

УДК 621.833

В.Н. Стрельников, д-р техн. наук, проф.,
Г.С. Суков, канд. экон. наук, **М.Г. Суков**, инж.
ПАО Новокраматорский машиностроительный завод, Украина
Тел./факс: 38 (06264) 7 – 22 – 49; E-mail: rs@nkmz.donetsk.ua

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЕВЫХ СИЛ В КРУПНЫХ ВОЛНОВЫХ РЕДУКТОРАХ

Представлены результаты экспериментального исследования осевых сил имеющих место в крупных волновых передачах с дисковым генератором волн, возникающих в кинематических парах диск – гибкое колесо. Измерение осевых сил производилось тензометрией гибких зубчатых колес испытуемых волновых редукторов.

Ключевые слова: гибкое колесо, осевая сила, диск, вращающий момент, тензорезистор.

Введение

Главным звеном волновой передачи, требующим особого внимания с точки зрения нагрузочной способности и ресурса работы, служит гибкое колесо, которое непрерывно деформируется генератором волн. Учитывая существенное влияние таких деформаций на силовые процессы, имеющие место в волновой передаче с дисковым генератором волн, выполним оценку осевых сил возникающих в крупных волновых передачах. Взаимодействие генератора с гибким колесом представлены в работах [1, 2, 3].

Вращающий момент формируется дисками генератора волн на участке гибкого зубчатого венца и передаётся касательными усилиями, распределёнными по торцу оболочки не равномерно вследствие неравномерной деформации зубчатого венца. Гибкое колесо преобразует вращение генератора волн в волновое движение гибкого зубчатого венца, составляющая вращения которого отбирается посредством оболочки и через шлицы передаётся на ведомый вал. Оболочка представляет часть гибкого колеса свободную от внешней нагрузки, передающую крутящий момент через шлицевое соединение на ведомый вал. Податливость оболочки сглаживает влияние пиковых нагрузок при передаче крутящего момента и выравнивает распределение сил в кинематических парах.

При передаче больших значений вращающих моментов, низкая жесткость гибкого колеса определяет значительные по величине деформации, приближая его к некоторой форме винтовой конической поверхности [4]. Несимметричное распределение нормальной нагрузки на поверхностях дисков генератора волн, отклоняет их относительно плоскостей движения на некоторый угол γ . При обкатке дисков с перекошенными осями относительно оси деформируемого гибкого колеса, по его внутренней поверхности, диски "ввинчиваются" в гибкое колесо, перемещая генератор волн вдоль оси на величину осевого люфта, выборка которого сопровождается осевой ударной нагрузкой на опорный подшипник [5].

Целью данной работы является установление зависимости осевых сил, возникающих в волновой передаче с дисковым генератором волн, от передаваемого вращающего момента.

Основное содержание работы

Исследование осевых сил, возникающих в крупных волновых передачах с дисковым генератором волн, осуществлялось экспериментально, методом тензометрии оболочки гибкого колеса. В качестве объектов исследования использовались волновые зубчатые редукторы ВЗ-1120А привода перефутеровки рудоразмольной мельницы МГР5500×7500 и ВЗ-1120 привода поворота передвижного миксера МП-600АС. Экспериментальные исследования проводились на универсальном стенде с разомкнутым силовым контуром (рис. 1), включающем: тиристорный агрегат, порошковый тормоз, мультипликатор, два электродвигателя с тахогенераторами, испытуемый редуктор. Нагрузочный момент M_2 на выходном валу испытуемого редуктора обеспечивался порошковым электротормозом ТЭП 4500-У1 через мультипликатор с передаточным отношением $U_M = 0,03322$.

Осевые силы возникают в кинематических парах, образованных дисками генератора волн с гибким колесом. Конструкция генератора волн не обеспечивает строгой параллельности осей дисков с общей осью волновой передачи. Перекос осей дисков генератора волн, формирует подобие фрикционной винтовой пары с малым шагом винта: генератор – гибкое колесо. Вращение ведущего вала вызывает винтовые движения генератора, который «ввинчивается» в гибкое колесо с осевой силой P , пропорциональной нагрузочному моменту M_2 .

