

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИЗНОШЕННОСТИ ИГЛ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

В.Е. Лазарев, к.т.н., В.Н. Бондарь, к.т.н., Малоземов А.А.
Южно-Уральский государственный университет

В статье рассмотрены последовательность реализации комплексного метода оценки ресурса прецизионных сопряжений распылителя и методические особенности экспериментальной проверки достоверности предложенного метода. Установлена величина относительной погрешности расчетного определения изношенной массы контактного слоя иглы различных распылителей, отработавших близкие значения времени в условиях эксплуатации на тракторных и автомобильных дизелях.

Высокий уровень температур прецизионных направляющего и запирающего сопряжений игла–корпус распылителя, а также области распыливающих отверстий приводит к температурным деформациям, изменению зазора, интен-

сивному нагарообразованию, снижению пропускной способности и герметичности гидравлического тракта. Высокие давления впрыскивания топлива и, как следствие, гидродинамические и механические (монтажные) нагрузки, вызывая повышенные деформации элементов направляющего сопряжения, способствуют появлению несоосности, гидродинамического защемления иглы, граничного трения, снижению подвижности иглы, снижению ресурса распылителя или потере работоспособности.

Рассмотрение факторов, определяющих ресурс прецизионных сопряжений распылителя, свидетельствует о многообразии видов нагружений и необходимости привлечения теоретических методов описания процессов различной физической природы для оценки ресурса. Множество существующих теорий трения и изнашивания позволяет



Рис. 1. Комплексный метод оценки ресурса сопряжений



Рис. 2. Электронные весы для измерения объектов массой до 52 г с точностью 10^{-9} кг

Измерения выполнены в лаборатории Института механики Берлинского технического университета (Berlin Technical University, Berlin, Germany)

выделить молекулярно-механическую, энергетическую, статистическую и комбинированную теории как составляющие комплексного метода оценки ресурса сопряжения [1], например, на стадии проектирования (рис. 1).

Анализ газодинамических, гидродинамических и контактных нагрузок прецизионных сопряжений совместно с оценкой распределения температур, монтажных и термических деформаций распылителя на различных режимах работы дизеля необходим для оценки условий работы и режимов нагружения. Результатом начальных шагов реализации метода является определение и корректировка радиальной силы N в сопряжении, номинального давления P_a контакта и скорости скольжения V иглы.

Построение опорной кривой контактных поверхностей, а также макромеханическое моделирование контакта шероховатых поверхностей необходимы для выявления соотношения A_a/A_r номинальной A_a и фактической A_r площадей контактирования и оценки основных триботехнических параметров контактного сопряжения:

эквивалентного радиуса R микронеровности, комплекса шероховатости D , контурного P_c и фактического P_r давлений контакта, относительного сближения ϵ , коэффициента трения f и т. п.

Тепловая и микромеханическая модели контактирования шероховатых поверхностей позволяют оценить глубины h_r и h_d [2] и объемы V_r и V_d соответственно термически и механически нагруженного материала элементов контактного прецизионного сопряжения игла–корпус распылителя.

Определение взаимосвязей критического числа циклов нагружения $n_{кр}$, коэффициента аккумуляции энергии ρ_r и объема изношенного материала ΔV , а также плотности энергии трения ω_{DR} , критического значения плотности энергии ω_{DR}^* и интенсивности изнашивания I_h с режимами работы дизеля позволяет учесть их влияние на ресурс прецизионных сопряжений распылителя.

Заключительным шагом реализации комплексного метода оценки ресурса распылителя является выявление времени изнашивания t в часах и t_m в моточасах работы сопряжения, массовой v_m и линейной v_l скоростей изнашивания контактного слоя прецизионных сопряжений при различных режимах нагружения дизеля.

Рассмотренный комплексный метод может быть использован при определении эффективности существующих и новых технических решений по совершенствованию конструкции и условий работы прецизионных сопряжений распылителя на основе расчетной оценки ресурса, в том числе на стадии проектирования.

С использованием основных положений комплексного метода оценки ресурса прецизионных сопряжений [1] выполнен расчетный анализ изношенности игл распылителей топлива в дизелях. Для проверки адекватности получаемых результатов по расчетной оценке ресурса прецизионных сопряжений выполнен экспериментальный анализ изношенности игл распылителей. Изношенность игл распылителей оценивалась по суммарной потере массы направляющей и уплотняющей части иглы, определяемой путем взве-

