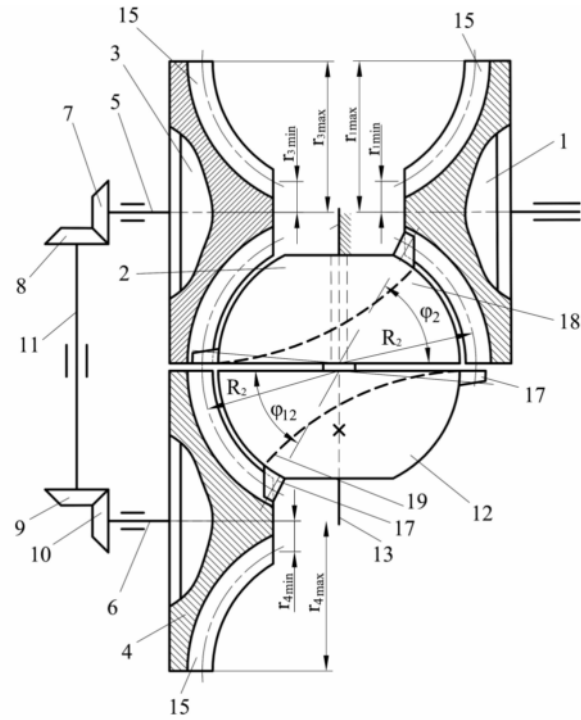


Рис. 13. Трехступенчатый вариатор скорости

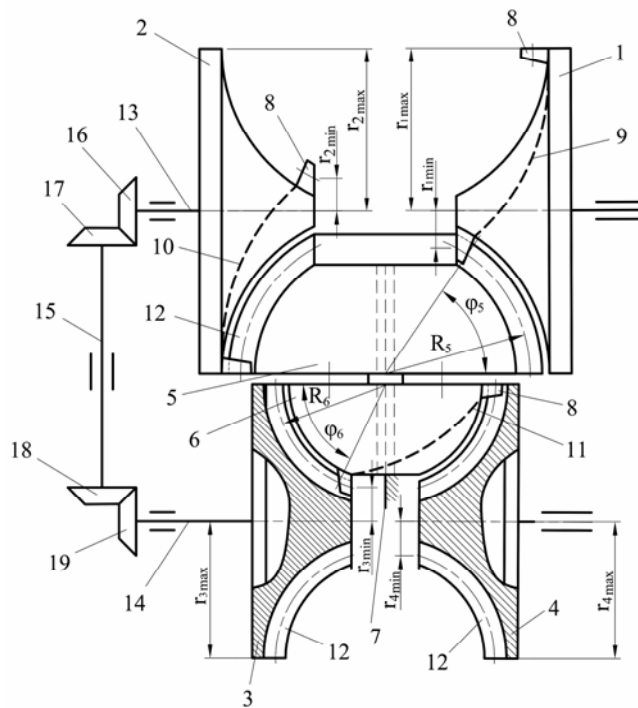


Рис. 14. Четырехступенчатый вариатор скорости

Трехступенчатый вариатор скорости (рис. 13) работает следующим образом. Колесу 1 сообщим вращательное движение с постоянной угловой скоростью. Посредством зацепления боковых поверхностей зубьев полной 15 и неполной 17 длины колес 1, 2, 3 колесо 3 совершает вращательное движение с переменной угловой скоростью, которое посредством валов 5, 6, 11, колес 7, 8, 9, 10, взаимозацеплением боковых поверхностей зубьев полной 15 и неполной 17 длины, колес 4, 12 передается ведомому колесу 12, которое совершит движение суммарной переменной угловой скоростью.

Четырехступенчатый вариатор (рис. 14) работает следующим образом. Колесу 1 сообщим вращательное движение с постоянной угловой скоростью. Посредством зацепления боковых поверхностей зубьев полной 12 и неполной 8 длины колес 1, 5, 2, колесо 2 совершает вращательное движение с переменной угловой скоростью, которое посредством валов 13, 14, 15, колес 16, 17, 18, 19, взаимозацеплением боковых поверхностей зубьев полной 12 и неполной 8 длины колес 3, 6 и 6, 4 передается ведомому колесу 4, которое совершит движение суммарной переменной угловой скоростью.

#### **Заключение**

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

1. Разработать конструкции зубчатых передач, позволяющие намного уменьшить динамические характеристики передач.
2. Значительно упростить процесс изготовления зубчатых передач с использованием стандартного серийного оборудования.
3. Данные передачи позволяют сконструировать новых механизмов вариаторов скорости.

#### **Список литературы:**

1. Варсимашвили Р.Ш. Теория зацепления зубчатых передач с переменным передаточным отношением / Р.Ш. Варсимашвили / «Технический университет». – Тбилиси, 2008. – 497 с.
2. Кожевников С.Н. Механизмы / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин. – Москва: «Машиностроение», 1976. – С. 329-330; рис. 5.18; с. 331-332, рис. 5.21.
3. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – Москва: Наука, 1968. – 484 с.
4. Зубчатая передача: патент 2864В (Грузия) / Варсимашвили Р.Ш., Варсимашвили З.Р. - Оpubл. Б.И. 2002, № 24.
5. Варсимашвили Р.Ш. Приказ о выдаче патента 651/01 от 17.08.2012. / Р.Ш. Варсимашвили, М.Р. Кахиани; Сакпатент, Грузия.

Надійшла до редакції 18.02.2013.

#### **Р. Ш. Варсимашвілі, М. Р. Кахіані, З. Р. Варсимашвілі НОВІ ЗУБЧАСТІ ПЕРЕДАЧІ ЗІ ЗМІННИМ ПЕРЕДАТНИМ ВІДНОШЕННЯМ**

*Для отримання заданого закону навісного передатного відношення можливо використати передачі, зубчасті віні ведучих і ведених коліс яких оснащені рівно високими зубами повної і неповної довжини, розташованими упродовж плоских або просторових кривих, які представляють собою функцію змінного передатного відношення.*

**Ключові слова:** зубчасті передачі, передатні відношення, провідні і ведені колеса, зуби.

#### **R.Sh. Varsimashvili, M.R. Kakhiani, Z.R. Varsimashvili NEW GEAR TRANSMISSIONS WITH VARIABLE GEAR RATIO**

*For obtaining the given law of movable gear ratio it is possible to use transmissions, the ring gear of driver and driven gears of which are equipped by equally high teeth of full and non full length, arranged along flat or spatial curves that represent the function of variable gear ratio.*

**Keywords:** gear transmission; gear ratio, driver and driven gears, teeth.