

10. Волков Г. Ю., Ратманов Э. В., Курасов Д. А. Адаптивная система коррекции погрешностей наклона зубьев в зубчатых передачах // Вестник машиностроения. – 2013. – № 3. – С. 14–16.

11. Пат. 2581222, РФ, МПК F16Н1/48. Многорядная планетарная передача.

Получено 14.02.2017

12. Плеханов Ф. И., Тонких А. С., Вычужанина Е. Ф. Особенности проектирования и технико-экономические показатели планетарных передач буровых установок // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 40–43.

13. Пат. 2581222, РФ, МПК F16Н1/48. Многорядная планетарная передача.

УДК 621.65.03

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-35-37

М. В. Горбунов, аспирант, Курганский государственный университет

В. В. Смирнов, аспирант, Курганский государственный университет

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ВОЛН ПЛАНЕТАРНОЙ РОТОРНОЙ ГИДРОМАШИНЫ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Объемные гидромашины – насосы и двигатели – широко распространены во многих отраслях техники. В настоящее время в связи с развитием технологий, позволяющих достаточно дешево изготавливать некруглые зубчатые колеса, становится актуальным изучение и применение планетарных роторных гидромашин (ПРГМ). Эти гидромашины содержат плавающие сателлиты и, в общем случае, некруглые центральные зубчатые колеса – ротор и статор. Причем числа волн статора N и ротора M могут быть как различными, так и одинаковыми. В данной статье рассмотрим только случай $N = M$. Важно обоснованно ответить на вопрос, сколько волн предпочтительно выполнить на центральных колесах для достижения максимальной удельной производительности ПРГМ.

На выбор рационального числа волн ПРГМ помимо полезного объема рабочих полостей влияют симметрия приложения сил, механический КПД и соблюдение условий (углов λ) невыпадения сателлита.

Схемы ПРГМ, характеризующиеся соотношениями $N = M = 1$, $N = M = 2$, $N = M = 3$, $N = M = 4$, показаны на рис. 1, 2, 3, 4 соответственно. Диаметр сателлита для схем, отвечающих условию $N = M$, получается [1, 2] приблизительно равным 0,1 от среднего диаметра центральной траектории сателлитов. Требованиям к форме центроид статора и ротора является их соответствие заданной траектории движения центра сателлита. Простейший случай – изменение радиуса траектории сателлита по закону косинуса. Для центроид колес в схемах $N = M = 2$, $N = M = 3$, $N = M = 4$ используем циклическую кривую [3], уравнение которой в полярных координатах будет выглядеть следующим образом:

$$r = R_H (1 + k \cos(n\varphi)), \quad (1)$$

где n – число волн косинусоиды; k – параметр кривизны косинусоиды (на рис. 1–4 $k = 0,09$); R_H – вели-

чина среднего радиуса центральной траектории (прием $R_H = 100$); φ – угол поворота радиус-вектора r в полярных координатах.

В частном случае $N = M = 1$, когда центроиды статора и ротора ПРГМ являются окружностями, траектория центральной точки сателлита также является окружностью.

Принцип работы планетарно-роторной гидромашин основан на изменении объема полостей, образованных сопрягаемыми поверхностями зубчатых звеньев и торцевых стенок этой машины. Производительность (расход) гидромашин определяется ее полезным объемом, то есть суммарным изменением объемов вышеупомянутых полостей за оборот ротора. Объемы полостей пропорциональны площадям их проекций на торцевые стенки.

Изменение объема каждой полости пропорционально разности максимальной S_{\max} и минимальной S_{\min} площадей проекции полости. За оборот ротора происходит NM циклов изменения полостного объема.

Для определения полезной разности площадей ротор располагаем в критическом положении, при котором образуются полости с максимальной S_{\max} и минимальной S_{\min} площадями. Площади определяем средствами графического пакета «Компас».

Для схем $N = M$ полезную S_{Π} площадь ПРГМ за один оборот ротора рассчитаем по формуле

$$S_{\Pi} = (S_{\max} - S_{\min})n^2. \quad (2)$$

При $n = N = M = 1$ (рис. 1) полезная площадь (S_{Π}) ПРГМ по формуле (2) составит

$$S_{\Pi} = (9011,81 - 1811,87) \cdot 1^2 = 7199,94 \text{ мм}^2.$$

Для схемы $n = N = M = 2$ (рис. 2) полезная площадь по формуле (2) составит

$$S_{\Pi} = (4395,64 - 795,88) \cdot 2^2 = 14399,04 \text{ мм}^2.$$

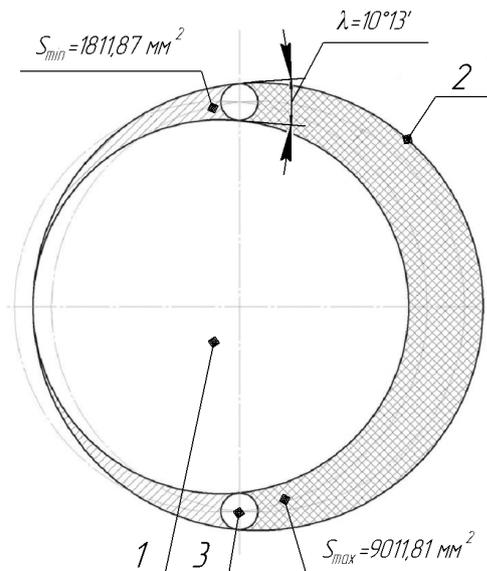


Рис. 1. Схема 1×1: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – сателлиты

