УДК 621.833

В.Н. Стрельников, Г.С. Суков, М.Г. Суков
ПАО "НКМЗ", г. Краматорск, Украина
+38 (06272) 2 – 53 – 91; факс: 38 (06264) 7 – 22 – 49; E-mail: rs@nkmz.donetsk.ua

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ К.П.Д. КРУПНЫХ ВОЛНОВЫХ РЕДУКТОРОВ

Аннотация. *Представлены результаты экспериментальных исследований к.п.д. крупной волновой зубчатой передачи.* Крутящий момент на тихоходном валу волнового редуктора задавался электромагнитным порошковым электротормозом через мультипликатор. *Измерение крутящих моментов на входном валу редуктора осуществлялось по току якоря электродвигателя. Исследовалось влияние эксплуатационных параметров* волновых редукторов *на их к.п.д.*
Ключевые слова: *волновой редуктор, крутящий момент, стенд, нагрузка.*

1. Введение

Механический привод осуществляет функциональную связь двигателя с рабочими органами машины, преобразуя кинематические и силовые параметры присоединённых звеньев до заданных величин. Процесс сопровождается потерей механической энергии, относительная величина которой служит важной технической характеристикой качества механического привода [1, 2].

Основу главных приводов тяжёлых машин составляют редукторы, потери в которых во многом определяют общие энергетические потери машин и агрегатов. При крупных единичных мощностях машин и оборудования, вопрос об энергетических потерях в редукторах приобретает особую актуальность, т. к. он связан не только с большими энергетическими потерями и соответствующими финансовыми издержками, но и техническими условиями охлаждения смазки и отвода тепла [3].

2. Основное содержание и результаты работы

К.п.д. волновых зубчатых редукторов привода перефутеровки рудоразмольной мельницы и механизма поворота передвижного миксера, определялись экспериментально, при различных режимах нагрузки. Экспериментальные исследования редуктора привода наклона передвижного миксера МП–600АС проводились на универсальном стационарном испытательном стенде (рис. 1) [4], который включает: тиристорный агрегат, порошковый электротормоз, тормозной мультипликатор, два последовательно включенных электродвигателя с тахогенераторами, испытываемый волновой зубчатый редуктор. Крутящий момент на тихоходном валу редуктора обеспечивался электромагнитным порошковым тормозом ТЭП 4500-У1 через мультипликатор с передаточным отношением U=30,1. Порошковый тормоз обеспечивает номинальный момент торможения $4{,}2 \cdot 10^4$ Нм и максимальный момент торможения $4{,}5 \cdot 10^4$ Нм.

Экспериментальные исследования редуктора привода перефутеровки рудоразмольной мельницы выполнялись на стенде с разомкнутым силовым потоком (рис. 2). К.п.д. редуктора определяется при пяти скоростях вращения входного вала n_1 и двенадцати значений нагрузочного момента M_2 (рис. 3). По результатам испытаний волновых зубчатых редукторов привода перефутеровки рудоразмольной мельницы и поворота миксера, построены графики зависимости к.п.д. от величины нагрузочного момента M_2 (рис. 4) [5, 6].