Стендовые испытания редуктора ВЗ-1120А передвижного миксера МП-600АС показали, что при работе редуктора под нагрузкой происходит усталостное разрушение болтов $M16$, фиксирующих осевое смещение гибкого колеса. Бронзовая пята ограничения осевого движения генератора волн, также разрушилась. Причины возникновения осевых сил в волновой передаче были не ясны, что вызвало необходимость данного исследования [4].

Осевые силы волновой зубчатой передачи, получены тензометрией гибкого колеса (рис. 2) при различных нагрузочных режимах работы и сведены в табл. 1. По результатам измерений построены графические зависимости осевой силы на гибком колесе от величины нагрузочного момента волновых редукторов привода поворота передвижного миксера МП-600АС и перефутеровки рудоразмольной мельницы МГР 5500×7500 (рис. 3).

Таблица 1. Зависимость осевой силы на гибком колесе $P \cdot 10^3 Н$ от нагрузочного момента $M_2 \cdot 10^5 Нм$ на тихоходном валу волнового редуктора

Редуктор	Материал проставочного кольца	Нагрузочный момент, $M_2 \cdot 10^5 Нм$						
		0	0,2	0,5	1,5	3	4	5
		Значения осевой силы на гибком колесе, $P \cdot 10^3 Н$						
ВЗ-1120, привода наклона миксера	сталь	0	0,5	1,24	3,73	7,4	9,94	12,43
	бронза	0	0,31	0,76	2,29	4,57	6,1	7,62
ВЗ-1120А, привода мельницы	сталь	0	0,54	1,35	4,05	8,01	10,8	13,5
	бронза	0	0,33	0,83	2,48	4,96	6,61	8,26

Осевые силы, вызванные винтовым движением генератора волн в пределах осевых зазоров волнового редуктора, воспринимаются гибким колесом. В серийных волновых редукторах осевые силы незначительны и практически не влияют на их работу. В зависимости от конструктивных особенностей крупных волновых редукторов, осевые силы могут достигать достаточно больших значений, чем вызывать

