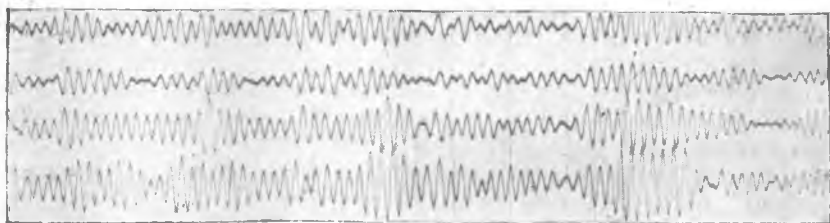


Ю. Г. БОНДАРЕНКО, В. И. КОСТИН

ОПЫТ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТВД

При прочностной доводке изделий было выявлено существенное повышение уровня вибраций с частотой 4-й винтовой гармоники.

Многократными измерениями вибраций на изделиях и агрегатах было установлено, что вибрации с частотой 4-й винтовой гармоники носят случайный характер и отличаются от одного замера к другому (и даже в пределах одного замера) в 2—4 раза при практически одинаковых условиях. Типичная осциллограмма приведена на фиг. 1.



Фиг. 1. Осциллограммы случайного колебательного процесса.

Запись вибраций и обработка виброграмм производились по принятой в лаборатории методике — время замера 1—1,5 сек, расшифровка — ручная, методом «огibaющих», вибрографирование — в режиме записи смещений.

Поскольку интересующие вибрации носили случайный характер, появилась необходимость в установлении качественно новой методики измерения вибраций и их анализа.

В настоящей статье освещены методика измерения случайных вибраций, результаты проведенных экспериментальных работ и опыт эксплуатации аппаратуры.

В связи с тем, что время записи в принятой ранее методике (1—1,5 сек.) не позволяет определить уровень и характер вибраций с частотой 4-й винтовой гармоники на различных изделиях, было принято решение об увеличении времени записи колебаний с тем, чтобы в дальнейшем произвести статистическую обработку по общепринятой методике. Весь амплитудный диапазон разбивается на интервалы и строятся графики одномерной интегральной или дифференциальной функции распределения вероятностей. График одномерной интегральной функции распределения вероятностей, построенный на нормальной вероятностной бумаге, очень удобен в пользовании, т. к. по нему можно в первом приближении судить о близости распределения вероятностей к нормальному закону. Более точно соответствие нормальному закону распределения определяется по критерию Пирсона или Колмогорова.

Увеличение времени записи до 20—30 сек оказалось недостаточным, поскольку при многократных замерах вибрации одного и того же изделия повторения результатов не наблюдалось.

В дальнейшем было определено время записи в 1 мин, что дало удовлетворительное повторение результатов. Однако это привело к чрезмерному расходу фотоматериалов (при скорости протяжки 200—250 мм/сек) и большим трудностям в статистической обработке виброграмм.

Отсюда следует, что метод регистрации колебаний с помощью шлейфового осциллографа для статистической обработки в условиях массовых измерений по разным причинам малоприменим. В то же время в связи с тем, что изучение повышенных вибраций с частотой 4-й винтовой гармоники в процессе доводки изделия требовало большого количества измерений, с достаточной достоверностью была осуществлена частичная автоматизация с помощью частотомера ЧЗ-2.

Известно, что интегральная функция распределения для стационарных процессов определяется формулой

$$F(X) = \text{Вер. } (x > X) = \int_{\infty}^x \varphi(x) dx,$$

где X — уровень анализа, а $\varphi(x)$ — дифференциальная функция распределения. $F(X)$ можно измерять различными способами, которые основаны на сравнении изучаемого напряжения с фиксированным уровнем анализа X .