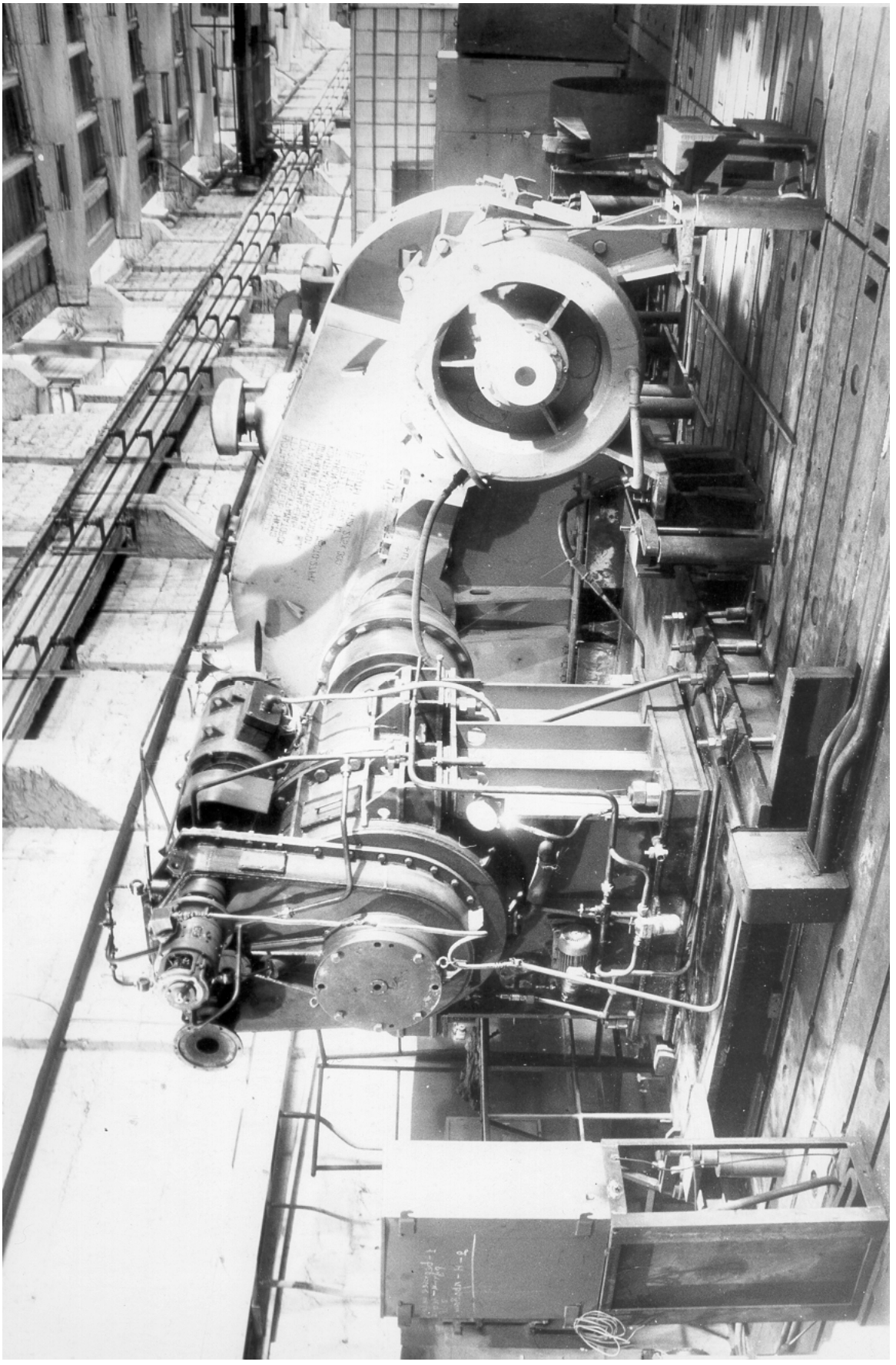

Рис. 1. Универсальный испытательный стенд для волнового редуктора привода наклона миксера МП- 600 АС