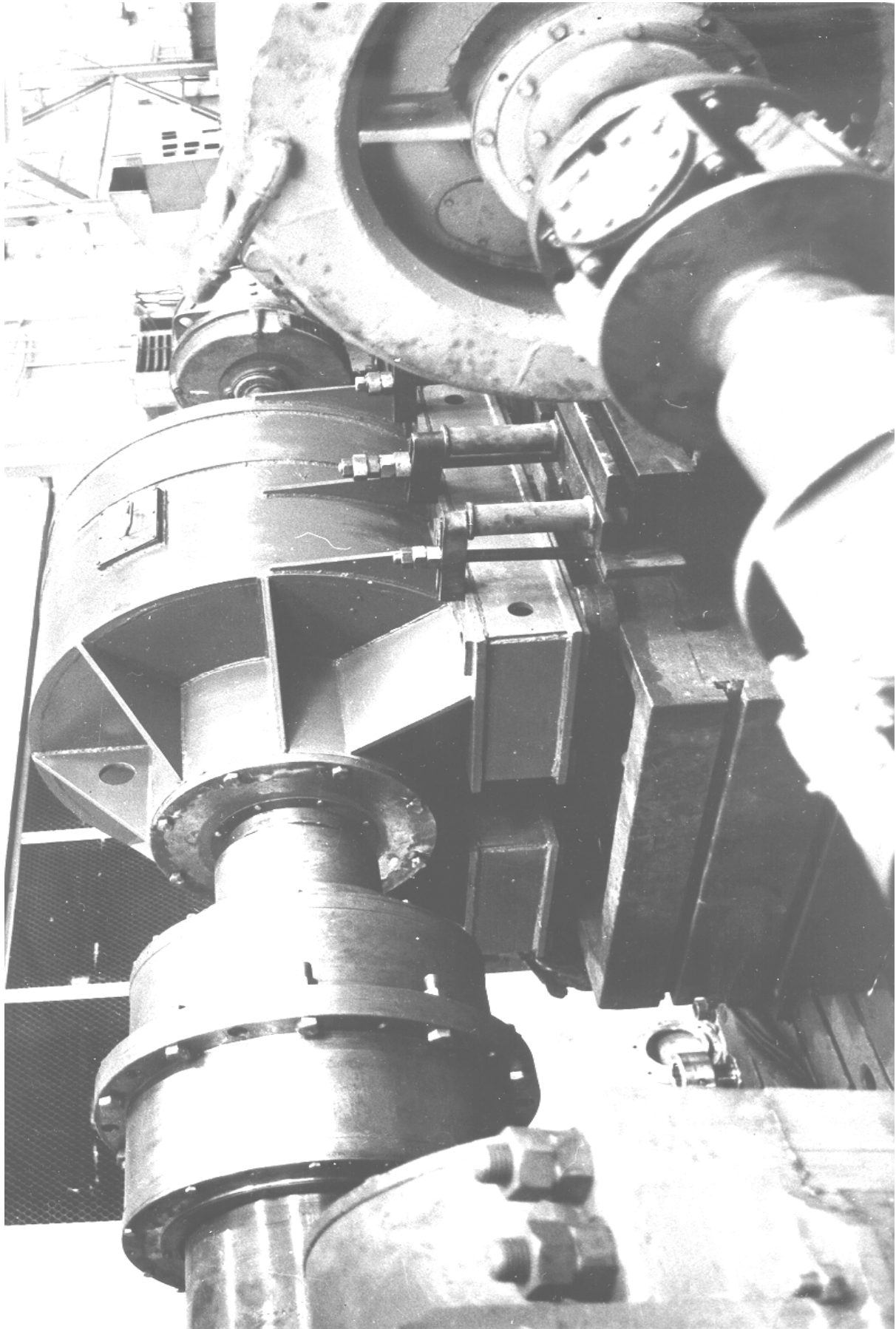


Рис. 1. Универсальный испытательный стенд с разомкнутым силовым контуром для исследования волновых редукторов

разрушение деталей и узлов ограничивающих перемещения гибкого колеса и генератора волн во взаимно противоположных осевых направлениях.

Как показали исследования, осевая сила на гибком колесе является некоторой функцией нагрузочного момента M_2 . Она однонаправлена - всегда растягивающая и не зависит от направления вращения генератора волн. Возбуждение осевых сил в волновой зубчатой передаче связано с деформацией гибкого колеса, способа установки генератора волн: «плавающий» или на подшипниковых опорах, а также конструкции опор дисков генератора волн, влияющей на отклонение их осей от параллельности оси волновой передачи.

