Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXXVII, 1981 г.

УДК 622.002.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПОТЕРИ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

НГУЕН ФАМ ТХЫК

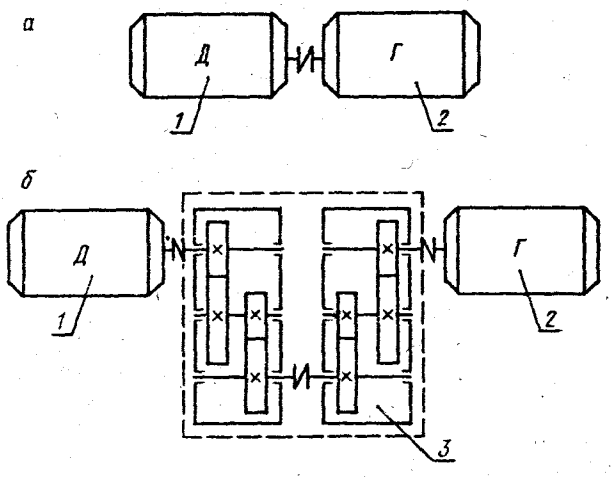


Рис.1. Схемы тарировки: а – машин постоянного тока; б – нагрузочных приводов стенда

Одним из основных показателей совершенства машин и механизмов является количество рассеянной при их работе энергии (потери энергии), которое оценивается КПД. Вопросу изучения КПД зубчатых передач уделяется большое внимание [I-5]. Однако в рассматриваемых работах не анализируется влияние динамических нагрузок на потери в приводах. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований по определению этого влияния. Эксперимент производился на стенде лаборатории горных машин ЛГИ.

Испытательный стенд (рис.I) состоит из двух машин постоянного тока: двигателя I и генератора 2. Нагрузка на валу генератора создается с помощью задающего устройства, разработанного в ЛГИ, и тиристорного преобразователя. Исследуемым объектом 3 являются два одинаковых редуктора типа РМ-650-3-7ц. В схеме один из них работает в режиме редуктора, другой – мультипликатора.

Потери мощности в зубчатых передачах в совокупности определяются на испытательном стенде из выражения

$$\Delta P_{2M} = P_{Д} - P_{Г} - \Delta P_{ГД}, \qquad (I)$$

где $P_Д$ - мощность, потребляемая двигателем из сети; $P_Г$ - мощность, отдаваемая генератором в сеть; $\Delta P_{ГД}$ - потери в системе генератор - двигатель.

Следовательно, для определения ΔP_{2M} необходимо знать зависимость

$$\Delta P_{ГД} = f(P_Г). \qquad (2)$$

Эту зависимость определяют испытаниями по схеме рис.I,а, когда валы двигателя и генератора соединяются между собой. При использовании выражений (I) и (2) мы не учитывали отличие в условиях работы двигателя в разных схемах (рис.I,а и I,б), так как разница практически несущественна.

В процессе испытания по обеим схемам мгновенные значения мощностей $P_Д$ и $P_Г$ регистрировались на фотопленке осциллографа Н-700 с помощью датчиков Холла и гальванометров М.001.IA. Для обработки полученных осциллограмм использовался планиметр Пр-2.

Испытания по схеме рис.I,а были проведены с нагрузками, имеющими частоту f = 0; 6,6; 9,8 Гц; коэффициент неравномерности нагрузки $K_Н$ = = 0; 0,8; I,6; 2,3. Результаты, полученные после обработки осциллограмм, сглаживаются по методу наименьших квадратов выражениями вида

$$\Delta P_{ГД} = P_X + \beta P_Г^2, \qquad (3)$$

где P_X - потери холостого хода, снятые при возбуждении генератора; β - коэффициент потерь мощности в машинах постоянного тока с увеличением нагрузки.

Зависимости (3), полученные при разных режимах нагружения, приведены в табл.I.

Таблица 1

Тарировка машин постоянного тока

Параметры режима нагружения			Сглаживающие уравнения $\Delta P_{ГД}$
Средняя нагрузка, кВт	Частота, Гц	$K_Н$	
0-42,60	0	0	$5{,}40 + 0{,}0012\,P_Г^2$
3,86-34,40	9,8	0,8	$5{,}448 + 0{,}0018\,P_Г^2$
4,23-40,94	9,8	1,6	$5{,}552 + 0{,}0022\,P_Г^2$
4,14-32,75	9,8	2,3	$5{,}535 + 0{,}0032\,P_Г^2$
3,22-40,75	6,6	0,9	$5{,}320 + 0{,}0017\,P_Г^2$
4,14-35,88	6,6	2,3	$5{,}380 + 0{,}0031\,P_Г^2$

Аналогично проводились испытания по схеме рис.I,б. При этом нагрузки характеризовались следующими параметрами: частота f = 0; 6,6; 9,8 Гц; коэффициент неравномерности $K_Н$ = 0; 0,8; I; 2,I; 2,6 (табл.2).