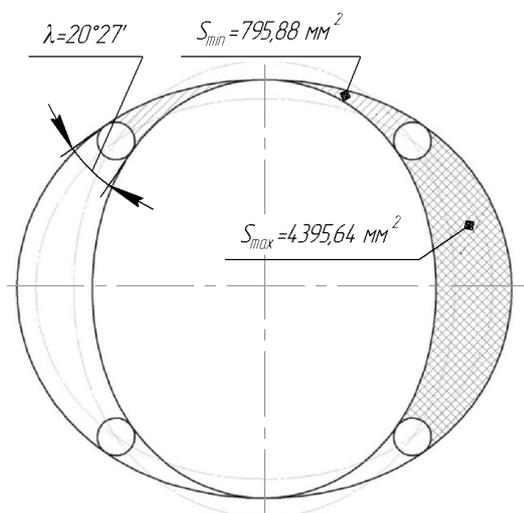


Рис. 2. Схема 2×2

Рассмотрим случай $n = N = M = 3$ (рис. 3). Для данной схемы полезная площадь

$$S_{\Pi} = (2863,94 - 465,03) \cdot 3^2 = 21590,19 \text{ мм}^2.$$

При $n = N = M = 4$ (рис. 4) полезная площадь по формуле (2) составит

$$S_{\Pi} = (2102,78 - 305,72) \cdot 4^2 = 28752,96 \text{ мм}^2.$$

Из представленных расчетов видно, что при одинаковых параметрах косинусоиды полезный объем ПРГМ (если пренебречь объемом, занимаемым сателлитами) пропорционален числу волн n . С этих позиций можно сделать вывод, что чем больше волн, тем больше полезный объем.

Негативным моментом является то, что пропорционально увеличению числа камер увеличивается угол λ между касательными к центроидам, проведенными через точки их контакта с сателлитом, находящемся в критическом положении – угол удер-

жания сателлита. Для рассматриваемых схем этот угол равен $1 \times 1 - \lambda = 10^\circ 13'$; $2 \times 2 - \lambda = 20^\circ 27'$, $3 \times 3 - \lambda = 30^\circ 10'$, $4 \times 4 - \lambda = 40^\circ 5'$ соответственно.

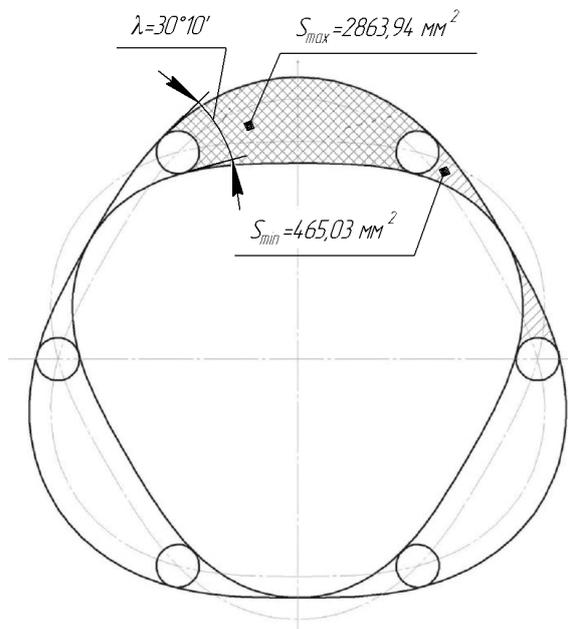


Рис. 3. Схема 3×3

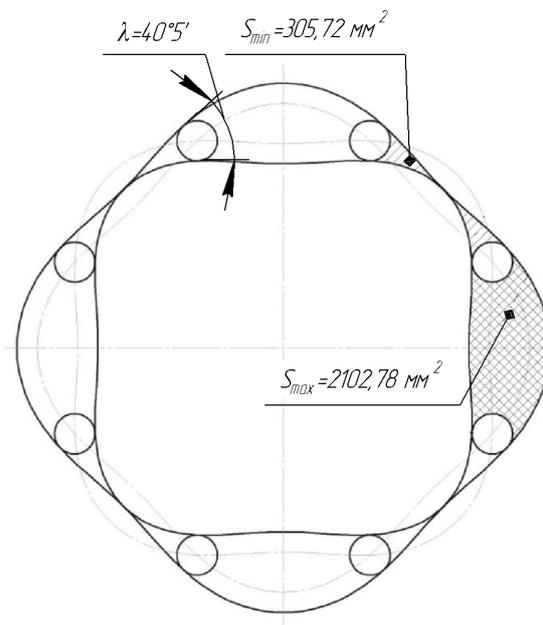


Рис. 4. Схема 4×4

Достоверными данными о том, какая величина угла λ для конкретных условий, характеризующихся геометрическими параметрами зубьев, допустимой величиной их износа, деформативностью системы и другими факторами, является опасной, мы пока не располагаем. Анализируя изображения ПРГМ, приведенные в [4, 5] можно предположить, что допускаются величины угла $\lambda < 30 \dots 40^\circ$.

