

УДК 621.833.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ БЕСШАТУННЫХ ЗУБЧАТЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ БЕЗ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ

Зайкин О.А.

*ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань,
e-mail: satellit8583@yandex.ru*

В результате анализа тенденций развития современных конструкций приводов транспортно-технологических машин с целью создания нового качественного привода в качестве базового выбран планетарный бесшатунный механизм. При этом учтены следующие его положительные свойства: компактность, уравновешенность, технологичность звеньев, известная апробация в реальном ДВС, повышенный ресурс и КПД, экономичность и экологичность. В настоящей статье приведены результаты экспериментального исследования параметров движения выбранного в качестве базового бесшатунного зубчатого дифференциала, обеспечивающего поступательное движение выходного звена без направляющей. На основе полученных результатов выполнена апробация расчетных зависимостей и выводов, сформулированных на основе расчетных исследований.

Ключевые слова: привод, дифференциал, скорость, прямолинейная траектория, тензометрическая станция, датчик, крутящий момент.

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MOTION PARAMETERS OF CONTROL-FREE DIFFERENTIAL TOOTH GEARS WITH FORWARD MOTION WITHOUT GUIDING

Zaikin O.A.

FSBEI HPE Astrakhan State Technical University, Astrakhan, e-mail: satellit8583@yandex.ru

As the result of tendency analysis of modern constructions of transport technological machine drivers with the aim of creating of qualitative drive as a basic one, a planetary control-free mechanism was chosen. The following positive properties were taken into consideration: compactness, steadiness, manufacturability of units, the well-known approbation in real ICE (internal combustion engine), increased resources and coefficient of efficiency, economy and ecological compatibility. The results of experimental investigation of motion parameters, chosen as a basic one, control-free differential tooth gear providing the forward motion of output unit without guiding were suggested in this article. On the basis of received results the approbation of design dependence and conclusions, formed on basis of calculated investigations was done.

Keywords: drive, differential, speed, rectilinear trajectory, strain gage station, sensor, rotational moment.

Введение

Для приводов транспортно-технологических машин автором разработаны четыре схемы бесшатунных замкнутых дифференциалов зубчатого типа [1, 2, 3, 4] с улучшенными техническими параметрами. Исследования параметров их движения расчетным методом показали, что:

- они могут формировать точную прямолинейную траекторию выходного звена при особой кинематике сателлита и центрального колеса;
- колеса движутся с постоянной угловой скоростью, а точки прямолинейного движения – по графику синусной гармонической функции;
- при нарушении кинематики прямая вырождается в циклическую гипоциклоиду, описывающую окружность за множество цикловых повторений;
- при нарушении радиуса положения точки на сателлите с прямой траекторией

прямая преобразуется в устойчивый эллипс с малой осью, равной удвоенному отклонению;

– сопротивление движению механизмов каждой схемы различно, поэтому не все схемы можно приводить в движение через водило;

– КПД при разных входных валах различный, что позволяет найти экономичную конструкцию при свободном выборе ведущего вала.

Эти результаты теоретических исследований свидетельствуют о повышенном качестве новых дифференциальных схем, но требуют практического подтверждения для правильного выбора их параметров при проектировании приводов машин. Для проверки эффективности работы новых схем в реальных приводах были изготовлены четыре модели механизмов и экспериментальная установка с измерительным комплексом.

Методика исследования и оборудование

Модели дифференциалов изготовлены для обобщенного анализа и не связаны с конкретными приводами машин (рис. 1). Для всех схем принят прямолинейный ход 120 мм, который позволил при $Z_{\min} = 20$ мм принять модуль $m = 1,5$ мм. В результате анализа возможных вариантов рассчитан эксцентриситет $e = 30$ мм для всех моделей, а величину отклонения радиусов сателлита и центрального колеса Δ (рис. 2) при-

няли с таким условием, чтобы оно имело общие множители с величиной e :

Схема 1 – $\Delta = +15$ мм,

Схема 2 – $\Delta = -15$ мм,

Схема 3 – $\Delta = -45$ мм,

Схема 4 – $\Delta = -75$ мм.

