

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ЦИ СИ
ОАО «НИИФИ»



М.Е. Горшенин

2015 г.

**Акселерометр низкочастотный линейный
АЛЕ 048 ММ
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ
СДАИ.402139.057МП
н.р. 60340-15**

СОДЕРЖАНИЕ

Вводная часть.....	3
1 Операции поверки.....	3
2 Средства поверки.....	3
3 Требования безопасности.....	4
4 Условия поверки.....	4
5 Подготовка к поверке.....	5
6 Проведение поверки.....	5
7 Оформление результатов поверки.....	13
8 Обработка результатов измерений.....	13

Вводная часть

Настоящая методика по поверке распространяется на акселерометр низкочастотный линейный АЛЕ 048 ММ (акселерометр), предназначенный для измерения низкочастотного линейного ускорения.

1 Операции поверки

1.1 При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта методики по поверке	Проведение операции при	
		первой поверке	периодической поверке
1 Контроль внешнего вида и маркировки	6.1	да	да
2 Контроль смещения нуля акселерометров. Контроль коэффициента преобразования акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до $\pm 11 \text{ м/с}^2$. Контроль нелинейности ГХ акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до $\pm 11 \text{ м/с}^2$	6.2	да	да
3 Контроль коэффициента преобразования, основной приведенной погрешности и нелинейности ГХ акселерометров с диапазонами измерений от ± 22 до $\pm 500 \text{ м/с}^2$	6.3	да	да
4 Контроль значения составляющей основной приведенной погрешности акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до $\pm 11 \text{ м/с}^2$	6.4	да	да
5 Контроль допускаемой основной приведенной погрешности	6.5	да	да
6 Контроль допускаемой дополнительной приведенной погрешности в интервале измерения температуры окружающей среды от минус 65 до 65 °C	6.6	да	да

1.2 При получении отрицательного результата при проведении любой операции поверка прекращается.

2 Средства поверки

2.1 При проведении поверки рекомендуется применять средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки	Основные метрологические характеристики
1 Оптическая делительная головка ОДГЭ-5	Диапазон (0 – 360n) град, погрешность $\pm(5+5\sin\alpha/2)$ сек
2 Вольтметр В7-16А	Диапазон (0,1 – 1000) В, погрешность КТ $\pm(0,05/0,05-0,1/0,1)\%$
3 Источник питания постоянного тока Б5-71/4м	Диапазон (0,2 - 75) В, (0,1 - 4) А ПГ $\pm(0,008U_{\text{уст}}+0,1)$ В, ПГ $\pm(0,02I_{\text{max}}+0,05)$ А
4 Климатическая камера 3524/58	Диапазон температур от минус 70 °C до 100 °C, равномерность температур $\pm 1,2$ °C
6 Градуировочный комплекс ТЕМП-2	Диапазон воспроизводимых линейных ускорений 5-1500 м/с ² . Относительная среднеквадратичная погрешность воспроизведения ускорений в диапазоне 10-100 м/с ² не более 0,2 %, в диапазоне 100-1500 м/с ² не более 0,03 %
7 Приспособление для установки акселерометра на градуировочном комплексе ТЕМП-2 МКНИ.441558.123	
8 Приспособление установочное для температурных испытаний МКНИ.441558.124-01	
9 Приспособление для испытаний на оптической делительной головке МКНИ.441558.124	
10 Пульт П 060 СДАИ.411562.002 ТУ	

2.2 Допускается замена средств поверки, указанных в таблице 2, другими средствами поверки с равным или более высоким классом точности.

3 Требования безопасности

3.1 При проведении поверки необходимо соблюдать общие требования безопасности по ГОСТ 12.3.019-80 и требования на конкретное поверочное оборудование.

4 Условия поверки

4.1 Все операции при проведении поверки, если нет особых указаний, должны проводиться в нормальных климатических условиях:

- температура воздуха от 18 до 22 °C для диапазонов измерений до ± 11 м/с² включительно;
- температура воздуха от 15 до 35 °C для остальных диапазонов измерений;
- относительная влажность воздуха от 45 до 80 %;
- атмосферное давление от $8,4 \cdot 10^4$ до $10,6 \cdot 10^4$ Па (от 630 до 795 мм рт.ст.).

5 Подготовка к поверке

5.1 Перед проведением поверки испытательные установки, стенды, аппаратура и электроизмерительные приборы должны иметь формуляры (паспорта) и соответствовать стандартам или техническим условиям на них.

5.2 Не допускается применять средства поверки, срок обязательных поверок которых истек.

5.3 Предварительный прогрев контрольно-измерительных приборов должен соответствовать требованиям технических описаний и инструкций по эксплуатации на них.

5.4 Контрольно-измерительные приборы должны быть надежно заземлены с целью исключения влияния электрических полей на результаты измерений.

5.5 В процессе поверки датчика менять средства измерений не рекомендуется.