Таблица 1

Некоторые технические характеристики анализируемых распылителей

Марка распылителя	Тип корпуса распылителя	Ход иглы, мм	Диаметр × длина направляющей, мм	Время работы, мч	Предприятие-изготовитель
DLLA 1522P	Удлиненный	0,25	4 × 12	~ 1350	BOSCH
5 × 0,40 × 120	Укороченный	0,45	6 × 18	~ 1300	ЧТЗ
5 × 0,40	Удлиненный	0,35	6 × 18	~ 1250	ЦНИТА
4 × 0,32	Удлиненный	0,31	6 × 18	~ 1250	АЗПИ
33-12 06-05	Удлиненный	0,27	6 × 18	~ 1350	ЯЗТА
5 × 0,35	Удлиненный	0,30	6 × 18	~ 1300	ЯЗТА
0,35 03-82	Удлиненный	0,34	6 × 18	~ 1300	ЧТА

Результаты измерений массы игл распылителей топливных форсунок

Марка распылителя		DLA 1522P BOSCH	5 × 0,4 ЧТЗ	5 × 0,4 ЦНИТА	4 × 0,32 АЗПИ	33-12 06- 05 ЯЗТА	5 × 0,35 ЯЗТА	0,35 03-82 ЧТА
Масса иглы до начала эксплуатации, мг								
Номер измерения массы иглы	1	3126,865	6531,935	8998,412	8192,100	8968,316	8971,487	8983,025
	2	3126,885	6531,902	8998,430	8192,108	8968,314	8971,483	8983,033
	3	3126,875	6531,923	8998,411	8192,132	8968,306	8971,497	8983,075
	4	3126,874	6531,957	8998,428	8192,127	8968,308	8971,491	8983,063
	5	3126,887	6531,911	8998,418	8192,116	8968,305	8971,488	8983,085
Среднее значение		3126,877	6531,926	8998,420	8192,117	8968,310	8971,489	8983,056
Масса иглы после эксплуатации, мг								
Номер измерения массы иглы	1	3125,276	6529,892	8996,051	8189,230	8963,720	8967,304	8979,003
	2	3125,281	6529,864	8996,035	8189,216	8963,711	8967,281	8979,040
	3	3125,289	6529,872	8996,017	8189,224	8963,710	8967,298	8979,083
	4	3125,271	6529,851	8996,010	8189,222	8963,712	8967,287	8979,078
	5	3125,269	6529,887	8996,016	8189,221	8963,697	8967,293	8979,079
Среднее значение		3125,277	6529,873	8996,026	8189,223	8963,710	8967,293	8979,057
Потеря массы иглы (факт.), мг		1,60	2,05	2,39	2,89	4,60	4,20	4,00
Потеря массы иглы (расч.), мг		1,72	2,22	2,54	2,72	5,08	4,61	4,27
% погрешности		6,98	7,55	5,75	6,40	9,45	8,97	6,33

шивания игл на электронных весах повышенной точности (рис. 2).

С этой целью выбраны распылители топливных форсунок некоторых тракторных и автомобильных дизелей, отработавшие близкие значения времени в различных (типичных) условиях эксплуатации (табл. 1). Время работы отобранных для анализа распылителей определялось для тракторных дизелей по данным счетчика моточасов, а для автомобильных дизелей — по величине пройденных километров пути грузового автомобиля с последующим перерасчетом в моточасы исходя из средней скорости его движения. Получаемые значения времени работы при выборе распылителей впоследствии округлялись. Результаты экспериментальной оценки потери массы иглы вследствие износа представлены в табл. 2.

Для каждого из выбранных распылителей определена масса иглы до начала эксплуатации. Для оценки потери массы в результате износа масса иглы до начала эксплуатации сравнивалась с массой иглы, отработавшей указанное время. Экспериментально установленная потеря массы иглы вследствие износа сопоставлялась с аналогичной массой, определенной расчетом с использованием разработанного комплексного метода

оценки ресурса. Режимы нагружения исследуемых распылителей для расчетного определения изношенной массы определялись по имеющимся сведениям в технических характеристиках топливной аппаратуры, конкретных дизелей и литературных источниках.

Анализ полученных результатов свидетельствует о приемлемой степени сходимости расчетных и экспериментальных данных, которая оценивалась относительной погрешностью определения потери массы иглы. Определенная относительная погрешность составляет от 5,75 до 9,45 % для исследуемых распылителей различных предприятий-изготовителей.

Литература

1. Лазарев В.Е., Малоземов А.А., Бондарь В.Н. Метод оценки интенсивности изнашивания и ресурса прецизионного сопряжения распылителя топлива в дизеле // Двигателестроение. — 2007. — № 3. — С. 26–29.
2. Лазарев В.Е. Определение толщины нагруженного поверхностного слоя при подвижном трибоконтакте твердых тел // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей: сб. науч. тр. международной науч.-техн. конф. — СПб., Пушкин: СПбГАУ, 2006. — С. 420–425.