После обработки результатов эксперимента получена зависимость потерь мощности в стенде при различных значениях коэффициента неравномерности (рис.2). Установлено, что при изменении нагрузки потери изменяются плавно, но с ростом неравномерности быстро увеличиваются.

Таблица 2

Тарировка стенда

Параметры режима нагружения			Сглаживающие уравнения потерь ΔP_{2M}
Средняя нагрузка, кВт	Частота, Гц	K_H	
0-42,60	0	0	$0{,}540 + 0{,}075\, P_Г$
27-55,50	9,8	0,8	$0{,}543 + 0{,}089\, P_Г$
3,31-26,68	9,8	2,1	$0{,}540 + 0{,}110\, P_Г$
10,34-25,30	9,8	2,6	$0{,}560 + 0{,}120\, P_Г$
18,40-44,16	6,8	1	$0{,}530 + 0{,}091\, P_Г$

Экспериментальные значения могут быть представлены линейными уравнениями вида

$$\Delta P_{2M} = P_X' + \gamma P_Г , \qquad (4)$$

где γ - коэффициент роста потерь в зубчатых передачах.

Анализ сглаживающих уравнений (табл.2) показывает, что приращение потерь в зубчатых передачах, которое проявляется через увеличение коэффициента γ, вызвано только изменением неравномерности нагрузки.

Изменение коэффициента роста потерь γ в зависимости от K_H может быть выражено уравнением

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_1 K_H ,$$

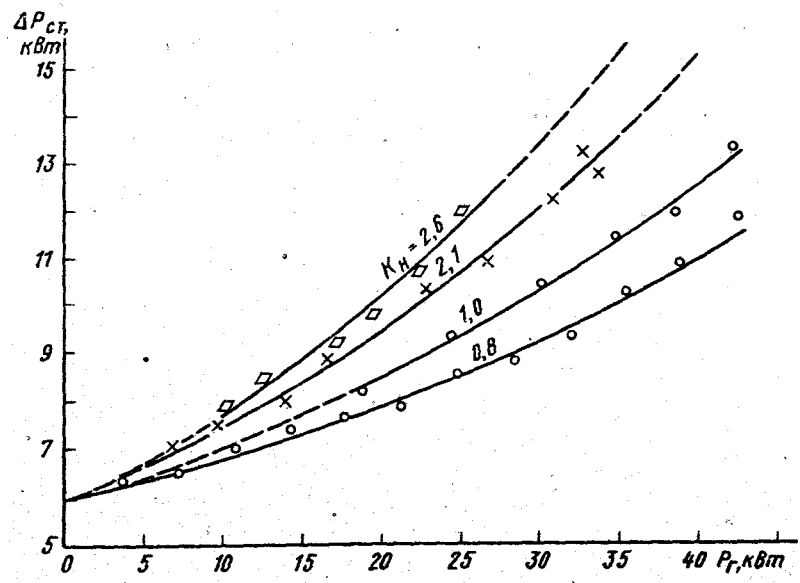


Рис.2. Зависимость потерь мощности в приводах стенда $\Delta P_{СТ}$, испытываемых по схеме рис.1,б, от среднего уровня нагрузки

где γ_1 - коэффициент роста потерь при статическом режиме нагружения (при $K_н = 0$); γ_1 - коэффициент роста потерь в зависимости от неравномерности динамических нагрузок.

В исследуемом случае $\gamma = 0{,}075 + 0{,}017\,K_н$.

Влияние частоты нагрузки на потери в нашем случае несущественно, практически его можно не учитывать, поэтому формула (4) принимает вид

$$\Delta P_{2м} = P'_X + (\gamma_0 + \gamma_1 K_н) P_г .$$

Рост потерь в зубчатых передачах с увеличением нагрузки и ее неравномерности может быть объяснен наличием зазоров в зацеплении, вызванных неточностями изготовления, монтажа и износом профилей зуба, что приводит к появлению дополнительных внутренних степеней свободы отдельных элементов привода. При замыкании зазоров в кинематических парах возникают неупругие ударные взаимодействия, что вызывает дополнительные потери энергии, пропорциональные средним значениям, неравномерности нагрузки и угловому зазору. Кроме того, при переменных нагрузках возникают относительные движения зубчатых колес в их зацеплении, изменяется давление смазки в масляном слое между сопряженными профилями, а также в опорах качения. Все это вызывает дополнительные потери энергии в зубчатых передачах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов. М., Наука, 1965.

2. Курчер А.М. К расчету КПД быстроходных машин.- Тр. ЛТИ, 1959, вып. 7.

3. Колчин Н.И. Механика машин. М., Машгиз, 1962-1963, т. 1, 2.

4. Левит Г.А. Расчет потерь на трение в приводах станков. - Станки и инструмент, 1959, № 9.

5. Соловьев А.И. КПД механизмов и машин. М., Машиностроение, 1966.