5.6 Порядок проведения испытаний должен соответствовать порядку изложения видов испытаний в таблице 1.

6 Проведение поверки

6.1 Контроль внешнего вида и маркировки датчика проводить визуальным осмотром.

При проверке внешнего вида руководствоваться следующими требованиями.

Внешний вид датчиков должен соответствовать требованиям чертежей.

Не допускается на поверхности акселерометра рваные края, сколы, трещины, вмятины, следы коррозии, раковины, отслоение покрытия и другие дефекты за исключением отдельных царапин и вмятин (точек), которые не ухудшают шероховатость поверхности более, чем на один диапазон числовых значений параметров, указанных в конструкторской документации.

Наружная поверхность трубы кабельной перемычки должна быть ровной, без трещин, пор, пузырей и отслоений.

На корпусе каждого датчика должно быть отчетливо выгравировано:

- АЛЕ 048 ММ – индекс акселерометра;
- ± 11 – наибольшее и наименьшее значение диапазона измерений;
- 32 – наибольшее значение частоты ЧДИ;
- XXXXXX - заводской номер;
- направление осей системы координат, связанной с установочными плоскостями;
- направление измерительной оси – «↑»;
-  – знак защиты от статического электричества.

6.2 Контроль смещения нуля акселерометров. Контроль коэффициента преобразования акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до ± 11 м/с². Контроль нелинейности ГХ акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до ± 11 м/с²

6.2.1 Установить приспособление МКНИ.441558.124-01 в климатическую камеру 3524/58. Подстыковать его к оптической делительной головке ОДГЭ-5 (ОДГ) и выставить его в горизонт в двух направлениях при помощи уровня брускового 200-0,05 ГОСТ 9392 так, чтобы пузырек уровня был на середине ампулы с точностью ± 1 деление.

6.2.2 Закрепить акселерометр за плоскость YOZ на приспособлении так, чтобы при горизонтальном положении приспособления ось X была направлена стрелкой вверх, а ось Y находилась в горизонтальной плоскости и направлена вдоль продольной оси приспособления. Повернуть шпиндель ОДГ на 90^0 , при этом показания на лимбах ОДГ должны быть нулевыми.

Примечание – Начало системы координат 0 определяется как точка пересечения осей X, Y, Z и на корпусе акселерометра не гравируется.

6.2.3 Собрать схему в соответствии с рисунком 1. Установить с помощью вольтметра PV1 напряжение источника G1 ($27,0 \pm 0,1$) В. Подключить вольтметр PV1 к клеммам ВЫХОД и ОБЩ. ТОЧКА пульта П 060.

6.2.4 Установить в камере температуру $(20 \pm 2)^0$ С и выдержать в ней акселерометр в течение 1 ч во включенном состоянии. Измерить выходное напряжение акселерометра U_{01} (i=1).

6.2.5 Повернуть шпиндель ОДГ на угол 180^0 и измерить выходное напряжение U_{02} (i=2).

Повторить измерения по пп. 6.2.4, 6.2.5 (i=3, 4). Занести результаты измерений смещения нуля в таблицу, выполненную по форме таблицы 6.2.1.

Таблица 6.2.1 – Результаты определения смещения нуля акселерометров

Наименование параметра	Порядковый номер измерений, i			
	i = 1	i = 2	i = 3	i = 4
Выходное напряжение, U_{0i} , В				

6.2.6 Для акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до ± 11 м/с² определить U_0 , в В, по формуле

$$U_0 = \frac{U_{01} + U_{02}}{2}$$

6.2.7 Поворачивая шпиндель ОДГ в ту или другую сторону, найти такое положение, чтобы показания вольтметра соответствовали значению U_0 . Зафиксировать угол α_0 .

Поворачивая шпиндель ОДГ на угол минус $(\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3), \alpha_4$, плюс $(\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1, \alpha)$ относительно α_0 , измерить выходные напряжения U_{ij}^M (i=1, j=1, ..., 9), соответствующие 1, ..., 9 точкам прямого хода (значение угла α см. в таблице 6.2.2).

Таблица 6.2.2 – Значение углов наклона измерительной оси X к горизонтали при определении диапазонов изменения выходного напряжения и снятии ГХ акселерометров

Диапазон измерений, м/с ²	Угол наклона оси X при снятии ГХ, α_j	Синус угла $\sin \alpha_j$	Косинус угла $\cos \alpha_j$
$\pm 5,6$	35^0	0,57358	0,81915
	27^0	0,45399	0,89101
	18^0	0,30901	0,95106
	9^0	0,15643	0,98769
	0^0	0	1,00000
± 11	90^0	1,00000	0
	45^0	0,70711	0,70711
	30^0	0,50000	0,86603
	15^0	0,25882	0,96593
	0^0	0	1,00000
$\pm 22; \pm 200; \pm 400; \pm 500$	90^0	1,00000	0
	0^0	0	1,00000

6.2.8 Поворачивая шпиндель ОДГ от угла плюс α до угла минус α , измерить выходные напряжения $U_{i9}^B, \dots, U_{i1}^B$ ($i=1, j=9, \dots, 1$), соответствующие 9, ..., 1 точкам обратного хода ГХ.

