

Рис. 4. Картина процесса перешивания: а – в начале процесса; б, в, г – в середине процесса; д – в конце процесса

На рис. 5 представлена зависимость изменения концентрации компонентов на выходе во времени.

Как видно из графика, при заданных условиях время перемешивания жидкостей и газа от разделенного состояния до образования равномерной концентрации смеси во всем объеме устройства составляет 45 с.

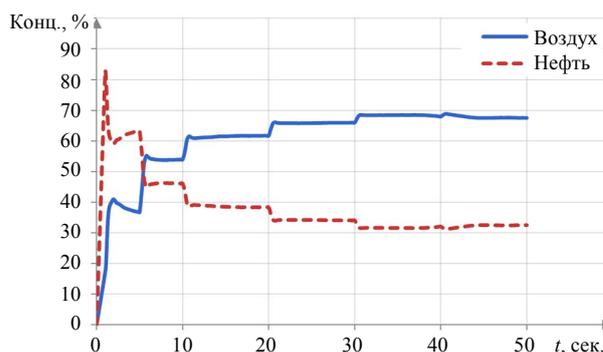


Рис. 5. Временная зависимость изменения концентраций нефти и воздуха

Таким образом, с использованием современных методов математического моделирования исследована и разработана конструкция газожидкостного смесителя; результаты исследования использованы при составлении методики проведения испытаний расходомерных устройств.

A. N. Shelpyakov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

K. A. Mikhalev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. B. Kuimov, Oil and Gas Equipment LLC “Technovek”, Votkinsk

R. Z. Zakirov Oil and Gas Equipment LLC “Technovek”, Votkinsk

Investigation of Gas-Liquid Mixer

The paper presents the results of investigating the gas-liquid mixer and influence of the ejector layout on mixing parameters.

Key words: mixer, modeling, concentration, ejector.

УДК 621.01:531.3

Е. А. Ефременков, кандидат технических наук, Томский национальный исследовательский политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАДИУСА ТЕЛА КАЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ*

Выведено выражение для определения допустимых значений радиуса тела качения по условиям соседства и сборки. Выполнен анализ изменения диапазона допустимых значений от исходных параметров передачи с ПТК и свободной обоймой. На основании анализа подтверждено изменение радиуса тела качения и его диапазона в большей степени от эксцентриситета, чем от числа тел качения.

Ключевые слова: радиус тела качения, допустимые значения, механическая передача.

На сегодняшний день наиболее перспективными механическими передачами движения и мощности, благодаря высоким техническим характеристикам, являются передачи с промежуточными телами качения (ПТК). Данный вид передач обеспечивает комплекс таких характеристик, как высокая точность, надежность, компактность, способность передавать высокие крутящие моменты [1]. Из данного вида передач наиболее полно

обеспечивает требуемые для современного машиностроения характеристики передачи с ПТК и свободной обоймой (рис. 1).

Исходными параметрами при проектировании передачи с ПТК и свободной обоймой являются [2]: r_2 – радиус производящей окружности; r_p – радиус промежуточных тел качения; Z_2 – число промежуточных тел качения; χ – коэффициент смещения.

© Ефременков Е. А., 2013

Получено 01.08.13

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК № 14.B37.21.1143 от 14.09.2012).

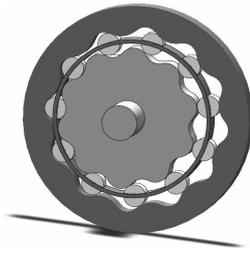


Рис. 1. Принципиальная схема передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой

Эти параметры назначаются независимо друг от друга, но при проектировании передачи возможна ситуация, когда (при независимо заданных 4 параметрах) возникает наложение профилей колес (рис. 2, а) или наложение тел качения друг на друга (рис. 2, б). В этих случаях передача становится не работоспособной. Нетрудно заметить, что в описанных ситуациях главную роль играет радиус тела качения r_p , т. е. наложение тел качения возникает из-за чрезмерного увеличения их радиуса, а интерференция профилей – при значительном уменьшении этого параметра. В связи с этим определение допустимых значений радиуса тела качения на стадии проектирования передачи с ПТК и свободной обоймой является актуальной.

