

В. А. Панфилов

ВЫБОР СЦИНТИЛЛЯТОРА И ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ФЭУ-29 ДЛЯ АМПЛИТУДНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Использование метода меченых атомов для исследования износа деталей машин в последние годы находит все более широкое применение в промышленности. Способы измерения износа методом отпечатков, вырезанных лунок, взвешивания или микрометрического обмера деталей требуют продолжительных испытаний, для измерения износа необходима остановка разборка и последующая сборка машин. Если учесть, что износ зависит от материала, конструкции и размеров трущихся деталей, от условий изнашивания—удельного давления, скорости скольжения, температуры, смазки и других факторов, — то станет понятным стремление использовать такой метод измерения, когда за сравнительно малый промежуток времени возможно исследование влияния на износ одного или нескольких факторов.

На промышленных предприятиях, в лабораторных условиях при изучении износа деталей машин большое применение находит относительный метод измерения радиоактивности продуктов износа.

При регистрации относительной величины радиоактивности необходимо иметь в виду, что γ - и β -излучения по-разному поглощаются, рассеиваются поглощающей средой. Поэтому необходимыми условиями правильного измерения являются:

1. одинаковые геометрические размеры препаратов — фильтр с радиоактивными продуктами износа и эталон (площадь, толщина и др.);
2. тождественность геометрических условий измерения;
3. защитные устройства и местоположение датчика измерителя не должны изменяться в процессе испытания;
4. выполнение всех измерений на одном и том же счетчике;

5. проведение измерений с одной и той же статистической точностью;

6. приготовление стандартного излучателя-эталопа обязательно из одного и того же радиоактивного препарата, это особенно важно для радиоактивных материалов с примесями;

7. при работе с короткоживущими радиоактивными материалами, а равно и при длительном использовании в исследовании одного и того же препарата, сравнение измерений скорости счета необходимо с данными эталона, измеренными в тот же час или день.

Одинаковые условия измерения эталона и продуктов износа позволяют установить следующие соотношения:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{G_1}{G_2},$$

где I_1 — истинная скорость счета импульсов накопленных продуктов износа с активностью A_1 ;

I_2 — истинная скорость счета импульсов радиоактивного препарата эталона с активностью A_2 ;

G_1 — вес продуктов износа;

G_2 — вес радиоактивного препарата эталона.

Истинная скорость счета определяется по показанию регистрирующего прибора с учетом поправок на разрешающее время установки, фон и другие факторы.

От веса продуктов износа G_1 можно перейти к линейной величине износа деталей. Для каждого конкретного случая работы деталей машин линейная величина износа $\bar{\Delta}$ определяется как средняя при равномерном износе по поверхности

$$\bar{\Delta} = \frac{G_1}{S\gamma} \cdot 10^{-3}, \text{ } \mu k.$$

Здесь $\bar{\Delta}$ — линейный износ исследуемого места, μk ;

S — площадь поверхности трения, cm^2 ;

γ — удельный вес материала детали, g/cm^3 .

Большая чувствительность и сравнительно высокая точность метода радиоактивных индикаторов [1] позволяют на работающих изделиях определять ресурс отдельных узлов или машины в целом. Метод меченых атомов при усовершенствовании счета сцинтилляций позволяет определять износ нескольких деталей машин одновременно.

Исследованию характеристик датчиков радиоактивных излучений для раздельной регистрации износа нескольких деталей в двигателях посвящен ряд работ [2]. В настоящей статье приведены результаты работы, выполненной в отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Промышленное применение радиоактивных изотопов» института.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЦИНТИЛЯЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

Измерение радиоактивности счетчиками Гейгера-Мюллера не позволяет полностью использовать возможности метода радиоактивных индикаторов. В самом деле, импульсы счетных трубок имеют одну амплитуду от любых ионизирующих излучений независимо от энергии последних. Способ счета сцинтилляций, кроме увеличения чувствительности, позволяет по величине сигналов, амплитуды импульсов судить об энергии частиц и квантов радиоактивного излучения.

В основу предлагаемого метода положен принцип амплитудного разделения сигналов от различных изотопов. Действуя на кристалл, γ -кванты теряют часть энергии и вызывают свечение материала сцинтиллятора. Чем большая часть энергии передается атомам кристалла, тем больший световой поток, тем большая величина амплитуды импульса на выходе фотоумножителя. Датчиком для регистрации ядерных излучений при амплитудной селекции сигналов может быть только спектрометрический сцинтиллятор с фотоэлектронным умножителем. В работе применены монокристаллы $\text{NaJ(Tl)} 40 \times 50 \text{ мм}$, $\text{NaJ(Tl)} 14 \times 30 \text{ мм}$ и «Стильбен» $25 \times 30 \text{ мм}$ с ФЭУ-29, работающим в спектрометрическом режиме.