Результаты испытаний занести в таблицу, выполненную по форме таблицы 6.2.3.

Обработать результаты измерений по формулам (1), (3) – (8), (10) – (12), (18), (20) таблицы 8.

Таблица 6.2.3 – Результаты определения градуировочной характеристики акселерометров с диапазонами измерений $\pm 5,6 \text{ м/с}^2, \pm 11 \text{ м/с}^2$

Порядковый номер точки градуировки, j	Измеряемое ускорение, X_j	Выходное напряжение U_j^M и U_j^B , В	
		U_j^M	U_j^B
1	$-\sin \alpha$		
2	$-\sin \alpha_1$		
3	$-\sin \alpha_2$		
4	$-\sin \alpha_3$		
5	$\sin \alpha_4$		
6	$\sin \alpha_3$		
7	$\sin \alpha_2$		
8	$\sin \alpha_1$		
9	$\sin \alpha$		

6.2.9 Результаты испытаний считать положительными, если:

- смещение нуля акселерометра соответствует требованиям таблицы 6.2.4;
- значение коэффициента преобразования K_0 соответствует требованиям таблицы 6.2.4 с допуском на указанное значение $\pm 10 \%$;
- погрешность аппроксимации σ_a не более 0,05 %.

Таблица 6.2.4

Смещение нуля, В	3,0±0,3
Номинальное значение коэффициента преобразования, В·с ² /м. Допуск на указанное значение ±10%	
±5,6 м/с ²	0,44642
±11 м/с ²	0,22727
±22 м/с ²	0,11364
±200 м/с ²	0,01250
±400 м/с ²	0,00625
±500 м/с ²	0,00500

6.3 Контроль коэффициента преобразования, основной приведенной погрешности и нелинейности ГХ акселерометров с диапазонами измерений от ±22 до ±500 м/с²

6.3.1 Установить акселерометр на установочную плоскость YOZ на платформе градиуровочной центрифуги ТЕМП-2 с помощью установочного приспособления МКНИ.441558.123 стрелкой X от центра вращения, что соответствует заданию отрицательных ускорений.

6.3.2 Собрать схему в соответствии с рисунком 2. Установить с помощью вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (34,0,1) В.

6.3.3 Включить центрифугу и создать ускорение, равное диапазону измерений акселерометра. Измерить с помощью прибора РА1 ток потребления акселерометра $I_{\text{потреб}}$.

6.3.4 Измерить при напряжении питания (34,0,1) В выходное напряжение акселерометра U_{uij} ($u=1, i=1, j=1$). Результаты измерений записать в таблицу, выполненную по форме таблицы 6.3.1.

6.3.5 Установить при помощи вольтметра PV1 напряжение источника G1 (23^{+0,1}) В. Измерить выходное напряжение акселерометра U_{uij} ($u=2, i=1, j=1$). Результаты измерений записать в таблицу, выполненную по форме таблицы 6.3.1.

Таблица 6.3.1 – Результаты испытаний по определению влияния изменения напряжения питания акселерометров

Измеряемое ускорение, X_j	Выходное напряжение, U_{uij} , В			
	i=1		i=2	
	34	23	34	23
X_1	U_{11j}	U_{21j}	U_{12j}	U_{22j}
X_9				

6.3.6 Установить при помощи вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (27,0±0,1) В.

6.3.7 Измерить выходное напряжение акселерометра U_{ij}^M при значениях ускорения, задаваемого центрифугой, равных 100, 75, 50, 25, 0 % от диапазона измерений ($i=1, j=1, \dots, 5$).

6.3.8 Повернуть приспособление МКНИ.441558.123 на 180°, что соответствует заданию положительных ускорений. Измерить выходное напряжение акселерометра U_{ij}^M при значениях

ускорения, задаваемого центрифугой, равных 25, 50, 75, 100 % от диапазона измерений ($i=1, j=6, \dots, 9$).

6.3.9 Установить при помощи вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (34.0.1) В. Измерить ток потребления акселерометра $I_{\text{потреб}}$.

Провести измерения выходного напряжения акселерометра, выполняя операции п. 4.9.4 ($u=1, i=1, j=9$) и п. 4.9.5 ($u=2, i=1, j=9$). Записать результаты измерений, соответствующие $u=1, 2 \ i=1, j=9$ в таблицу дважды ($u=1, 2, i=2, j=9$).

6.3.10 Установить при помощи вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (27,0±0,1) В. Не меняя положения акселерометра, измерить выходное напряжение акселерометра при значениях ускорений, равных 100, 75, 50, 25, 0 % U_{ij}^B от диапазона измерений ($i=2, j=9, \dots, 5$).