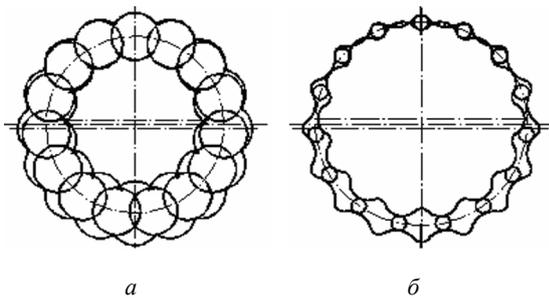


Рис. 2. Варианты нарушения работоспособности передачи с ПТК и свободной обоймой: а – наложение профилей; б – наложение тел качений

Целью работы является определение выражения для диапазона допустимых значений радиуса тела качения и анализ зависимости этого диапазона от исходных параметров передачи с ПТК и свободной обоймой.

Определим границы диапазона допустимых значений радиуса r_p .

Для определения максимально допустимого значения радиуса тела качения r_p рассмотрим расчетную схему (рис. 3). Из схемы видно, что увеличение радиуса r_p определяется наименьшим расстоянием между центрами тел качения, расположенными на радиусе r_c .

Далее и впредь будем определять неналожение тел качения как условие соседства тел качения или просто условие соседства.

Для определения наименьшего расстояния между центрами тел качения построим и рассмотрим треугольник DOE , основание которого является хордой окружности r_c и определяет наличие максимально

допустимого пространства между центрами тел качения при определенном числе тел качения Z_2 . Тогда, очевидно, расстояние между центрами соседних тел качения должно быть больше диаметра тела качения $d = 2r_c$, чтобы обеспечивался зазор между ними, а следовательно, обеспечить условие соседства.

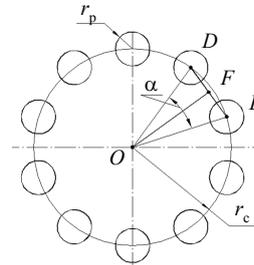


Рис. 3. Расчетная схема к определению условия соседства

Таким образом, ограничение максимального значения радиуса тела качения (условие соседства) записывается следующим выражением:

$$r_p \leq \frac{DE}{2}. \quad (1)$$

Величина хорды DE определяется из треугольника DOE (рис. 3) через радиус (OD) расположения центров тел качения, и угол их распределения по окружности центров

$$DE = OD \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Тогда, выразив через оставшиеся три исходных параметра передачи с ПТК и свободной обоймой, условие соседства (1) запишем в следующем виде:

$$r_p < r_2 \cdot \chi \cdot \sin \left(\frac{180^\circ}{Z_2} \right). \quad (2)$$

За половину оборота входного звена передачи тело качения перемещается из центра впадины профиля на центр выступа профиля, т. е. центр тела качения проходит путь, равный полному эксцентриситету передачи [2]. Таким образом, если радиус тела качения будет меньше эксцентриситета передачи e , то возникнет наложение профилей при сборке, несмотря на то, что внутреннее колесо может проходить внутри наружного, не касаясь профилями, без тел качения.

Далее и впредь будем определять наложение профилей циклоидальных колес как условие сборки.

Тогда ограничение минимального значения радиуса тела качения (условие сборки) запишем как

$$r_p > e,$$

и, выразив через исходные параметры, получим:

$$r_p > \frac{r_2}{Z_2}. \quad (3)$$

Объединив выражения (2) и (3), получим выражение для определения диапазона допустимых зна-

чений радиуса тел качения, обеспечивающих условие соседства и условие сборки:

$$\frac{r_2}{Z_2} < r_p < r_2 \cdot \chi \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right). \quad (4)$$

На основе полученного выражения (4) проведем анализ изменения допустимых значений радиуса r_p для обоснованного выбора исходных параметров при проектировании передачи с ПТК и свободной обоймой.