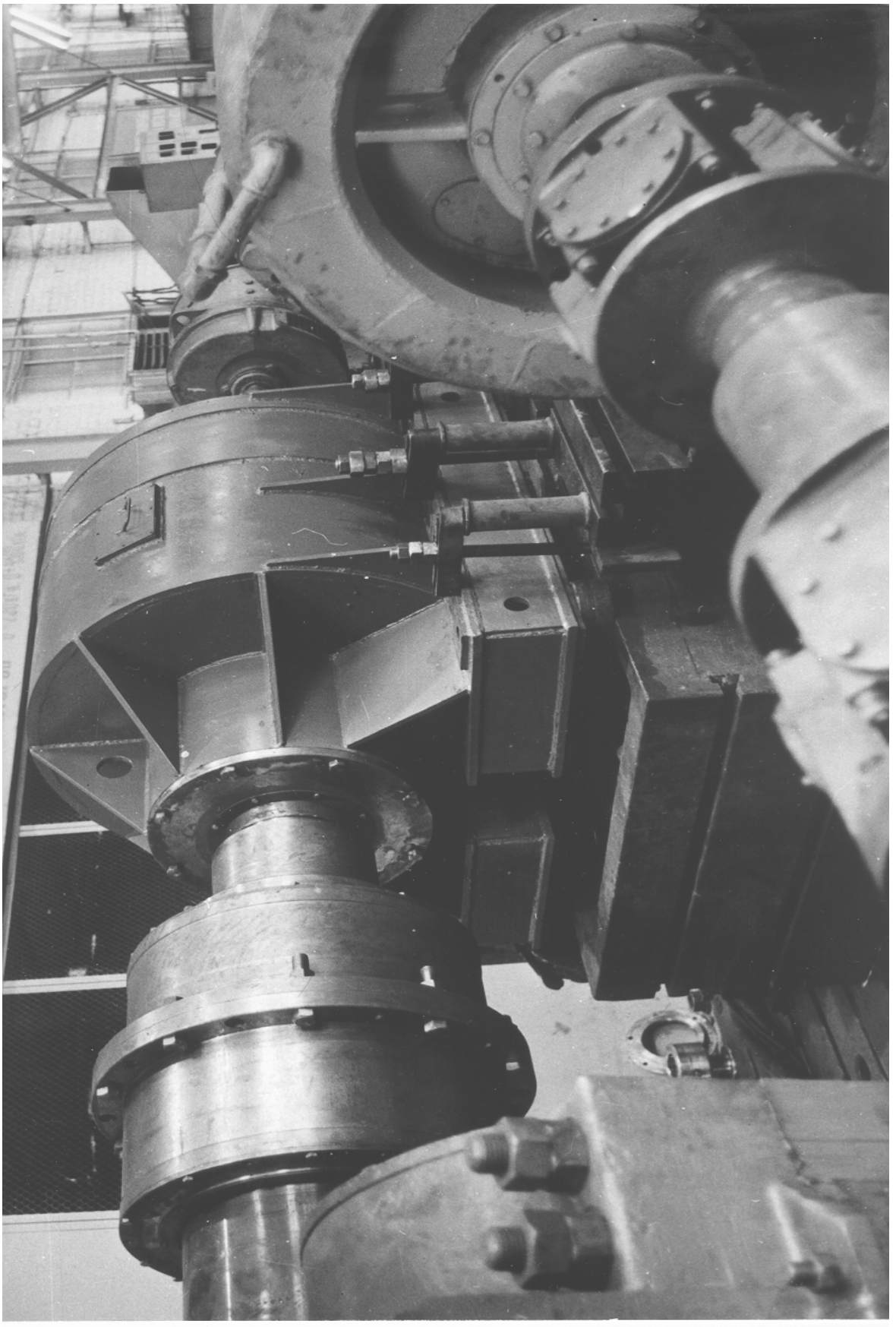

Рис. 2. Стенд для экспериментальных исследований редуктора перефутеровки мельницы МГР 5500 × 7500

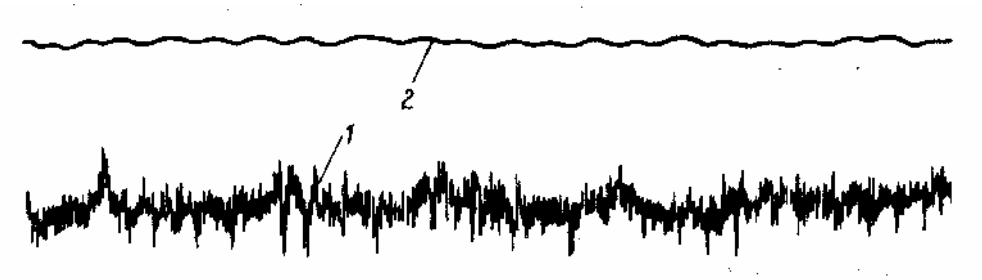

Рис. 3. Осциллограмма крутящих моментов на валах волнового редуктора привода поворота передвижного миксера МП – 600 АС, при частоте вращения входного вала ω_1= 1,667 $с^{-1}$: 1 - крутящий момент на входном валу; 2– крутящий момент на выходном валу задается $M_2 = 2{,}5 \cdot 10^5$ Н·м

При нагрузке $M_2 = 2 \cdot 10^4$ Нм, к.п.д. редукторов имеют минимальные значения (табл. 1).