6.3.11 Повернуть акселерометр на 180° и измерить его выходные напряжения U_{ij}^B при значениях ускорения равных 25, 50, 75, 100 % от диапазона измерений ($i=2, j=4, \dots, 1$).

6.3.12 Провести измерения, выполняя операции пп. 6.3.4, 6.3.5 ($u=1, 2 \ i=2, j=1$).

6.3.13 Результаты определения ГХ при напряжении питания акселерометра (27,0±0,1) В занести в таблицу, выполненную по форме таблицы 6.3.2. Обработать результаты измерений по формулам (2) – (5), (13) – (17), (19), (20) таблицы 7.

Таблица 6.3.2 – Результаты определения градуировочной характеристики акселерометров с диапазонами измерений от ±22 до ±500 м/с²

Порядковый номер точки градуировки, j	Задаваемое ускорение, X_u , м/с ²	Выходное напряжение U_j^M и U_j^B , В	
		U_j^M	U_j^B
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Обработать результаты измерений по формулам (6) – (9) таблицы 8 выходного напряжения акселерометров при напряжении питания (34.0.1) В и (23^{+0,1}) В.

6.3.14 Результаты испытаний считать положительными, если:

- значение коэффициента преобразования K_0 соответствует требованиям таблицы 5 с допуском на указанное значение ±10 %;
- погрешность аппроксимации σ_a не более 0,05 %;

- значение составляющей основной приведенной погрешности в интервале изменения питающего напряжения от 23 до 34 В γ_u не превышает 0,075 %.

6.4 Контроль значения составляющей основной приведенной погрешности акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до ± 11 м/с²

6.4.1 Установить приспособление МКНИ.441558.124 на ОДГ по п. 6.2.1. Закрепить акселерометр на приспособлении по п. 6.2.2.

6.4.2 Собрать схему в соответствии с рисунком 1.

6.4.3 Установить с помощью вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (34_{-0,1}) В.

6.4.4 Повернуть шпиндель ОДГ на угол минус α в соответствии с таблицей 6.2.2. Включить питание акселерометра и выдержать во включенном состоянии 15 с.

6.4.5 Измерить выходное напряжение акселерометра U_{uij} ($u=1, i=1, j=1$).

6.4.6 Установить с помощью вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (23^{+0,1}) В. Измерить выходное напряжение акселерометра U_{uij} ($u=2, i=1, j=1$).

6.4.7 Повернуть шпиндель ОДГ на угол плюс α относительно положения п. 6.4.1.

6.4.8 Установить с помощью вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (34_{-0,1}) В. Измерить выходное напряжение акселерометра U_{uij} ($u=1, i=1, j=9$). Повторить измерение U_{uij} ($u=1, i=2, j=9$).

6.4.9 Установить с помощью вольтметра PV1 выходное напряжение источника G1 (23^{+0,1}) В. Измерить выходное напряжение акселерометра U_{uij} ($u=2, i=1, j=9$). Повторить измерение U_{uij} ($u=2, i=2, j=9$).

Результаты всех измерений занести в таблицу, выполненную по форме таблицы 6.3.1.

6.4.10 Обработать результаты измерений по формулам (6) – (9) таблицы 8.

6.4.11 Результаты испытаний считать положительными, если значение составляющей основной приведенной погрешности в интервале изменения питающего напряжения от 23 до 34 В γ_u не превышает 0,075 %.

6.5 Контроль допускаемой основной приведенной погрешности

6.5.1 Определить значение основной погрешности γ_0 в процентах, пользуясь формулами (формулы (3) – (8) таблицы 8).

6.5.2 Результаты испытаний считать положительными, если допускаемая основная приведенная погрешность γ_0 при доверительной вероятности 0,95 не превышает 0,1 %.

6.6 Контроль допускаемой дополнительной приведенной погрешности в интервале измерения температуры окружающей среды от минус 65 до 65 °C

6.6.1 Установить приспособление МКНИ.441558.124-01 в камеру тепла и холода. Подстыковать его к оптической делительной головке ОДГЭ-20 (головке) и выставить его в горизонт в двух направлениях при помощи уровня брускового 200-0,05 ГОСТ 9392 так, чтобы пузырек уровня был на середине ампулы с точностью ± 1 деление.

6.6.2 Закрепить акселерометр за плоскость YOZ на приспособлении так, чтобы при горизонтальном положении приспособления ось X была направлена стрелкой вверх, а ось Y находилась в горизонтальной плоскости и направлена вдоль продольной оси приспособления. Повернуть шпиндель головки на 90°, при этом показания на лимбах головки должны быть нулевыми.

Примечание – Начало системы координат 0 определяется как точка пересечения осей X, Y, Z и на корпусе акселерометра не гравируются.

6.6.3 Собрать схему в соответствии с рисунком 1. Установить с помощью вольтметра PV1 напряжение источника G1 (27,0±0,1) В. Подключить вольтметр PV1 к клеммам ВЫХОД и ОБЩ. ТОЧКА пульта П 060. Включить питание акселерометра и выдержать его во включенном состоянии в течение 15 с.

