

УДК 621.891

О.Н. Трошин<sup>1</sup>, В.Н. Стадниченко<sup>2</sup>, Н.Ю. Лемешев<sup>1</sup>, Н.А. Зинченко<sup>1</sup>, В.В. Притуляк<sup>1</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков<sup>2</sup>Национальный авиационный университет, Киев

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ТРИБОСИСТЕМ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

*В данной статье рассмотрены результаты экспериментальной оценки влияния масштабного фактора, который оценивается коэффициентом форм, на энергоемкость сигналов акустической эмиссии по параметрам усредненной спектральной мощности и дисперсии.*

**Ключевые слова:** трибосистема, акустическая эмиссия, коэффициент формы, дисперсия, коэффициент корреляции.

### Введение

**Постановка проблемы.** Анализ трибосистем (ТС) различных схем, которые широко применяются в аксиально-поршневых гидромашинах насосов, делятся на низшие, и высшие кинематические пары. Такая классификация широко применяется в теории машин, механизмов и деталей машин. Однако эти понятия важны и для ТС, поскольку с ними связано удельное давление в местах сопряжения материалов и частота контакта материалов между собой при вращении, которая выражается специальным коэффициентом, названным коэффициентом взаимного перекрытия.

**Анализ последних достижений и публикаций.** С точки зрения снижения материалоемкости целесообразно изготавливать сопряжение, по размерам, близкие к границе обеспечения прочности, то есть с минимальными геометрическими размерами. В большинстве случаев на этапе проектирования при выборе геометрических размеров ТС выходят лишь из условий обеспечения прочности сопряжения на основе эмпирических данных работы прототипа или данных лабораторных, стендовых испытаний.

Влияние масштабного фактора на фрикционную теплостойкость при линейном повышении давлений отмечается также расхождение в поведении больших и малых образцов [1] и делается вывод, что режимы нагрузки, которые рекомендуются для крупногабаритных сопряжений с большей площадью трения, неприемлемы для малогабаритных. При этом более благоприятными характеристиками владеют сопряжения с большими габаритами.

В качестве критерия оценки масштабного фактора в работах [2, 3] В.А. Войтовым предложен коэффициент формы, который учитывает влияние коэффициента взаимного перекрытия ТС и объем трибоэлементов. Теоретический анализ влияния внешних факторов на энергоемкость сигналов акустической эмиссии (АЭ) позволил получить зависимость энергоемкости, в которой одним из основных вели-

чин является коэффициент формы. Поэтому экспериментальная проверка данной зависимости является важным этапом применения метода АЭ в трибодиагностике.

**Целью данной работы** является установления характеров взаимосвязи энергоемкости АЭ и коэффициента формы реальных трибосопряжений аксиально-поршневой машины.

### Изложение основного материала

Как уже сказано выше, основная прикладная задача при исследовании процессов трения и изнашивания в ТС объемных гидромашин, это разработка методик и средств для их неразрушающего контроля.

В свете этого для получения объективной информации о процессах, которые протекают в ТС объемных гидромашин, огромное значение имеет определение влияния конструкционных и рабочих характеристик узлов, что диагностируются, по параметрам АЭ.

Естественно допустить, что изменение коэффициента формы диагностируемой ТС, в свою очередь, должна сопровождаться изменением избранных диагностических параметров АЭ, при прочих равных условиях. В случае применения метода масштабного фактора на основные технические характеристики ТС.

В то же время в работе Березняков [3] при проведении теоретического анализа влияния внешних факторов на энергоемкость АЭ этот критерий также оказывает существенное влияние.

Поэтому для разработки методики контроля и диагностики работоспособности ТС гидромашин, отличной между собой коэффициентом формы в достаточно широком диапазоне, необходимо знать характер взаимосвязи параметров АЭ с коэффициентом формы.

Для выяснения зависимости избранных параметров АЭ от коэффициента формы при работе ТС объемных гидромашин в условиях предельной смазки, проводилась серия экспериментов при разных

нагрузках, действующих на ТС, которые моделируют их работу, с разными коэффициентами формы и кинематическими схемами контакта. Как рабочая среда использовалась гидрожидкость АМГ-10, смазка осуществлялась капельным способом с расходом одна капля в секунду в течение всей серии экспериментов.