Значения чисел зубьев колес и передаточное число замыкающей ступени моделей по схемам даны в табл. 1.

Для испытания моделей собрана исследовательская установка (рис. 3) не промышленного изготовления.

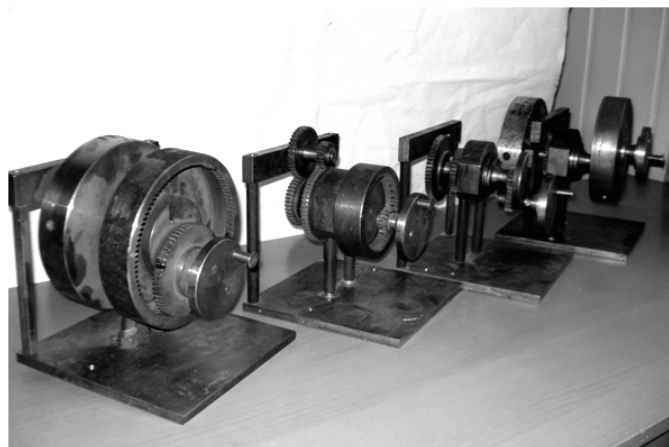


Рис. 1. Внешний вид моделей механизмов, по схемам 1, 2, 3, 4 слева направо и схема

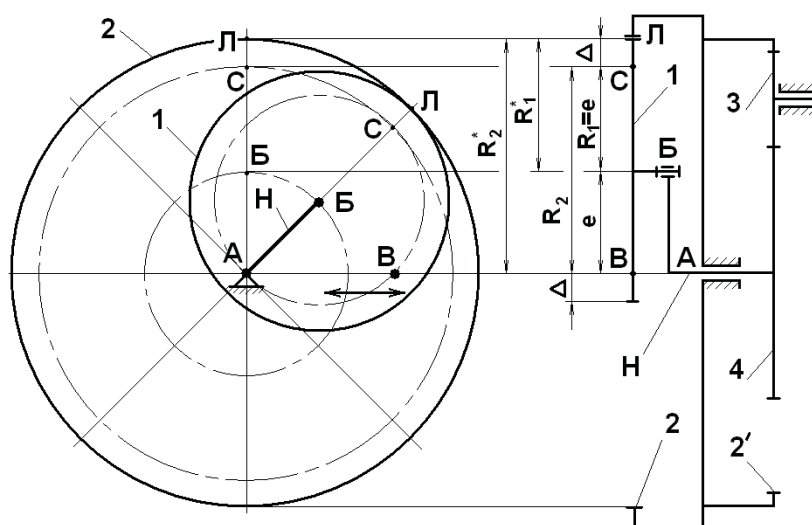


Рис. 2. Схема с обозначениями размеров на примере модели №1

Таблица 1

Параметры моделей для исследования

№ схемы	Δ	U_{24}	Z_1	Z_2	$Z_{2'}$	Z_3	$Z_{3'}$	Z_4
Схема 1	+15	- 1/5	60	100	100	40	–	20
Схема 2	-15	1/3	20	60	60	20	40	40
Схема 3	-45	3	20	20	40	40	20	60
Схема 4	-75	-5	60	20	20	40	–	100