Таблица 1. К.п.д. редукторов при различных значениях нагрузочного момента M_2

Редуктор привода	Материал проставочного кольца	к.п.д. редуктора при n_1 = 100 об/мин			
		Нагрузочный момент, $M_2 \cdot 10^5$ Н·м			
		0,2	2,5	3,0	5,0
перефутеровки мельницы	сталь	0,82	-	0,90	0,88
	бронза	0,84	-	0,92	0,90
поворота миксера	сталь	0,80	0,89	-	0,86
	бронза	0,82	0,91	-	0,89

Экспериментально установлена тенденция снижения неравномерности распределения нагрузки по длине зубьев при повышении нагрузочного момента, что улучшает условия взаимодействия зубьев, снижает относительные энергетические потери в зубчатом зацеплении и способствует росту к.п.д. волновых редукторов.

При повышении нагрузочного момента M_2 свыше $(2{,}5 \div 3) \cdot 10^5$ Нм, повышается деформация гибкого колеса, увеличивается интерференция зубьев на входе в зацепление, усиливается давления на диски генератора волн со стороны гибкого колеса. Это вызывает дополнительные энергетические потери в зубчатом зацеплении и области генератора волн. В результате снижается к.п.д. и нагрузочная способность исследуемых редукторов. Для предотвращения падения к.п.д. волновых редукторов на более высоком уровне нагрузки, необходимо улучшить условия входа зубьев в зацепление, исключать их интерференцию, конструктивными методами снизить энергетические потери в генераторе волн.

К.п.д. редукторов привода перефутеровки рудоразмольной мельницы и наклона передвижного миксера измерялись при ступенчатом изменении частоты вращения генератора волн n_1 = (50; 100; 250; 500; 750) об/мин, и нагрузочных моментах M_2 = (0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0)$\cdot 10^5$ Нм. Результаты измерения к.п.д. исследуемых редукторов приведены на рисунках 5 и 6, а также в таблице 2.

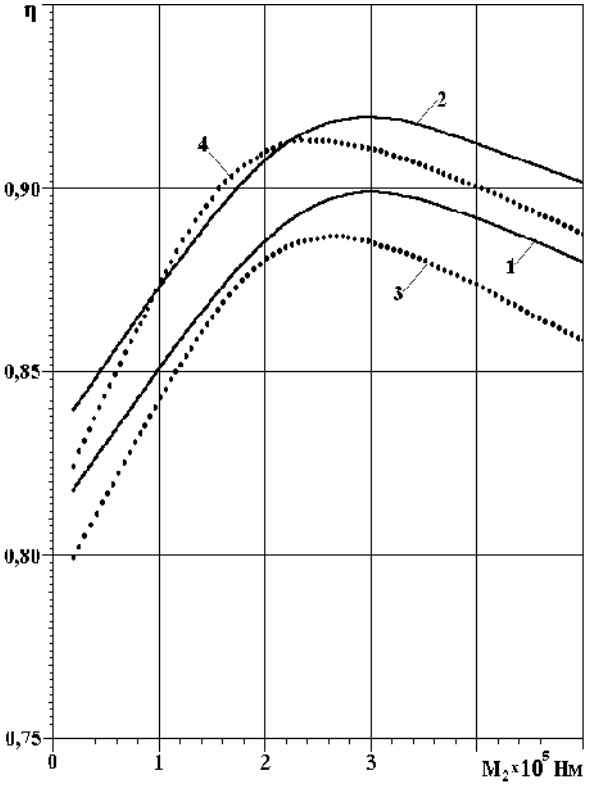

Рис. 4. К.п.д. волновых зубчатых редукторов привода перефутеровки рудоразмольной мельницы МГР 5500×7500 (кривые 1 и 2) и поворота передвижного миксера МП – 600АС (кривые 3 и 4) в зависимости от нагрузочного момента M_2: 1 и 3 - кривые получены при использовании проставочного кольца из стали; 2 и 4 - кривые получены при использовании проставочного кольца из бронзы