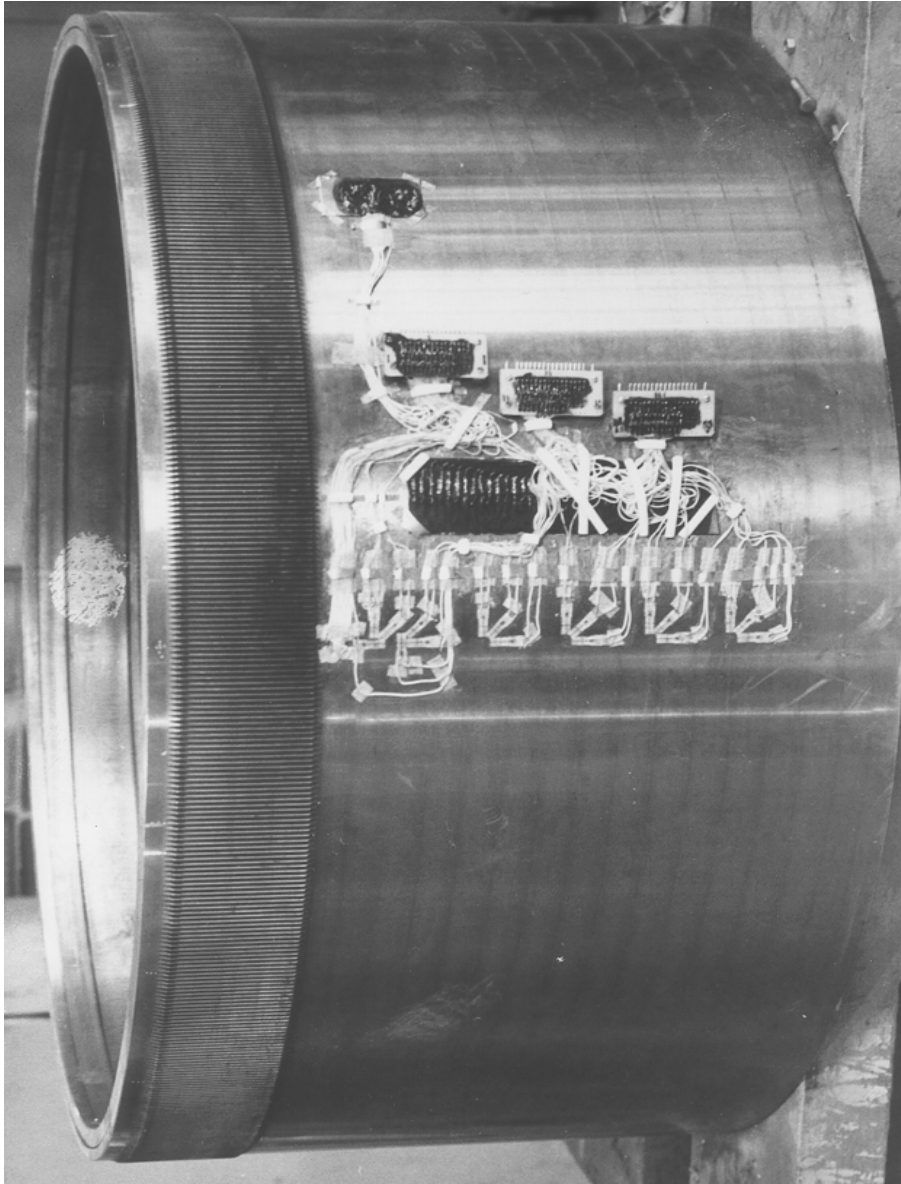


Рис. 2. Гибкое зубчатое колесо волнового редуктора привода наклона передвижного миксера МП – 600 АС с тензорезисторами, смонтированными на упругой цилиндрической оболочке

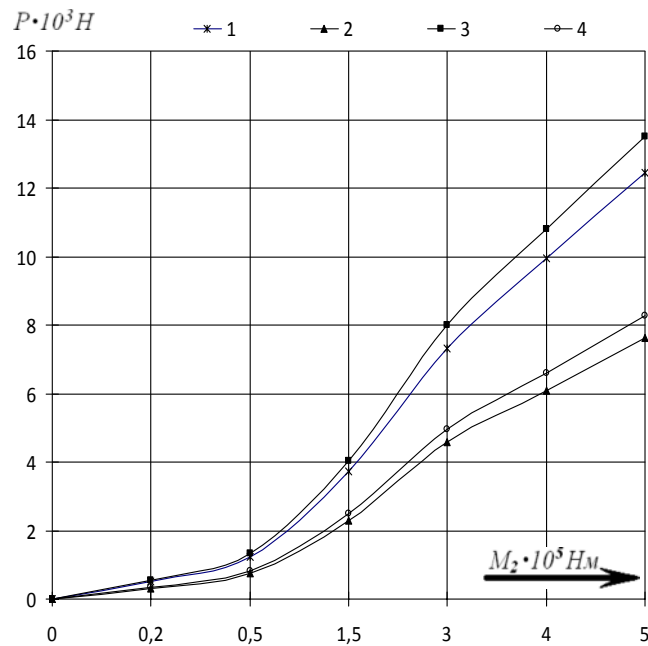


Рис. 3 Зависимость осевой силы P , действующей на гибкое колесо со стороны генератора волн, от нагрузочного момента M_2 редуктора: 1 – привода наклона миксера со стальным проставочным кольцом; 2 – привода наклона миксера с проставочным кольцом из бронзы; 3 – привода мельницы со стальным проставочным кольцом; 4 – привода мельницы с проставочным кольцом из бронзы

При нагрузочном моменте $M_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ осевой растягивающая сила на гибком колесе редуктора миксера с проставочным кольцом из бронзы, составляет $P_{k_б} = 0,31 \cdot 10^3 \text{ Н}$; со стальным проставочным кольцом, $P_{k_с} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ Н}$. При такой же нагрузке редуктора мельницы, осевая сила на гибком колесе с проставочным кольцом из бронзы составляет $P_{k_б} = 0,33 \cdot 10^3 \text{ Н}$; и стальным проставочным кольцом, $P_{k_с} = 0,54 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