Решение задачи по отдельному определению износа нескольких поверхностей трения потребовало совершенствования схем включения сцинтиляционного счетчика, выбора оптимальных значений напряжения питания $U_{вк}$, подбора сопротивления нагрузки R_n и сцинтиллятора. Перечисленные факторы оказывают заметное влияние на величину напряжения импульса, регистрируемого счетной аппаратурой. При исследовании характеристик ФЭУ были использованы три радиоактивных изотопа Fe^{59} , Sn^{113} и Cr^{51} . Выбор изотопов обусловлен материалом исследуемых деталей, а также характеристикой радиоактивных излучений.

Железо — Fe^{59} имеет жесткое γ -излучение с энергией

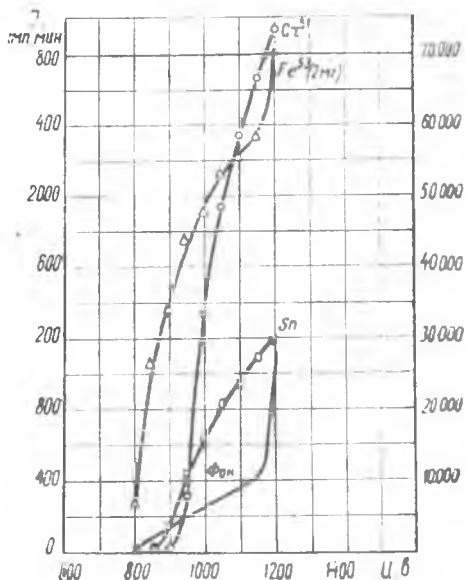


Рис. 1. Счетная характеристика ФЭУ-29 с кристаллом «Стильбен».

1,29 $M_{эн}$ олово — Sn^{113} — 0,396 $M_{эн}$ и хром — Cr^{51} характеризуются сравнительно мягким γ -излучением — 0,32 $M_{эн}$.

Скорость счета и амплитуда импульса при выбранных радиоактивных излучениях зависит как от свойств кристалла и фотоумножителя, так и от регулируемых условий эксперимента — напряжения на ФЭУ (коэффициента усиления) и установленной нагрузки в аноде фотоумножителя.

При измерениях радиоактивности одного источника обычно задаются целью найти такой режим работы датчика, который позволяет измерить скорость счета с заданной точностью при минимальном времени измерения. С этой целью снимается счетная характеристика датчика по напряжению (рис. 1).

Шумовые импульсы при выбранном делителе напряжения ограничивают область рабочей характеристики напряжением 1150 в, нижний предел — 950 в определен по началу счета импульсов от радиоактивного хрома-51, имеющего меньшую энергию γ -квантов.

Для амплитудного разделения сигналов от различных радиоактивных изотопов, кроме счетной характеристики, необходимо получить характеристику изменения амплитуды

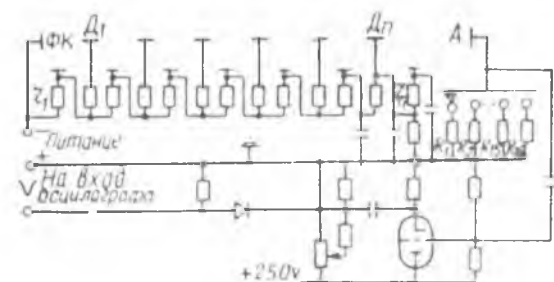


Рис. 2. Схема установки для измерения амплитуды выходного импульса.

импульсов от управляемых параметров, т. е. найти такой режим, где различие в амплитудах импульсов наибольшее.

На рис. 2 представлена схема установки для снятия такой характеристики. Схема собрана из ФЭУ-29 с делителем напряжения для спектрометрического режима работы, катодного повторителя на лампе 6Н15П, блока питания и моста сопротивлений.

Таблица 1

r	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	r_{16}
ком	20	150	15	120	51	51	51	51	51	51	51	51	100	100	100	100
$R_{нн}$	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}
ком	10	22	30	39	51	61	73	82	110	150	200	220	360	380	680	1000

Напряжение выходного импульса измерялось осциллографом ЭО-58М. Номинальное значение сопротивлений делителя напряжений ФЭУ-29 и моста сопротивлений сведены в таблице 1.