Вероятность, определяющая $F(X)$ может быть записана в виде

$$\text{Вер. } (x > X) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N},$$

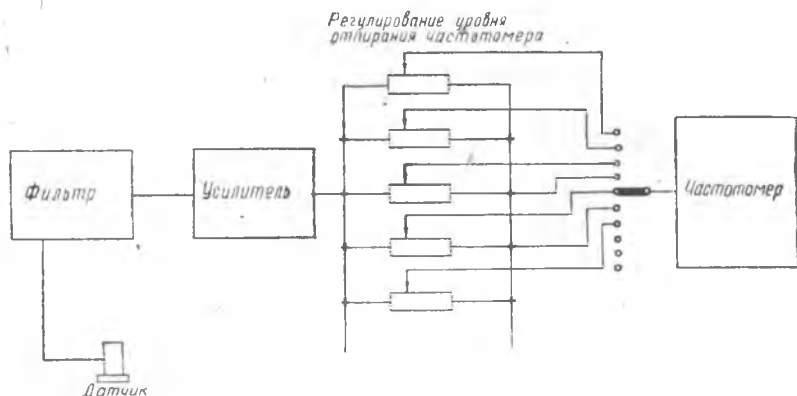
где n — число тех случаев из N , когда выполняется неравенство $x > X$.

Прибор, работающий по этому методу, должен определять отношение количества импульсов опроса n , когда исследуемое напря-

жение превышает уровень анализа X , к общему количеству импульсов опроса за время анализа T .

Для упрощения измерительной схемы вполне оправданно получать не отношение, а отдельный счет n и N с последующим подсчетом $F(X)$ вручную.

Использованный прибор (ЧЗ-2) начинает счет циклов колебаний только тогда, когда напряжение на его входе достигает определенной величины, происходит отпирание прибора (блок-схема прибора приведена на фиг. 2). Эта особенность и была использо-



Фиг. 2. Блок-схема измерения вибраций с помощью частотомера ЧЗ-2.

вана в схеме, которая состояла из датчика МВ-22, усилителя АВ-43, фильтра с соответствующей полосой прозрачности, переходного блока и прибора ЧЗ-2.

Роль переходного блока состоит в том, чтобы делить входное напряжение, изменяя таким образом уровень сигнала с датчика, при котором происходит отпирание частотомера и последний начинает счет циклов колебаний, величина которых превышает заданный уровень.

С помощью этой схемы были сделаны первые эксперименты, основной целью которых являлась отработка методики статистических замеров вибрации.

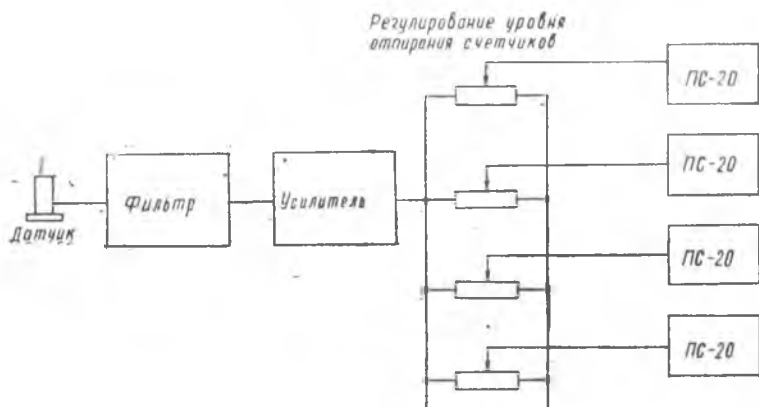
Экспериментально было определено время замера. Были проведены замеры в течение 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360 и 600 сек. Результаты измерения от 60 сек и более получились одинаковыми. Таким образом, минимальное время замера 60 сек.

Количество интервалов изменяется в зависимости от диапазона виброперегрузок и разрешающей способности аппаратуры. Оно составляет 7—10.

Описанная методика позволяет легко получить необходимые данные, но имеет ряд существенных недостатков. Основные из них — невозможность одновременного замера вибраций по всем

уровням, сложность эксплуатации прибора, большая разница между напряжением, при котором начинается счет ($U_{\text{нач. сч.}}$), и напряжением при котором регистрируется 100% циклов, подлежащих счету ($U_{\text{полн. сч.}}$), а также неустойчивость работы частотомера ЧЗ-2.