Основываясь на этих данных, лучшую схему следует выбирать между вариантами 2×2 и 3×3.

На величину угла λ помимо числа волн n при заданных размерах сателлитов будет влиять значение коэффициента k – параметр кривизны косинусоиды.

Из предыдущих расчетов видно, что схема 3×3 обладает производительностью в 1,5 раза большей, чем схема 2×2, но она имеет угол λ удержания сателлита уже не 20, а 30°.

Для уменьшения угла λ изменим величину параметра k кривизны косинусоиды. Рассмотрим схему 3×3 с параметром кривизны $k = 0,06$ (рис. 5). Соответствующее уравнение косинусоиды будет выглядеть следующим образом:

$$r = 100(1 + 0,06 \cos(3\varphi)).$$

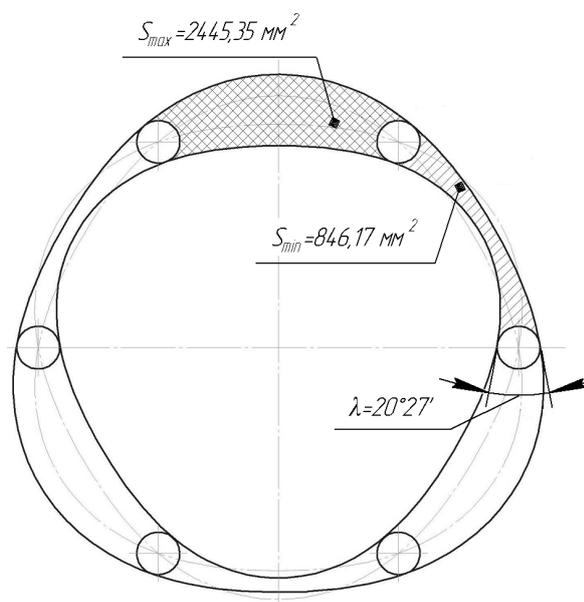


Рис. 5. Схема 3×3 с параметром кривизны $k = 0,06$

Получено 27.02.2017

Значение угла удержания сателлита получилось $\lambda = 20^\circ 27'$, то есть равным тому, которое соответствовало системе 2×2 при $k = 0,09$.

Найдем изменение полезной площади этой схемы ПРГМ за один оборот:

$$S_{II} = (2445,34 - 846,17) \cdot 3^2 = 14392,53 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, величина производительности оказалась равной производительности схемы 2×2 с тем же углом λ . Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что величина объемной производительности ПРГМ напрямую зависит от угла удержания сателлита, а не от количества волн центроид.

По критериям симметрии приложения сил должна быть отбракована схема 1×1. Механический же КПД будет тем выше, чем меньше сателлитов, значит, в этом отношении схема 2×2 предпочтительнее схемы 3×3.

В итоге данного исследования, учитывая все указанные выше обстоятельства, делаем осторожный вывод о целесообразности применения схемы ПРГМ с числом волн 2×2 при максимально возможном значении параметра k кривизны косинусоиды либо схемы 3×3, но с уменьшенным значением параметра k .

Библиографические ссылки

1. Пат. 2513057 РФ. Роторная гидромашина / Г. Ю. Волков. – Оpubл. 20.04.2014; Бюл. № 11.
2. Пат. 144306 РФ. Роторная гидромашина / Г. Ю. Волков, Д. А. Курасов. – Оpubл. 20.08.2014; Бюл. № 23.
3. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – Вып. 8. Ч. 2. – С. 160–166.
4. *Ан И-Кан*. Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2001. – 35 с.
5. Пат. US 6230823 (B1) Downhole motor / Dariusz Sieniawski. – Оpubл. 15.05.2001.

УДК 621.65.03

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-37-40

Д. А. Курасов, кандидат технических наук, Курганский государственный университет

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПЛАНЕТАРНОЙ РОТОРНОЙ ГИДРОМАШИНЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ КРУГЛОЕ И НЕКРУГЛОЕ ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КОЛЕСА

В различных отраслях техники широкое распространение получили объемные гидромашин – насосы и двигатели. Одним из видов таких машин являются планетарные роторные гидромашин (ПРГМ). Принципиальными достоинствами ПРГМ являются: большой полезный объем рабочих полостей, отсутствие нагруженных пар скольжения, нечувствительность к износу зубьев. Типичная ПРГМ

(рис. 1) содержит [1] некруглое центральное колесо 1 с внешними зубьями (солнечное) и некруглое центральное колесо 2 с внутренними зубьями (эпициклическое), а также плавающие сателлиты 3. При этом число волн центрального колеса с внутренними зубьями N и внешними зубьями M могут быть как различными, так и одинаковыми. Для схемы, показанной на рис. 1, $M = 2$, $N = 4$ (или 2×4).