Исследования показали, что при любых значениях $U_{\text{вх}}$ и R_n абсолютное значение амплитуды импульса больше на сравнительно плотном и «толстом» кристалле NaJ[Tl], так как большая часть энергии излучения преобразуется в световую энергию. На кристалле «Стильбен» величина амплитуды сравнительно меньше (рис. 3), т. к. плотность «Стильбена» в три раза меньше плотности NaJ[Tl].

Изменения сопротивления нагрузки позволили выбрать оптимальную величину R_n , равную для данных условий эксперимента 100 ком, дальнейшее увеличение нагрузки не влияет на величину амплитуды импульса. Абсолютные значения a для двух значений рабочего напряжения сведены в таблицу 2.

Амплитуда импульса в вольтах при двух напряжениях питания ФЭУ-29 (1150, 1000 в).

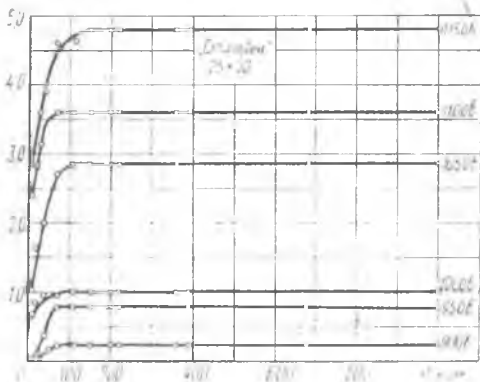


Рис. 3. Изменение амплитуды импульса для кристалла «Стильбен» 25 × 30 мм.

Таблица 2

a	Изотопы		Fe^{59}	Cr^{51}	Sn^{113}
	Кристалл	Размер			
NaI [Tl]	40 × 50		117,0	3,32	4,8
				30,0	1,68
NaI [Tl]	14 × 30		7,23	6,85	6,85
				3,24	4,16
«Стильбен»	25 × 30		4,63	0,875	1,41
				0,96	0,019

Таким образом, кристалл NaJ[Tl] 14 × 30 непригоден, так как при $U_{\text{вх}} = 1150$ в амплитуды от радиоактивного олова-113 и хрома-51 равны. Из трех исследуемых сцинтилляторов лучшим для амплитудной селекции является кристалл «Стильбен» — 25 × 30 мм, разница в амплитудах импульсов (рис. 4) от выбранных трех излучателей в относительных величинах наибольшая на любой точке рабочих напряжений счетной характеристики ФЭУ-29.

По трем характеристикам датчика установлено, что блок датчика должен состоять из ФЭУ-29 со спектротметрическим кристаллом «Стильбен» 25x30, нагруженного сопротивлением в 100 ком, вместо 50 ком, рекомендованных в паспортных данных фотоумножителя, напряжение питания устанавливается в 1150 в по счетной характеристике.

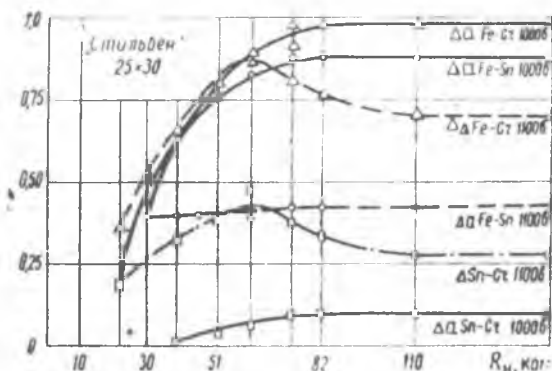


Рис. 4. Разница в амплитудах импульсов от Fe^{59} , Sn^{118} , Cr^{51} в относительных единицах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ДАТЧИКА

Исследование процесса изнашивания трех деталей одновременно

выполнено на двигателе внутреннего сгорания ЗИД-4,5.

Блок-схема электронной части установки для регистрации накопления продуктов износа на фильтре (рис. 5) включала в себя блок датчика с катодным повторителем 1, усилитель импульсов 2, одностабильные ждущие мультивибраторы 3, делитель постоянного тока 4, блок питания 8, показывающий 6 и записывающий 7 приборы. В предлагаемой схеме все блоки стандартные за исключением датчика, работающего на выбранном оптимальном режиме, и амплитудного анализатора, принципиальная схема и работа которого приведены в работе автора [3].