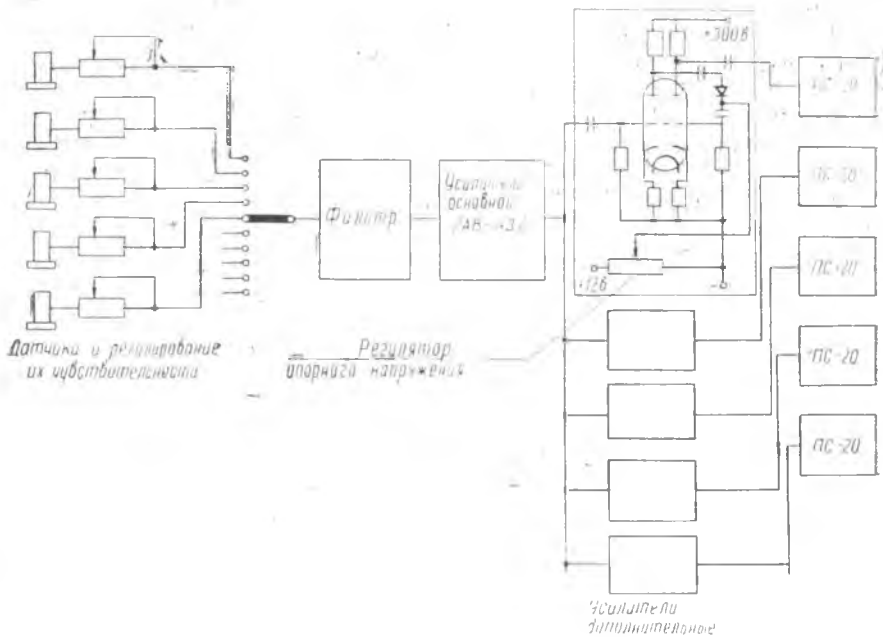
Дальнейшим развитием описанной аппаратуры является комплект РУВС-1, созданный на базе усилителя АВ-43 с фильтром и счетчиком импульсов ПС-20 радиометра Б-3 (см. фиг. 3). Он включает в себя 10 счетчиков импульсов, каждый из которых при калибровке настраивается на определенный уровень отпирания в



Фиг. 3. Блок-схема измерения вибраций с помощью аппаратуры РУВС-1.

соответствии с чувствительностью датчика и ожидаемым диапазоном виброперегрузок. РУВС-1 удобнее в эксплуатации, позволяет одновременно вести счет по всем уровням, им можно путем последовательного опроса проводить измерения в нескольких точках на изделии. Однако в этой схеме остался основной недостаток — большая разница между $U_{\text{полн. сч.}}$ и $U_{\text{нач. сч.}}$. Это создает большие трудности при калибровке аппаратуры и, кроме того, вносит ошибку, связанную с субъективной оценкой момента начала полного счета. Но несмотря на недостатки, этот комплект аппаратуры продолжительное время находился в эксплуатации, которая показала жизнеспособность метода и позволила решить вопрос об измерении и анализе вибраций 4-й гармоники винта на изделии. Были выработаны временные нормы вибраций, которые более полно отражали вибросостояние изделия и позволяли сравнивать изделия при наличии на них случайных вибраций. В соответствии с этими нормами на изделии по передней опоре циклов вибрации с уровнем 2,5g не должно быть больше 0,1%.

Свободным от указанных выше недостатков является разработанный в последнее время комплект аппаратуры РУВС-2, (см. фиг. 4), в котором уровни отпирания счетчиков регулируются по-



Фиг. 4. Блок-схема измерения вибраций с помощью аппаратуры РУВС-2.

дачей на диод, стоящий в цепи датчик — усилитель, опорного напряжения и, кроме того, в схему введен дополнительный усилитель с большим коэффициентом усиления, что позволяет сократить до нескольких мв разность ($U_{\text{полн. сч}} - U_{\text{нач. сч}}$).

Практически при этой схеме счетчики открываются моментально. Для избежания ошибок в отсчете времени при пользовании ручными хронометрами в РУВС-2 поставлен счетчик циклов, имеющих амплитуду напряжения большую 10 мв, т. е. показывающий общее количество циклов, которое в дальнейшем принимаем за 100%. До этого общее количество циклов определялось путем подсчета, исходя из времени замера (по ручному хронометру) и частоты, которая известна заранее. Но, вследствие изменения оборотов, частота может меняться. Хотя это изменение и невелико, оно вносит дополнительные погрешности в измерения.