6.6.4 Измерить выходное напряжение акселерометра. Измеренное напряжение должно быть не более (3,0±0,3) В.

6.6.5 Выключить питание акселерометра. Установить в камере температуру минус 65 °C (u=1) и выдержать в ней акселерометр в течение 2 ч в выключенном состоянии.

6.6.6 Повернуть шпиндель головки на угол α (значение угла α см в таблице 4) по часовой или против часовой стрелки так, чтобы выходное напряжение акселерометра уменьшилось относительно напряжения, измеренного в п. 6.6.4.

Считать этот угол отрицательным. Измерить выходное напряжение акселерометра $U_{\text{ти1}}$.

6.6.8 Повернуть шпиндель головки на угол плюс α относительно положения по п. 6.6.2 и измерить выходное напряжение акселерометра $U_{\text{ти9}}$.

6.6.9 Повторить измерения выходного напряжения акселерометра по пп. 6.6.7, 6.6.8 еще 3 раза. Полученные данные занести в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Результаты температурных испытаний

Порядко- вый номер значений температу- ры, u	Измеряемое ускорение, X_j	Значение тем- пературы ок- ружающей сре- ды, ${}^0\text{C}$	Выходное напряжение U_{tuij} , В			
			U_{tu1j}	U_{tu2j}	U_{tu3j}	U_{tu4j}
1	$-\sin\alpha$	-65				
	$\sin\alpha$	-65				
2	$-\sin\alpha$	+65				
	$\sin\alpha$	+65				
3	$-\sin\alpha$	+20				
	$\sin\alpha$	+20				

Примечание – Условное обозначение выходных напряжений U_{tuij} расшифровывается как выходное напряжение при испытаниях на воздействие изменений температуры окружающей среды t при u -м значении температуры, i -м цикле градуировки, j -й точке градуировки.

6.6.10 Установить в камере температуру плюс $20 {}^0\text{C}$ ($u=3$) и выдержать в ней акселерометр в выключенном состоянии в течение 2 ч.

6.6.11 Включить питание акселерометра и выдержать его во включенном состоянии 15 с. Повторить операции пп. 6.6.6 – 6.6.9.

Обработать результаты испытаний по пп. 6.6.1 – 6.6.9 пользуясь таблицей оперативной информации.

6.6.12 Установить в камере температуру плюс $65 {}^0\text{C}$ ($u=2$) и выдержать в ней акселерометр в выключенном состоянии в течение 2 ч.

Примечание – Перед установкой отрицательных углов необходимо привести их к виду, удобному для установки на лимбах головки путем вычитания из значения α_4 абсолютного значения углов α_3 , α_2 , α_1 , α .

6.6.13 По истечении 2 ч провести измерения выходного напряжения акселерометра по пп. 6.6.6-6.6.9. Повернуть шпиндель головки в положение, соответствующее нулевым показаниям лимбов. Выключить питание акселерометра.

Результаты температурных испытаний занести в таблицу 6.6.

Обработать результаты испытаний по пп. 6.6.12 – 6.6.13 по формулам (33), (34) таблицы 8.

6.6.13 Значение предела допускаемой дополнительной приведенной погрешности в интервале изменения температуры окружающей среды γ_t должно быть не более $\pm 0,1\%$.

7 Оформление результатов поверки

7.1 Результаты поверки оформить в соответствии с ПР 50.2.006.

8 Обработка результатов измерений

Таблица 8 – Таблица оперативной информации к обработке результатов градуирования

Содержание оперативной информации	Числовые значения, формулы, указания
1 Степень полинома	$l = 1$
2 Нормирующее значение выходного сигнала	$N = 6$
3 Коэффициент, учитывающий доверительную вероятность	$K = 2$
4 Суммарная дисперсия, обусловленная средствами градуировки	для диапазонов измерений $\pm 5,6$ и ± 11 м/с ² в В ² $\sum_{p=1}^2 D_{\text{обр},p} = 2,88 \cdot 10^{-8} \cdot K_0^2 + 2 \cdot 10^{-7} \quad (1)$ для диапазонов измерений от ± 22 до ± 500 м/с ² в В ² $\sum_{p=1}^2 D_{\text{обр},p} = 1,44 \cdot 10^{-8} \cdot K_0^2 + 0,56 \cdot 10^{-6} \quad (2)$
5 Указания по определению основной погрешности	Рассчитать значение основной погрешности акселерометра, % $\gamma_0 = \frac{2}{N} \sqrt{D_h + D_u + \sum_{p=1}^2 D_{\text{обр},p}} \cdot 100 \quad (3)$ Рассчитать значение дисперсии невоспроизводимости градуировочной характеристики, В ² $D_i = \frac{\sum_{i=1}^9 (U_{ij}^i - U_{ij})^2 + \sum_{i=1}^9 (U_{ij}^A - U_{ij})^2}{18} \quad (4)$ где U_j^M - значение выходного напряжения для j-й точки градуировки при изменении выходного сигнала со стороны меньших значений, В где U_j^B - значение выходного напряжения для j-й точки градуировки при изменении выходного сигнала со стороны больших значений, В Рассчитать среднюю градуировочную характеристику, В $U_j = \frac{U_j^M + U_j^B}{2} \quad (5)$