С повышением нагрузочного момента M_2 , осевые силы волновой передачи возрастают. При моменте $M_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Нм}$, осевая растягивающая сила на гибком колесе с проставочным кольцом из бронзы, для волнового редуктора миксера, составляет $P_{k_б} = 7,62 \cdot 10^3 \text{ Н}$; стальным проставочным кольцом, $P_{k_с} = 12,43 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

При вращающем моменте $M_2 = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Нм}$, осевая сила на гибком колесе с проставочным кольцом из бронзы, для волнового редуктора мельницы $P_{m_б} = 8,26 \cdot 10^3 \text{ Н}$; и с проставочным кольцом из стали, $P_{m_с} = 13,5 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

В волновом редукторе привода рудоразмольной мельницы МГР 5500×7500 осевые силы больше, чем в волновом редукторе привода поворота передвижного миксера МП – 600АС. Для нагрузочных моментов $M_2 = 5 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^5 \text{ Нм}$, осевая сила на гибком колесе редуктора мельницы превышает аналогичную силу редуктора миксера на 8 ÷ 9 %.

Более высокие осевые силы на гибком колесе редуктора рудоразмольной

мельницы, в сравнении с редуктором поворота передвижного миксера, обусловлены соотношением геометрических размеров из-за различных передаточных отношений. При одинаковых нагрузочных моментах M_2 на рассматриваемых редукторах, мощность передаваемая редуктором мельницы на 28% больше мощности передаваемой редуктором миксера.

Заключение

Полученные результаты позволяют уточнить силовой анализ и прочностной расчет волновых редукторов с дисковым генератором волн, а также разработать рекомендации по снижению осевых сил в крупных волновых передачах, встроенных в механические приводы тяжелых машин:

1. исключить «плавающую» установку генератора волн и закрепить его на подшипниковых опорах;
2. исключить «верчение» дисков относительно оси генератора волн;
3. устранить осевые люфты на генераторе волн и гибком колесе;
4. установить между дисками и гибким колесом проставочное кольцо из бронзы;
5. в зону зубчатого зацепления и контакта дисков с гибким колесом подвести принудительную смазку с высокими антифрикционными свойствами.

Список литературы:

1. Стрельников В.Н. Определение усилий, действующих на гибкое колесо со стороны генератора волн / В.Н. Стрельников // Вестник ХГПУ. - 2000. – Вып. 109. – С. 154 – 158.
2. Стрельников В.Н. Взаимодействие генератора волн с гибким колесом / В.Н. Стрельников // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сб. научн. тр. – 2000. – Вып. 13. – С. 191 – 199.
3. Стрельников В.Н. Параметры взаимодействия дискового генератора волн с гибким колесом / В.Н. Стрельников // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междунар. сб. научн. тр. – 2001. – Вып. 17. – С. 254 – 263.
4. Стрельников В.Н. Экспериментальные исследования осевых сил в волновой передаче / В.Н. Стрельников, С.В. Севостьянов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2001. – Вып. 13/2001. – С. 74 – 77.
5. Стрельников В.Н. Определение осевых сил на гибком колесе волновой передачи / В.Н. Стрельников, С.В. Севостьянов // Вестник ХГПУ. - 2000. – Вып. 109. – С. 159 – 172.

Надійшла до редакції 11.02.2013.

В.М. Стрельніков, Г.С. Суков, М.Г. Суков

V.N. Strelnikov, G.S. Sukov, M.G. Sukov

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВІСНИХ СИЛ У КРУПНИХ ХВИЛЬОВИХ РЕДУКТОРАХ

AXIAL FORCES EXPERIMENTAL DETERMINATION IN LARGE WAVE GEARS

Представлені результати експериментальних досліджень вісних сил, що виникають у крупних хвильових передачах з дисковим генератором хвиль у кінематичних парах диск – гнучке колесо. Вимір вісних сил виконувався тензометрією гнучких зубчастих коліс досліджуваних хвильових редукторів.
Ключові слова: гнучке колесо, вісна сила, диск, обертальний момент, тензорезистор.

The paper presents the results of experimental investigation axial forces are presented. Axial forces sensing was made by flexible gears strain measurement.
Key words: flexible gear, axial force, disk, driving torque, resistive-strain sensor.