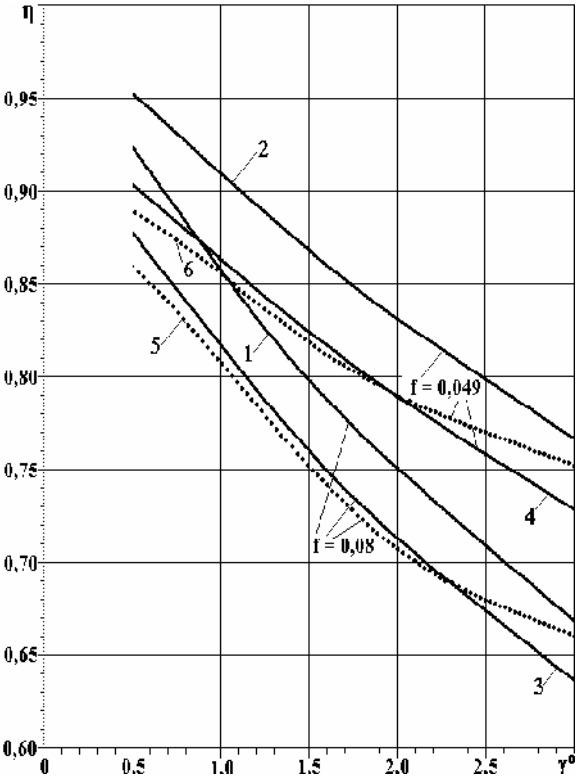

Рис. 5. К.п.д. волнового зубчатого редуктора привода перефутеровки рудоразмольной мельницы МГР 5500×7500 в зависимости от нагрузочного момента M_2, при различной частоте вращения генератора волн ω_1 = {5,24 c^{-1} (кривая 1), 10,47 c^{-1} (кривая 2), 26,18 c^{-1} (кривая 3), 52,36 c^{-1} (кривая 4), 78,54 c^{-1} (кривая 5),} - использовано проставочное кольцо из бронзы

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением частоты вращения генератора волн n_1, к.п.д. редукторов понижается. При повышении частоты n_1 от 50 об/мин до 750 об/мин, к.п.д. исследуемых редукторов понижается на 2%. С повышением нагрузочного момента M_2 до величины $(2,5 \div 3,0) \cdot 10^5$ Нм, наблюдается рост к.п.д. при всех значениях частоты вращения генератора волн.

Дальнейшее увеличение нагрузочного момента M_2 приводит к снижению к.п.д. редуктора. Падение к.п.д. волновых редукторов с увеличением частоты вращения генератора волн обусловлено главным образом ростом мощности потерь в зубчатом зацеплении и кинематических парах: диски генератора волн - гибкое колесо. Возрастают потери на перемешивание смазки.

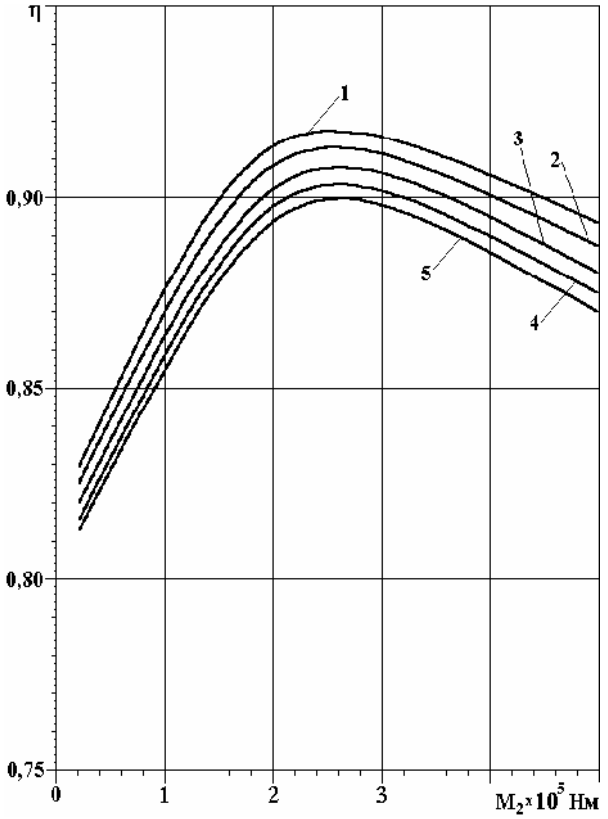

Рис. 6. К.п.д. волнового зубчатого редуктора привода поворота передвижного миксера МП – 600АС в зависимости от нагрузочного момента M_2, при различной частоте вращения генератора волн ω_1 = {5,24 $с^{-1}$ (кривая 1), 10,47 $с^{-1}$ (кривая 2), 26,18 $с^{-1}$ (кривая 3), 52,36 $с^{-1}$ (кривая 4), 78,54 $с^{-1}$ (кривая 5),} - использовано проставочное кольцо из бронзы