Продолжение таблицы 8

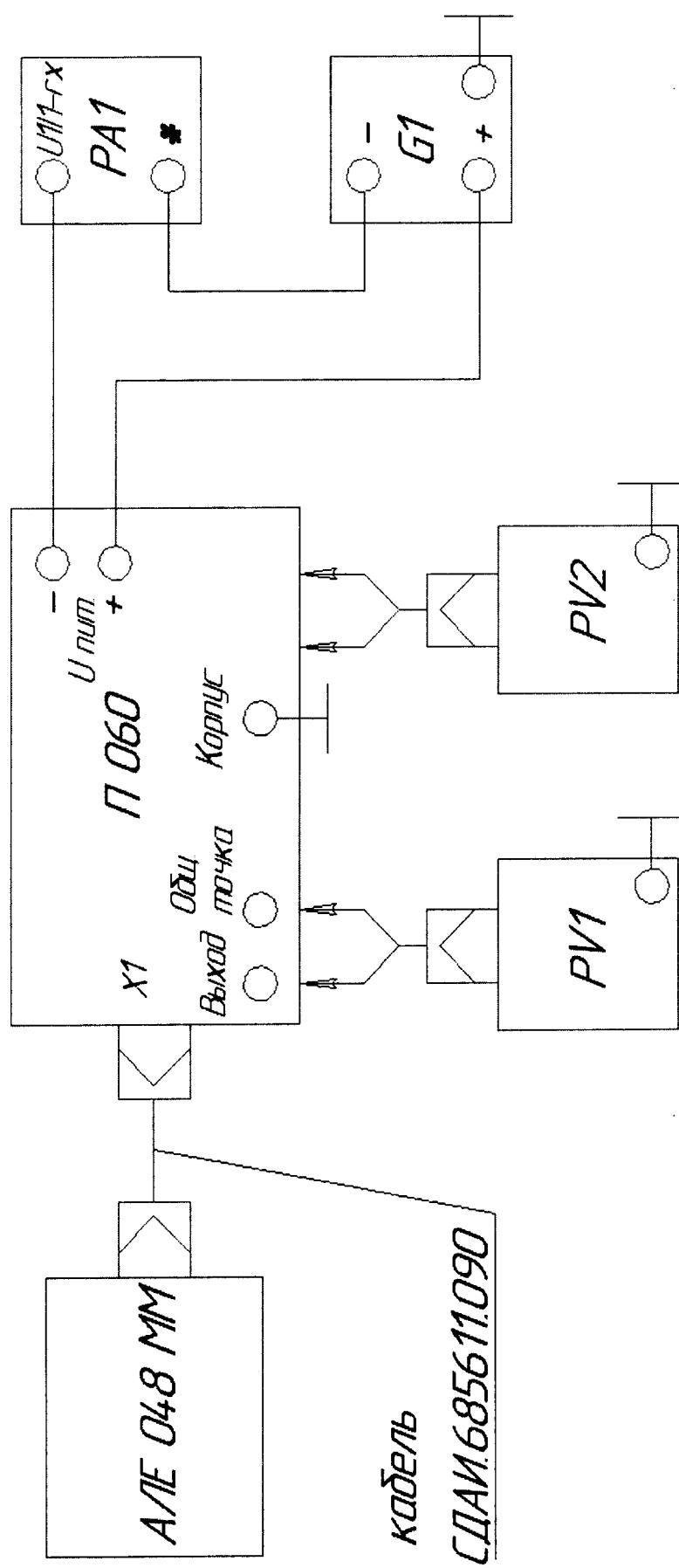
Содержание оперативной информации	Числовые значения, формулы, указания
5.1 Определение значения дисперсии от изменения напряжения питания	<p>Рассчитать значение выходного напряжения в 1-й и 9-й точках градуировки</p> $U_{ucp,j} = \sum_{u=1,j=1}^{u=2,j=2} U_{u,j} / 4 \quad (6)$ <p>Рассчитать значение погрешности для каждого эксперимента</p> $\Delta U_{u,j} = U_{u,j} - U_{ucp,j} \quad (7)$ <p>Рассчитать значение дисперсии</p> $D_u = \sum_{u=1,i=1,j=1}^{u=2,i=2,j=9} \Delta U_{u,j}^2 / 7 \quad (8)$ <p>Рассчитать значение составляющей погрешности в интервале изменения питающего напряжения от 23 до 34 В, %</p> $\gamma_u = \frac{1}{N} \sqrt{D_u} \cdot 100 \quad (9)$
6 Указания по определению других характеристик	<p>1 Рассчитать значение начального уровня b_0 для диапазонов измерений от $\pm 5,6$ до $\pm 11 \text{ м/с}^2$ ($j=1, \dots, 9$)</p> $b_0 = \frac{\sum_{j=1}^9 U_j}{9} \quad (10)$ <p>Рассчитать значение начального уровня акселерометра b_0 для остальных диапазонов измерений по формуле</p> $b_0 = \frac{\sum_{j=1}^4 U_{0j}}{4} \quad (11)$ <p>Рассчитать значение коэффициента преобразования K_0 для диапазонов измерений от $\pm 5,6$ до $\pm 11 \text{ м/с}^2$</p> $K_0 = \frac{\sum_{j=1}^m U_j X_j}{\sum_{j=1}^m X_j^2} \cdot \frac{1}{9,81294} \quad (12)$ <p>2 Рассчитать значение начального уровня b_u, рассчитать значение коэффициента преобразования K_0 при определении ГХ акселерометров с диапазонами измерений от ± 22 до $\pm 500 \text{ м/с}^2$ на центрифуге</p> $b_u = \frac{\sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} U_j \cdot \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j^2 - \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} U_j X_j \cdot \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j}{8 \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j^2 - \left(\sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j \right)^2} \quad (13)$