Для исследования влияния коэффициента формы на дисперсию изменения амплитуд сигналов АЭ и спектральную мощность АЭ использовался метод номограмм, что в свою очередь нашло широкое применение в технической термодинамике [4], а также статистические методы оценки результатов экспериментов [5]. После серии экспериментов, которые включали в себя испытания на износ при изменении нагрузки, скорость скольжения была постоянной и равной 0,5 м/с, для прямых и обратных ТС по схемам: диск-диск,  $K_{\phi}=0,4$  1/м; диск-колодка,  $K_{\phi}=5,2$  1/м; кольцо-кольцо,  $K_{\phi}=8,18$  1/м; кольцо-кольцо,  $K_{\phi}=16,3$  1/м были построены номограммы изменения выбранных диагностируемых параметров, и интенсивности изнашивания по нагрузке для исследуемых ТС. Затем при одинаковой интенсивности изнашивания (для прямых ТС  $I_n=206 \cdot 10^{-10}$  м/м; для обратных ТС  $I_n=350 \cdot 10^{-10}$  м/м) по номограммам были определены значения параметров АЭ при разных коэффициентах формы ( $K_{\phi}$ ), по которым построена зависимость изменения этих параметров: дисперсии изменения амплитуды АЭ и спектральной мощности АЭ от  $K_{\phi}$ , при одной и той же интенсивности изнашивания, для прямых так и для обратных ТС.

Исследование взаимосвязи между избранными диагностическими параметрами АЭ (дисперсия изменения амплитуды АЭ, спектральная мощность АЭ) и интенсивностью изнашивания для ТС ВБ23НЦ – Ст40Х, с выше перечисленными схемами контакта в гидрожидкости АМГ-10 показало, что в исследуемом диапазоне нагрузок наблюдается стойкая корреляционная зависимость между указанными характеристиками с коэффициентом корреляции от 0,704 до 0,875 (табл. 1).

Более низкий коэффициент корреляции, полученный при испытаниях на износ по кинематической схеме контакта «диск-колодка», можно объяснить погрешностью измерений износа на больших криволинейных площадях контакта и большой неравномерностью контакта при данной схеме испытаний.

Следует отметить, что даже такой сравнительно низкий коэффициент корреляции, полученный при испытаниях по кинематической схеме «диск-колодка», по сравнению с испытаниями на износ, выполненными на остальных кинематических схемах контакта, все же является достаточно высоким для триботехнических исследований.

Таблица 1  
Статистические отклонения

№	Кинематические схемы	Параметры АЭ			
		Коэффициент корреляции		Среднеквадратическое отклонение	
		$\sigma$	W	$\sigma$	W
1	Диск-Диск; $K_{\phi}=0,64$ м <sup>-1</sup> ; прямая	0,816	0,795	197,6	201,65
2	Диск-Диск; $K_{\phi}=0,64$ м <sup>-1</sup> ; обратная	0,872	0,883	94,37	65,628
3	Диск-Колодка; $K_{\phi}=5,2$ м <sup>-1</sup> ; прямая	0,723	0,753	340,6	260,54
4	Диск-Колодка; $K_{\phi}=5,2$ м <sup>-1</sup> ; обратная	0,704	0,748	389,7	212,93
5	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=8,18$ м <sup>-1</sup> ; прямая	0,854	0,851	153,9	97,21
6	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=8,18$ м <sup>-1</sup> ; обратная	0,861	0,875	92,49	47,456
7	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=16,3$ м <sup>-1</sup> ; прямая	0,887	0,873	75,02	63,66
8	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=16,3$ м <sup>-1</sup> ; обратная	0,866	0,870	91,65	81,734

Зависимость интенсивности изнашивания ( $J_n$ ) между диагностируемыми параметрами, может быть аппроксимирован выражениями вида:

$$J_n \cdot 10^{-10} = a_1 \sigma_{AЭ} + b_1; J_n \cdot 10^{-10} = a_n W + b_n,$$

где  $\sigma_{AЭ}$  и W – значение изменения дисперсии амплитуд сигналов АЭ и спектральная мощность, соответственно, для всех исследуемых схем контакта (табл. 2).