На основании имеющихся в технической литературе сведений и проведенных экспериментов установлено, что погрешность измерения вибраций обычным методом с записью на фотобумагу и ручной обработкой виброграмм составляет $\pm 20-25\%$. Они, в основном, складываются из погрешностей аппаратуры, тарировки и обработки виброграмм. Рассматриваемый метод включает в себя только погрешности аппаратуры и тарировки и исключает погреш-

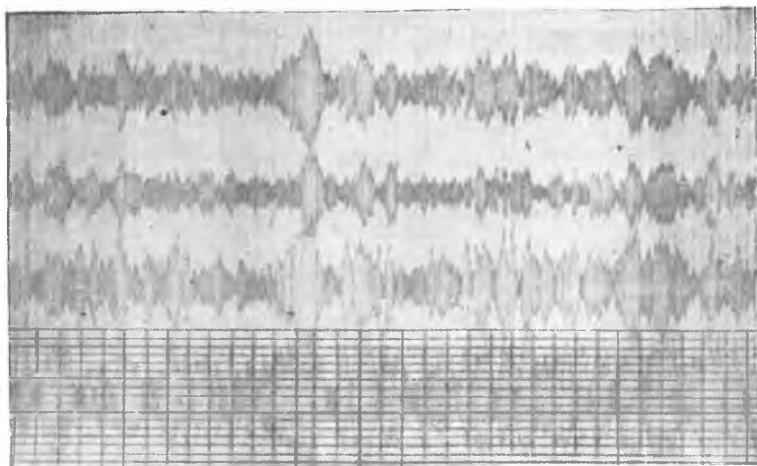
ности, связанные с ручной обработкой материалов, составляющие около 10%. Таким образом, погрешность измерения вибраций статистическим методом оценивается нами как 10—15%.

Выше указывалось на малоприспособность метода записи вибраций шлейфовым осциллографом для статистического анализа. Тем не менее, при постановке экспериментов в условиях эксплуатации комплект РУВС-2 вследствие своей громоздкости и большого веса оказался неудобным. Кроме того, при проведении измерений вибраций на объектах оказалось невозможным решить вопрос о питании счетчиков импульсов.

По этим причинам измерения производились с применением шлейфового осциллографа (К-9-21, К-20-21), но с уменьшением скорости протяжки до 10—25 мм/сек. В этом случае на осциллограммах получаются записи в виде затемненных графиков изменения амплитуды смещения. Обработка их производится вручную. Ординаты берутся через равные промежутки времени. Очевидно, из-за того, что замеряются не пиковые значения (как это делают счетчики), а мгновенные, точность такой обработки несколько ниже. Пример такой осциллограммы с разбивкой на уровни и интервалы дан на фиг. 5.

Ручная обработка может значительно упроститься с применением дешифраторов (по типу ЦАГИ) или читающей машины с последующей обработкой на электронно-вычислительной машине.

Метод статистической регистрации вибраций и их анализа можно распространить на все виды вибраций. Нами были сде-



Фиг. 5. Осциллограммы случайного колебательного процесса. Скорость протяжки фотопленки 25 мм/сек. На нижней осциллограмме произведена разбивка на уровни и интервалы для ручной обработки.

ланы экспериментальные замеры вибраций с частотами 8-й винтовой и 1-й роторной гармоник. Анализ полученных материалов показал, что вибрации с этими частотами также являются случайными стационарными колебательными процессами, хотя распределение уровней в них не всегда отвечает нормальному закону.

Что касается широкого применения этого метода для измерения всех гармоник, то этот вопрос должен решаться для каждого изделия отдельно в зависимости от характера вибраций. В частности для анализа вибраций рассматриваемого изделия с частотами 8-й винтовой и 1-й роторной гармоник достаточно получения дискретных значений параметров вибраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Иорш. Виброметрия. Машгиз, 1963.
 2. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей, Физматгиз, Москва, 1962.
-