Продолжение таблицы 8

Содержание оперативной информации	Числовые значения, формулы, указания
	$K_0 = \frac{8 \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} U_j X_j - \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} U_j \cdot \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j}{8 \sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j^2 - \left(\sum_{j=1 \dots 4}^{6 \dots 9} X_j \right)^2}, \quad (14)$ <p>где U_j – средняя градуировочная характеристика (формула (5)); X_j – значение измеряемого ускорения в j-й точке градуировки</p> $X_{j(1-4)} = X_u (1 - \xi) \quad (15)$ $X_{j(6-9)} = X_u (1 + \xi), \quad (16)$ <p>где X_u – значение ускорения, воспроизводимого центрифугой</p> $\xi = \frac{1}{4} \left[\frac{U_9 + U_1 - 2U_5}{U_9 - U_1} + \frac{U_8 + U_2 - 2U_5}{U_8 - U_2} + \right. \\ \left. + \frac{U_7 + U_3 - 2U_5}{U_7 - U_3} + \frac{U_6 + U_4 - 2U_5}{U_6 - U_4} \right] \quad (17)$ <p>Рассчитать дисперсию аппроксимации D_a:</p> <p>а) для акселерометров с диапазонами измерений от $\pm 5,6$ до $\pm 11 \text{ м/с}^2$</p> $D_a = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^9 (b_0 + K_0 X_j \cdot 9,81294 - U_j)^2, \quad (18)$ <p>где b_0 – рассчитать по формуле (10)</p> <p>б) для акселерометров с диапазонами измерений от ± 22 до $\pm 500 \text{ м/с}^2$</p> $D_a = \frac{1}{6} \sum_{j=1, \dots, 4}^{6, \dots, 9} (b_u + K_0 X_j - U_j)^2 \quad (19)$ <p>Рассчитать среднее квадратическое значение погрешности от нелинейности статической градуировочной характеристики</p> $\sigma_a = \frac{100}{N} \cdot \sqrt{D_a} \quad (20)$