Таблица 2  
Результата корреляционного анализа

№	Кинематические схемы	Для дисперсии изменения амплитуд	Для спектральной мощности
1	Диск-диск; $K_{\phi}=0,64$ м <sup>-1</sup> ; прямая	32,329 $\sigma$ + +24,8	3,181W+ +25,1581
2	Диск-диск; $K_{\phi}=0,64$ м <sup>-1</sup> ; обратная	32,426 $\sigma$ + +25,8	3,188W+ +25,1269
3	Диск-колодка; $K_{\phi}=5,2$ м <sup>-1</sup> ; прямая	4,188 $\sigma$ + +24,492	0,407W+ +24,972
4	Диск-колодка; $K_{\phi}=5,2$ м <sup>-1</sup> ; обратная	4,0918 $\sigma$ + +25,82	0,403W+ +26,120
5	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=8,18$ м <sup>-1</sup> ; прямая	2,498 $\sigma$ + +24,586	0,294W+ +24,651
6	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=8,18$ м <sup>-1</sup> ; обратная	2,519 $\sigma$ + +23,953	0,292W+ +25,0635
7	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=16,3$ м <sup>-1</sup> ; прямая	1,306 $\sigma$ + +25,343	0,251W+ +23,6978
8	Кольцо-кольцо; $K_{\phi}=16,3$ м <sup>-1</sup> ; обратная	1,293 $\sigma$ + +24,577	0,250W+ +24,074

Проведенный статистический анализ коэффициентов b полученной регрессионной зависимости, позволяет сделать вывод, что данный коэффициент изменялся незначительно во всей серии экспериментов.

В результате проведенного статистического анализа, регрессионную зависимость выбранных диагностирующих параметров от  $K_{\phi}$  можно представить в виде:  $J_n \cdot 10^{-10} = a_1 \sigma_{AЭ} + b_1$ ;  $J_n \cdot 10^{-10} = a_n W + b_n$ , для разных схем испытаний (рис. 1, табл. 3).

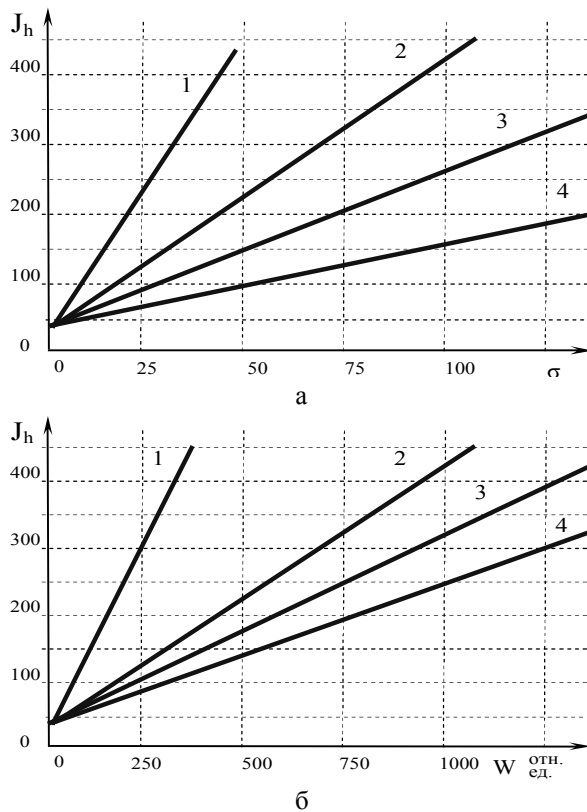


Рис. 1. Зависимость  $J_h$  от АЭ параметров при разных  $K_f$ :  
 а – от дисперсии изменения амплитуд АЭ;  
 б – от спектральной мощности АЭ; 1 – для ТС диск-диск,  $K_f=0,64 \text{ м}^{-1}$ ; 2 – для ТС диск-колодка,  $K_f=5,2 \text{ м}^{-1}$ ; 3 – для ТС кольцо-кольцо,  $K_f=8,18 \text{ м}^{-1}$ ; 4 – для ТС кольцо-кольцо,  $K_f=16,3 \text{ м}^{-1}$