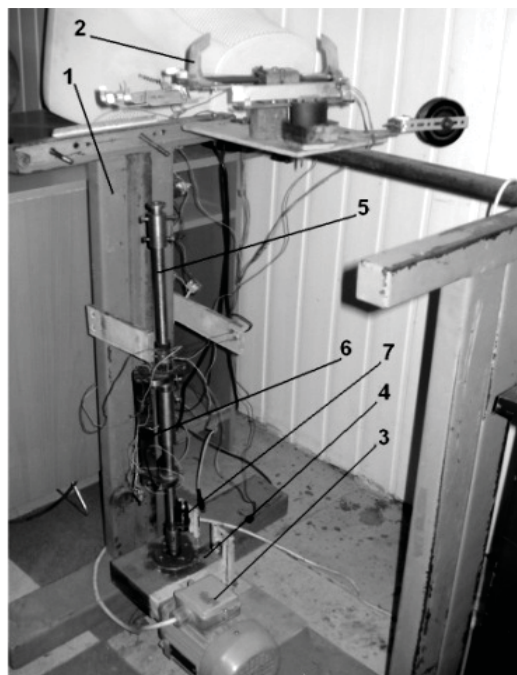


Рис. 3. Внешний вид экспериментальной установки и измерительного комплекса

Она состоит из рамы 1, каретки с датчиками движения 2, электродвигателя 3, редуктора 4, приводного вала 5 (жесткая пальцевая муфта, втулочные муфты, валы-удлинители), датчика крутящего момента 6, питающего элемента 7. Измерительная аппаратура (рис. 3) состоит из тензометрической станции А17-Т8, предназначенная для регистрации активных электро-сигналов с датчиков по 8-ми каналам одновременно, переносного компьютера для регистрации осциллограмм, часового тахометра и прибора контроля электросигнала.

Использованы самодельные датчики: перемещения подвижной каретки – реостатного типа, датчик линейной скорости – индукционного пассивного типа, датчик крутящего момента – тензометрический.

Результаты исследования

Для проверки условий существования прямой траектории в моделях получена картина обкатывания мнимой окружности на

сателлите с радиусом e по геометрическому месту центров скоростей 2-го звена с радиусом $2e$, как в базовом планетарном механизме (рис. 4).

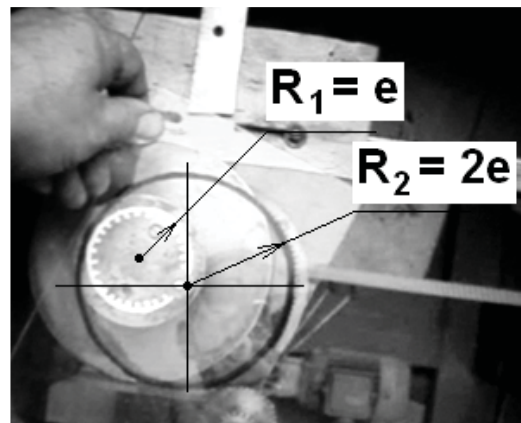


Рис. 4. Картина обкатывания мнимых окружностей

В соответствии с расчетами, обобщенная погрешность для радиусов схемы дифференциала равна:

$$v = \frac{\frac{e+p}{2e+\Delta+\delta} \cdot \frac{1}{\omega_H - \frac{\Delta\omega_2}{2e+\Delta}} \cdot (\Delta+\delta) - (e-p)}{\frac{e+p}{2e+\Delta+\delta} \cdot \frac{1}{\omega_H - \frac{\Delta\omega_2}{2e+\Delta}} + 1}$$

где v – ошибка в размере радиусов R и r ; δ – величина изменения Δ ; p – зазор в подшипниках опор; $\Delta\omega_2$ – приращение угловой скорости центрального колеса.

Для всех ошибок, включая ошибку положения k точки на сателлите, траектория точки B описывается координатами гипоциклоиды:

$$\begin{cases} x^* = (e+p)\cos\varphi + (e\pm k)\cos\left(\frac{e+p}{e+\Delta-p+\varepsilon}\varphi\right) \\ y^* = (e+p)\sin\varphi - (e\pm k)\sin\left(\frac{e+p}{e+\Delta-p+\varepsilon}\varphi\right) \end{cases}$$

При обнулении ошибок, кроме k , получаем уравнение эллипса (рис. 5):

$$\begin{cases} x^* = (2e\pm k)\cos\varphi \\ y^* = -(\pm k)\sin\varphi \end{cases}$$

Уравнение показывает, что малая ось эллипса равна $2k$, так как при обратном ходе получаем $(-\sin\varphi)$. А сам ход может быть короче или длиннее.

Исследование траектории точки на сателлите на прямолинейность выполнено методом киносъемки и методом вычерчивания траектории (рис. 5). При округлении числа зубьев колес замыкающей ступени образуется гипоциклоида (рис. 6).