При проектировании реальных передаточных механизмов на базе передачи с ПТК и свободной обоймой часто выгоднее, с конструкторской точки зрения, определять число тел качения Z_2 и величину эксцентриситета $e = \frac{r_2}{Z_2}$, а не радиус производящей

окружности r_2 . С этой точки зрения выражение (4) для диапазона допустимых значений радиуса r_p можно переписать следующим образом:

$$e < r_p < e \cdot Z_2 \cdot \chi \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right). \quad (5)$$

Как видно из выражения (5), на радиус тела качения передачи с ПТК и свободной обоймой значительное влияние оказывает эксцентриситет передачи. Рассмотрим изменение допустимого диапазона значений радиуса тела качения (табл. 1) от эксцентриситета передачи с ПТК и свободной обоймой, данные таблицы представим в виде графика (рис. 4).

Изменяя вместе с эксцентриситетом число тел качения, получим следующие значения параметров (табл. 2 и 3), иллюстрируемые графиками (рис. 5).

Из графиков на рис. 4 и 5, а видно, что увеличение числа тел качения при одновременном увеличении эксцентриситета не влияет на изменение диапазона допустимых значений радиуса тел качения. Уменьшение числа тел качения с одновременным увеличением эксцентриситета приводит к постепенному уменьшению диапазона допустимых значений радиуса r_p , а при достижении Z_2 значения 3 (табл. 3) – к резкому сокращению диапазона Δr_p (рис. 5, б).

Рассмотрим увеличение эксцентриситета e при постоянном числе тел качения Z_2 , с одновременным изменением коэффициента смещения χ – увеличением (табл. 4) и уменьшением (табл. 5).

Для наглядности представим данные таблиц на графиках (рис. 6).

Из графиков на рис. 6 видно, что изменение диапазона Δr_p нелинейно в сравнении с предыдущими случаями. При одновременном увеличении e и χ происходит нелинейное возрастание диапазона допустимых значений радиуса r_p , но диапазон Δr_p становится в 2-2,5 раза меньше по сравнению с изменением числа тел качения Z_2 . При увеличении e и уменьшении χ диапазон Δr_p еще больше сокращается и наблюдается экстремум (рис. 6, б). Этот экстремум соответствует уравниванию уменьшения χ увеличением e .

Таблица 1. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения эксцентриситета e

Параметр	Значение													
	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	
Δr_p , мм	0,80	1,70	3,40	5,10	6,80	8,50	10,10	11,80	13,50	15,20	16,90	18,60	20,30	
Z_2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

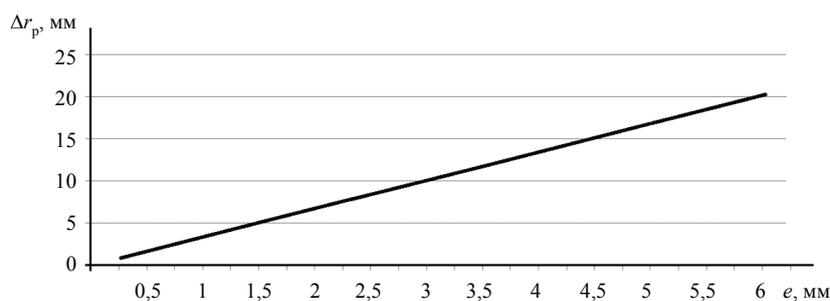


Рис. 4. График зависимости величины ($\Delta r_p = r_{pmax} - r_{pmin}$) диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета передачи с ПТК и свободной обоймой

Таблица 2. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и Z_2 (увеличение)

Параметр	Значение												
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
Z_2	2,0	3,0	4,0	5,0	6	7	8	9	10	11	12	13	
Δr_p , мм	0,9	2,6	4,4	6,2	8,0	9,8	11,5	13,2	15,0	16,7	18,4	20,1	

Таблица 3. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и Z_2 (уменьшение)

Параметр	Значение												
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	
Z_2	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
Δr_p , мм	1,7	3,3	5,0	6,7	8,3	9,9	11,4	12,8	14,0	14,8	14,5	10,8	