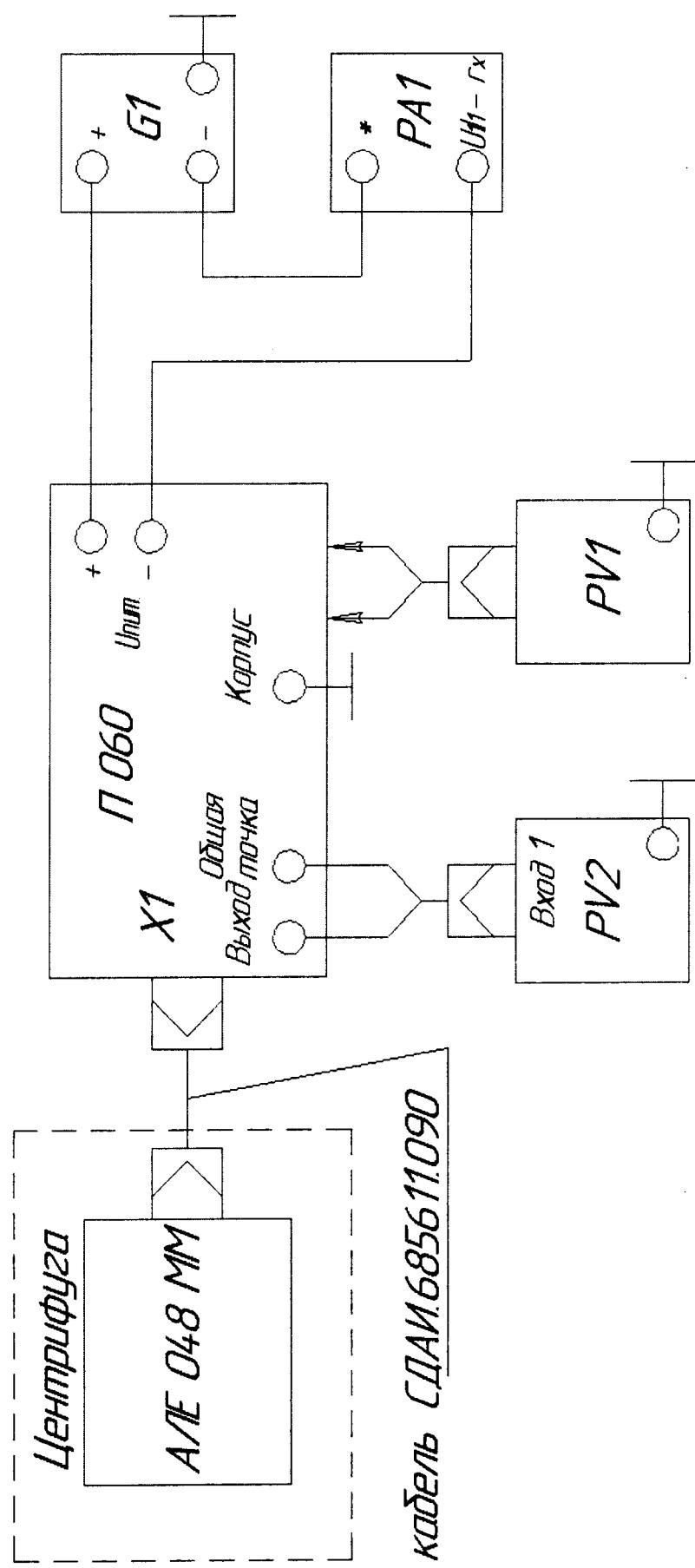
Продолжение таблицы 8

Содержание оперативной информации	Числовые значения, формулы, указания
Влияющая величина 7 Нормируемая метрологическая характеристика	Изменение температуры окружающей среды t Коэффициенты влияния K_t , b_t и предельное значение случайной составляющей погрешности в интервале изменения температуры окружающей среды от минус 65 до плюс 65 $^{\circ}\text{C}$, γ_t
8 Вид функции влияния 9 Указания по определению коэффициентов влияния	$\Psi_{(t,x)} = b_t(t_u - 20) + K_t(t_u - 20) \cdot X_j$ (21) Рассчитать значения погрешности для каждой точки градуировки по формуле
	$\Delta U_{tuij} = U_{tuij} - U_j$ (22) где U_{tuij} – выходное напряжение акселерометра в каждой точке градуировки при температуре минус 65 и плюс 65 $^{\circ}\text{C}$, В U_j – выходное напряжение акселерометра, соответствующее номинальной ГХ в 1-й и 9-й точках, определенной по формуле (B.5). Рассчитать и вывести на печать значения b_t и K_t
10 Нормирующее значение выходного сигнала 11 Коэффициент, учитывающий доверительную вероятность оценки случайной составляющей погрешности 12 Предельное значение случайной оставляющей приведенной погрешности	$b_t = \frac{\sum_{u=1, i=1, j=1, 9}^{u=2, i=4} \Delta U_{tuij} \cdot (t_u - 20)}{8 \sum_{u=1}^2 (t_u - 20)^2}$ (23) $K_t = \frac{\sum_{u=1, i=1, j=1, 9}^{u=2, i=4} \Delta U_{tuij} \cdot X_j (t_u - 20)}{4 \cdot \sum_{u=1, j=1, 9}^2 X_j^2 (t_u - 20)^2} \cdot \frac{100}{9,81294 \cdot K_0}$ (24) Для расчета использовать значение K_0 , определенное по формуле (12). $N = 6$ $K = 2$ Рассчитать значение случайной составляющей погрешности по формуле
	$\gamma_t = \frac{2}{N} \sqrt{[D(t, x)]_{\max}} \cdot 100$ (25) где $[D(t, x)]$ – максимальное значение дисперсии $D(t, x)_u$, равной $D(t, x)_u = \frac{\sum_{i=4}^4 (U_{tuij} - U_{tuj})^2}{3}$, (26) где $U_{tuj} = \frac{\sum_{i=4}^4 U_{tuij}}{4}$



$G1$ – источник питания постоянного тока Б5-71/4М;
 $PV1$ – вольтметр универсальный В7-16А;
 $PV2$ – милливольтметр В3-38А;
 $PA1$ – прибор комбинированный Ц-4353

Рисунок 1 – Схема для контроля характеристики акселерометра



G1 – Источник питания постоянного тока Б5-71/4М;
 PV1, PV2 – вольтметр универсальный В7-16А;
 PA1 – прибор комбинированный Ц-4353

Рисунок 2 – Схема для контроля характеристик акселерометра на центрифуге