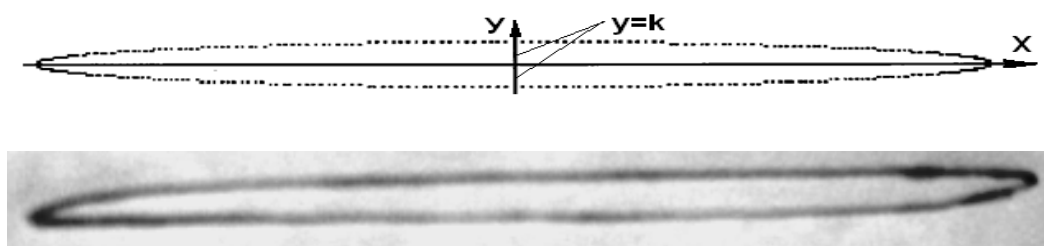


Рис. 5. Формы траектории при наличии k – теоретическая сверху, экспериментальная снизу

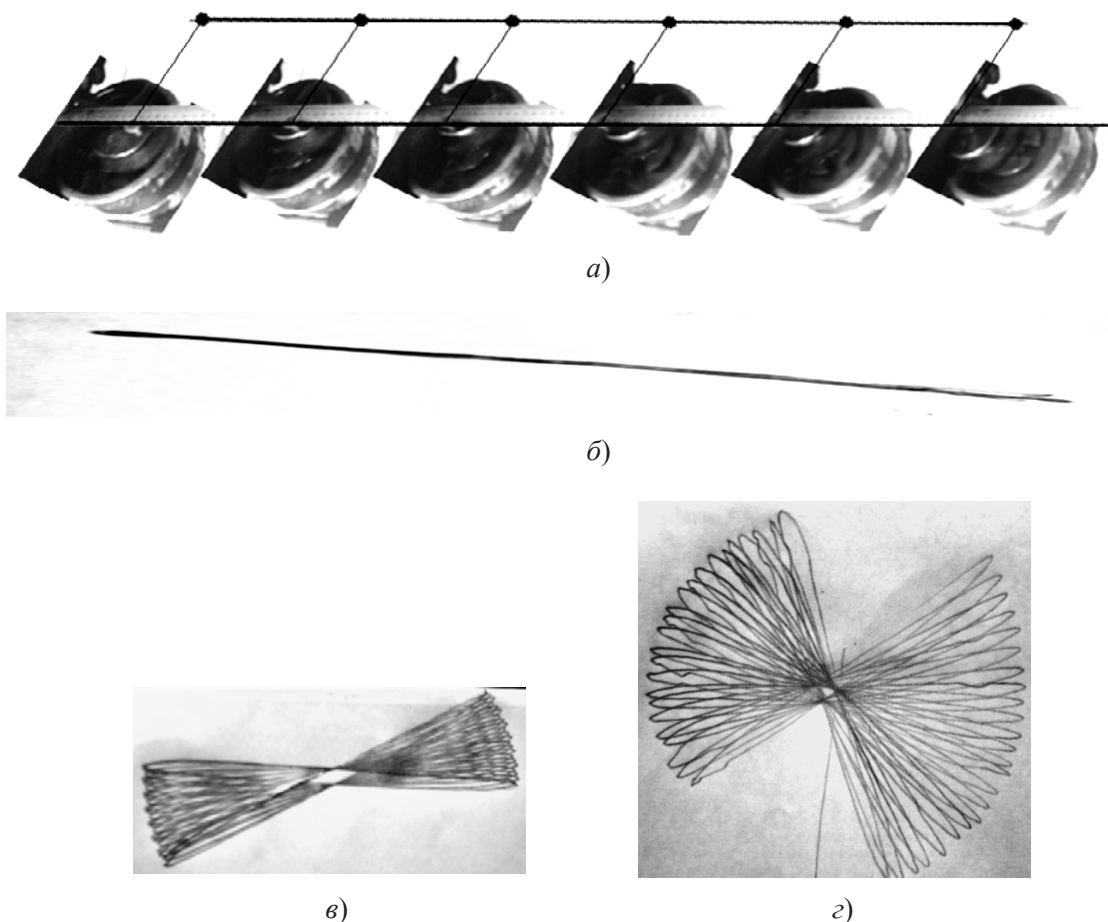


Рис. 6. Фотокартина положений и рисунки форм прямолинейной траектории точки:
а – фотокартина траектории движения точки; б – нормативная прямолинейная траектория;
в – гипоциклоида при отклонении в 1 зуб; г – при отклонении в 3 зуба