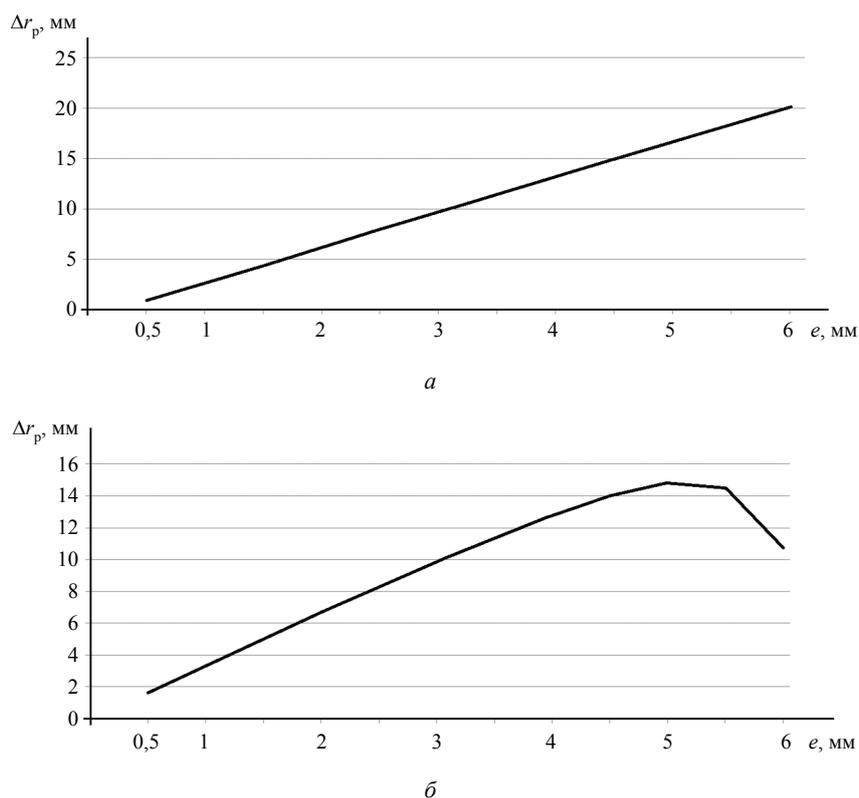


Рис. 5. Графики зависимости величины Δr_p диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета и числа тел качения передачи с ПТК и свободной обоймой: *a* – эксцентриситет и число тел качения увеличиваются; *b* – эксцентриситет увеличивается, а число тел качения уменьшается

Таблица 4. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и χ (увеличение)

Параметр	Значение											
e , мм	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
χ	1,3	1,33	1,36	1,4	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,59	1,62	1,65
Δr_p , мм	0,1	0,3	0,6	1	1,5	2,1	2,8	3,5	4,3	5,2	6,1	7,1

Таблица 5. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и χ (уменьшение)

Параметр	Значение											
e , мм	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
χ	1,65	1,62	1,59	1,55	1,52	1,49	1,46	1,43	1,40	1,36	1,33	1,30
Δr_p , мм	0,60	1,10	1,60	1,90	2,20	2,40	2,47	2,46	2,30	2,10	1,70	1,20

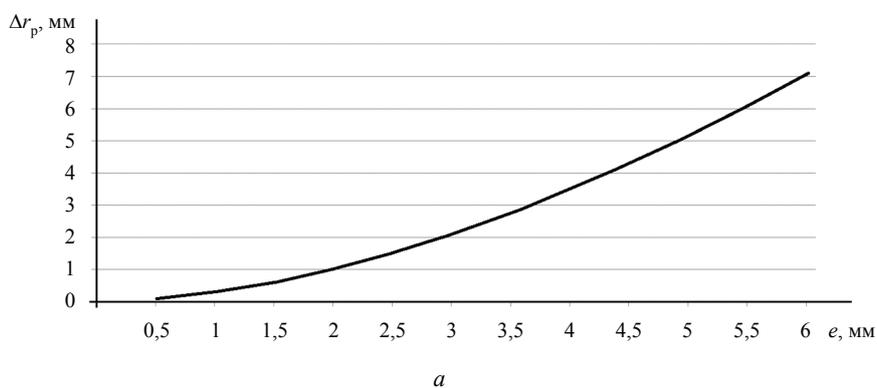


Рис. 6. Графики зависимости величины Δr_p диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета e и коэффициента смещения χ передачи с ПТК и свободной обоймой: *a* – e и χ увеличиваются; *b* – e увеличивается, а коэффициент χ уменьшается