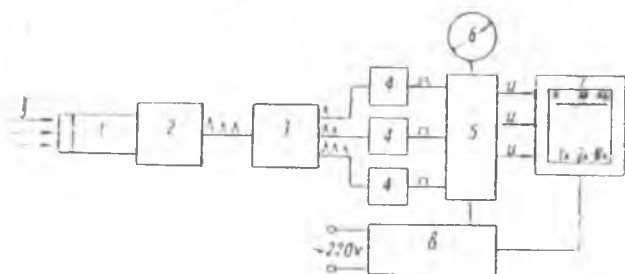


Рис. 5. Блок-схема измерительной аппаратуры при раздельной регистрации Fe^{59} , Sn^{118} , Cr^{51} в смеси.

Испытания на изнашивание деталей двигателя (рис. 6) позволили определить износ трех деталей одновременно на различных режимах работы установки. При повторном измерении радиоактивности исследуемого препарата обычно получаются различные

числа импульсов в единицу времени. Это значит, что каждое отдельное измерение дает значение величины интенсивности излучения с некоторой ошибкой. При измерениях радиоактивности следует учитывать как ошибки, зависящие от фона, так и случайные ошибки измерения, зависящие от несовершенства измерительной аппаратуры, неточности отсчета измеряемой величины и т. п.

Для определения надежности метода проведен ряд повторных испытаний на одних и тех же режимах работы двигателя и выполнена статистическая обработка результатов измерения.

Примеры обработки сведены в таблице 3.

Оценкой наилучшего значения среднего арифметического полученных значений скорости счета является средняя квадратичная ошибка, определяемая равенством

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta I^2}{n(n-1)}}$$

На основании данных таблицы 3 $\sigma = \pm 59$. Истинное значение скорости счета равно 2916 ± 59 *имп/мин*. Относительная ошибка измерения радиоактивности составляет 2%.

Таблица 3

Результаты измерения интенсивности радиоактивных продуктов износа подшипника шатуна по шести испытаниям

№ измерения	Число импульсов, <i>имп/мин</i>	Отклонение от среднего арифмет.	Квадраты отклонений от среднего арифметического
1	2900	-16	256
2	3148	-232	53824
3	2780	-136	18496
4	2750	-166	27556
5	2978	-62	3844
6	2940	-24	576
Сумма . . .	17496	0	104552

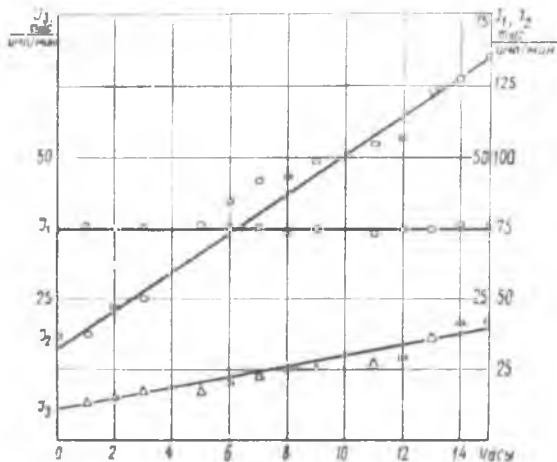


Рис. 6. График износа трех деталей двигателя при пятнадцатичасовом испытании.

Однако измерение износа поверхности деталей возможно с меньшей точностью. Часть продуктов износа остается в двигателе и не попадает на фильтрующий элемент. Фильтр не обеспечивает полного сбора частиц износа, небольшая часть их (около 2%) из-за малости размеров продолжает циркулировать в масле. Таким образом, замеренная скорость счета отличается от истинной. Учет влияния этих факторов позволяет повысить точность в измерении величины износа. В лаборатории установлено, что при стендовых испытаниях двигателя в течение не менее двух часов ошибка не превышает $\pm 10\%$.

ВЫВОДЫ

1. Применение радиоактивных индикаторов для исследования процесса изнашивания и определения ресурса двигателя в целом или его узлов позволяет непрерывно на работающем изделии регистрировать накопление продуктов износа от нескольких поверхностей трения.

2. Предлагаемая методика выбора оптимальных параметров работы датчика для амплитудного разделения сигналов от трех радиоактивных изотопов обеспечивает получение результатов измерений с относительной ошибкой, не превышающей $\pm 10\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Заславский и др. О точности исследования износа двигателей методом радиоактивных индикаторов. «Известия Академии наук СССР», ОТН, № 1, 1954.

2. П. Е. Дьяченко. Методика проведения исследований износа деталей машин при помощи радиоактивных изотопов, Машгиз, 1956.

3. В. А. Панфилов. Одновременное определение износа нескольких деталей в двигателе методом меченых атомов. ГОСИНТИ, выпуск 5, тема 17. № Р-62-214/5, 1962.