Теоретически получены уравнения моментов на потенциальных ведущих валах звеньев 2, 3, Н с учетом КПД шарниров $\eta_{ш}$ и зацепления $\eta_{зуб}$:

$$M_H = F_{nc} \cdot e \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \sin \varphi_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ш}^2} - U_{2H} \cdot \frac{1}{\eta_{ш}^2 \cdot \eta_{зуб}^2} \right)$$

$$M_2 = F_{nc} \cdot e \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \sin \varphi_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ш} \cdot \eta_{зуб}} - \frac{1}{U_{2H} \cdot \eta_{ш}^2 \cdot \eta_{зуб}^2} \right)$$

$$M_3 = F_{nc} \cdot e \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_4} \cdot \sin \varphi_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ш}^2 \cdot \eta_{зуб}^2} - \frac{U_{2H}}{\eta_{ш} \cdot \eta_{зуб}^2} \right)$$

Рассмотрен также вариант с дополнительными моментами $M_{2доп}$ и $M_{3доп}$, действующими извне на центральное колесо 2 и на замыкающий блок 3:

$$M_H^* = M_H \pm M_{2доп} \cdot U_{2H}$$

$$M_H^* = M_H \pm M_{3доп} \cdot U_{2H} \cdot \frac{R_2'}{R_2}$$

$$M_H^* = M_H \pm M_{2доп} \cdot U_{2H} \pm M_{3доп} \cdot U_{2H} \cdot \frac{R_2'}{R_2}$$

Кинематику исследовали визуально по картинам траекторий и осциллограммам перемещения и скорости точки точного прямолинейного движения. Осциллограммы изменения перемещения и скорости прямолинейного движения точки на спутнике записаны одновременно через тензометрическую станцию А17-Т8. (рис. 7).

Момент кручения так же записывался тензостанцией для всех моделей вместе с кинематикой. Анализ сходимости моментов с расчетом показан в таблице 2. Средняя сходимость результатов составила 11,3 %.



Рис. 7. Пример записи сигналов кинематики прямолинейного движения

Таблица 2

Анализ крутящего момента на водиле моделей

Параметр	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
Экспериментальные моменты, Н*м				
$M_{амп}$	0,8	1,127	1,679	2,08*
Расчетные моменты, Н*м				
M_{Hmax}	0,892	0,975	1,476	2,2*
% сходимости	10,3%	15,6%	13,8%	5,5%

* – модель №4 проворачивалась через вал колеса №2

Выводы

В результате экспериментальных исследований:

– подтверждены наличие мнимой окружности качения сателлита, и формирование прямолинейной траектории без направляющей;

– показано, что кинематика соответствует гармоническому;

– показано, что при появлении ошибки в положении точки прямолинейного движения образуется стабильный эллипс;

– при округлении числа зубьев замыкающей ступени даже на один зуб появляется

гипоциклоида с растущим нарушением прямой траектории;

– со средней ошибкой в пределах 11,3 % подтверждены уравнения моментов на ведущих валах Н, 2 и 3;

– показано, что модель № 4 [4] не проворачивается через водило Н из-за самоторможения. Меньшее сопротивление прокручиванию на валах замыкающей ступени 3 и центрального колеса 2.

Список литературы

1. Патент РФ № 5056238/28, 24.07.1992
2. Патент РФ № 94030365/28, 16.08.1994
3. Патент РФ № 98109210/28, 15.05.1998
4. Патент РФ № 98109187/28, 15.05.1998