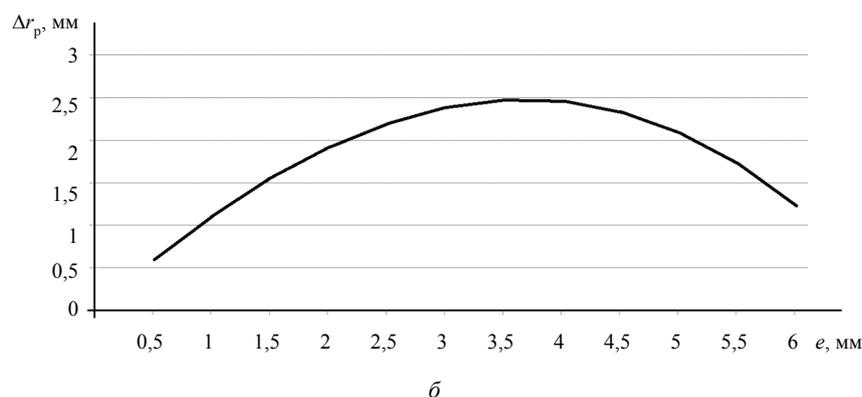


Рис. 6 (окончание). Графики зависимости величины Δr_p диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета e и коэффициента смещения χ передачи с ПТК и свободной обоймой: a – e и χ увеличиваются; b – e увеличивается, а коэффициент χ уменьшается

Вообще любое увеличение параметров передачи с ПТК и свободной обоймой ведет к увеличению габаритных размеров самой передачи и всего механизма в целом. Но бывают ситуации, когда контролируемое регулирование габаритных размеров передачи необходимо, например, при подборе опор качения. Тогда для заметного увеличения габаритов деталей передачи можно изменять (увеличивать) эксцентриситет e , а для «точной подгонки» – варьировать коэффициент смещения χ .

Изменение количества тел качения на радиус тела качения влияния не оказывает, а влияет только на передаточное число. Особое влияние эксцентриситета передачи на радиус тела качения отмечалось еще в работах профессора Беляева А. Е. [3] для передачи с ПТК (ВМПТ).

Таким образом, получено выражение для определения допустимых значений радиуса тела качения по условиям соседства и сборки. Также на основании анализа подтверждено, что для передачи с ПТК и свободной обоймой, как и для ВМПТ, радиус тела

качения и диапазон его изменения в большей степени зависят от эксцентриситета, чем от числа тел качения. Показана нелинейная зависимость диапазона допустимых значений радиуса r_p от коэффициента смещения χ . Полученные результаты могут быть использованы при подборе исходных параметров и проектировании передачи с ПТК и свободной обоймой для передаточных механизмов на ее основе.

Библиографические ссылки

1. Панкратов Э. Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообработывающего производства : Практикум лидера-проектировщика. – Томск : ТГУ, 1998. – 296 с.
2. Ефременков Е. А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения : дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
3. Беляев А. Е. Механические передачи с промежуточными телами качения повышенной точности и долговечности. – Томск : ТПИ, 1986. – 60 с.

E. A. Efremenkov, PhD in Engineering, Tomsk National Research Polytechnic University

Determining the Allowable Range of Rolling Body Radius in Design of Transmission with Intermediate Rolling Bodies and Free Iron Ring

The equation was obtained to determine the allowable range of rolling body radius with account of adjacency and assembly. The paper presents the analysis of changing the allowable range according to initial parameters of a transmission with intermediate rolling bodies and free iron ring. On the base of this analysis the variation of the rolling body radius and its range is confirmed to be dependent on the eccentricity rather than the number of rolling bodies.

Key words: radius of rolling body, allowable values, mechanical transmission.