Таблица 2. К.п.д. редукторов при различных значениях частоты вращения генератора волн и нагрузочных моментов M_2

Частота вращения генератора n_1, об/мин	К.п.д. редуктора					
	мельницы			миксера		
	Нагрузочный момент, $M_2 \cdot 10^5$ Н·м					
	0,2	3,0	5,0	0,2	2,5	5,0
50	0,846	0,925	0,908	0,830	0,918	0,894
100	0,840	0,920	0,902	0,825	0,913	0,888
250	0,836	0,913	0,895	0,820	0,908	0,880
500	0,834	0,908	0,890	0,816	0,904	0,874
750	0,832	0,906	0,886	0,813	0,900	0,870

Наибольшие потери энергии в волновой передаче происходят в зонах контакта дисков генератора волн с гибким колесом. Они пропорциональны углу отклонения дисков от плоскости движения γ и коэффициенту трения скольжения в зонах контакта дисков с гибким колесом.

3. Заключение

Для снижения энергетических потерь и ударных осевых нагрузок в волновой передаче, необходимо минимизировать зазоры в генераторе волн и устранить сборочные люфты на дисках, обеспечив условие $\gamma \Rightarrow 0$, а между дисками генератора волн и гибким колесом устанавливать кольцо из бронзы.

Экспериментальная апробация физического аналога математической модели механизма образования энергетических потерь в области генератора волн на редукторах привода перефутеровки мельницы МГР 5500 × 7500 и поворота миксера МП-600АС, дала удовлетворительную сходимость данных теоретических и экспериментальных исследований, что свидетельствует о надёжности полученных результатов.

Список литературы:

1. Гафаров А.Г. Экспериментальное исследование КПД однорядных планетарных зубчатых механизмов// Известия вузов. Машиностроение. - 1968.- №12. – С. 17 – 21.

2. Гинзбург Е.Г. Коэффициент полезного действия волновых зубчатых передач// Зубчатые и червячные передачи. – Л.: Машиностроение, 1968. – С. 192 – 208.

3. Иванов М.Н. Волновые зубчатые передачи. – М.: Высшая школа, 1981. – 184 с.

4. Машины и стенды для испытания деталей / Гадолин В.Л., Дроздов Н.А., Иванов В.Н. и др. / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1979.– 343 с.

5. Иванов М.Н., Финогенов В.А. О КПД зацепления волновых передач // Известия вузов. Машиностроение. – 1972. - № 1. – С.29 - 32.

6. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Методика экспериментального определения КПД волновой зубчатой передачи // Известия вузов. Машиностроение.–1967.-№9.–С.54–57.

Надійшла до редколегії 01.06.2012 р.

V. Strelnikov, G. Sukov, M. Sukov

EXPERIMENTAL RESEARCH OF LARGE WAVE DRIVES EFFICIENCY

Results of experimental researches of large wave gear efficiency are presented. The torque of the wave drive output shaft was set by an electromagnetic powder brake through a multiplicator. Measurement of input shaft torques was carried out on a current of an anchor of the electric motor. Influence of operation parametres of wave drives efficiency was examined.

Keywords: *a wave drive, a torque, the stand, loading.*

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ К.К.Д. ВЕЛИКИХ ХВИЛЬОВИХ РЕДУКТОРІВ

Представлено результати експериментальних досліджень к.к.д. великої хвильової зубчастої передачі. Крутний момент на тихохідному валу хвильового редуктора задавався електромагнітним порошковим электротормозом через мультиплікатор. Вимір крутних моментів на вхідному валу редуктора здійснювалося по струму якоря електродвигуна. Досліджувався вплив експлуатаційних параметрів хвильових редукторів на них к.к.д.

Ключові слова: *хвильовий редуктор, крутний момент, стенд, навантаження.*