Таблица 3

Итоговая регрессионная зависимость

№	Кинематическая схема	Для дисперсии изменения амплитуд АЭ	Для спектральной мощности
1	Диск-диск $K_f=0,64 \text{ м}^{-1}$ , $K_{B3}=0,01$	$32,4105\sigma+$ $+24,846$	$3,1845W+$ $+24,846$
2	Диск-колодка $K_f=5,2 \text{ м}^{-1}$ , $K_{B3}=0,123$	$4,1399\sigma+$ $+24,846$	$0,405W+$ $+24,846$
3	Кольцо-кольцо $K_f=8,18 \text{ м}^{-1}$ , $K_{B3}=0,6$	$2,5075\sigma+$ $+24,846$	$0,2933W+$ $+24,846$
4	Кольцо-кольцо $K_f=16,3 \text{ м}^{-1}$ , $K_{B3}=0,8$	$1,2995\sigma+$ $+24,846$	$0,25065W+$ $+24,846$

## Выводы

Таким образом, проведенные исследования на износ при изменении нагрузки подтвердили линейную зависимость выбранных диагностирующих параметров АЭ с интенсивностью изнашивания, полученную автором [3].

Установлено, что величина коэффициента  $b$  всегда позитивная при правильной установке уровня амплитудной дискриминации и определяется только порогом чувствительности данного метода диагностики (характеристиками приемно-измерительного тракта), то есть определяется величиной износа, что находится за границей чувствительности данного метода.

## Список литературы

1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ машинах / Б.И. Костецкий. – К.: 1970. – 396 с.
2. Войтов В.А. Конструктивная износостойкость узлов трения гидромашин. Ч. 2: Методология моделирования граничной смазки в гидромашиннах / В.А. Войтов. – Х.: Центр Леся Курбаса, 1997. – 152 с.
3. Войтов В.А. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин / В.А. Войтов, О.М. Яхно, Ф.Х. Аби Сааб. – К.: 1999. – 192 с.
4. Березняков А.И. О взаимосвязи характеристик акустического излучения поверхности трибосопряжения с трибологическими параметрами / А.И. Березняков, В.Н. Стадниченко // Трение и износ. – 1998. – Т. 19, № 3. – С. 312-317.
5. Кудринский В.З. Теория авиационных двигателей. Ч.1 / В.З. Кудринский. – Х., 1987. – 247 с.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.

Поступила в редколлегию 4.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. Е.А. Украинец, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ТРИБОСИСТЕМ НА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

О.М. Трошин, В.М. Стадниченко, М.Ю. Лемешев, М.А. Зинченко, В.В. Причуляк

В даній статті розглянуті результати експериментальної оцінки впливу масштабного фактора, який оцінюється коефіцієнтом форми, на енергоємність сигналів акустичної емісії по параметрам усередненої спектральної потужності і дисперсії.

**Ключові слова:** трибосистема, акустична емісія, коефіцієнт форми, дисперсія, коефіцієнт кореляції.

## ESTIMATION OF INFLUENCING OF THE SCALE FACTOR TRIBOSYSTEM ON CAPACITY OF ENERGY OF PARAMETERS OF ACOUSTIC EMISSION

O.M. Troshin, V.M. Stadnichenko, M.Yu. Lemeshev, M.A. Zinchenko, V.V. Pritulyak

In the given article is considered results of experimental estimation of influencing of scale factor which is estimated by the coefficient of form on capacity of energy of signals of acoustic emission on the parameters of middle spectral power and dispersion.

**Keywords:** tribosystem, acoustic emission, coefficient of form, dispersion, coefficient of correlation.