

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА"

ИЗМЕРЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ГИДРОСИСТЕМАХ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к лабораторной работе*

САМАРА
Издательство СГАУ
2007

УДК: 53.08: 531. 787

Составители: А. Б. Прокофьев, Е. В. Шахматов, Г. В. Шестаков.

Рецензент д-р техн. наук, проф. И.С. Загузов

Измерение пульсаций давления в гидросистемах: метод. указания к лабораторной работе / сост. А.Б.Прокофьев, Е.В. Шахматов, Г.В. Шестаков. - Самара: Изд-во СГАУ, 2006. – 35 с.

Методические указания содержат сведения по средствам, приборам и методике проведения измерений пульсаций давления в гидравлических системах.

Приведены схемы измерительных преобразователей, измерительной цепи, представлены их основные технические характеристики, описаны особенности применения.

Предназначены для студентов специальности 15.08.02 «Гидравлические машины, гидропривод и гидропневмоавтоматика» и могут быть использованы при подготовке к лабораторным работам, в дипломном проектировании, также полезны аспирантам и студентам, выполняющим экспериментальные исследования в области динамики гидромеханических систем.

СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения.....	4
1. Общие сведения об измерительной цепи.....	6
2. Датчики измерения пульсаций давления.....	7
3. Усилители.....	17
3.1. Аппаратура тензометрическая на несущей частоте 4АНЧ-22.....	18
3.2. Усилитель заряда РШ-2734.....	20
4. Тарировка датчиков.....	21
5. Проведение измерений пульсаций давления.....	27
Рекомендуемый библиографический список.....	32
Приложения.....	33

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

C_a – ёмкость измерительного преобразователя;

C_x – ёмкость удлинительного кабеля;

K_d – коэффициент преобразования измерительного преобразователя;

L_m – длина тензочувствительного элемента;

R_m – сопротивление тензочувствительного материала;

S – тензочувствительность материала;

V – электрическое напряжение;

ΔL_m – приращение длины тензочувствительного элемента;

ΔR_m – приращение сопротивления тензочувствительного элемента.

* * *

Гидравлический привод находит широкое применение в различных отраслях машиностроения в качестве исполнительных органов систем управления и автоматизации производственных процессов, следящих приводов транспортных средств, приводов рабочих органов машин и оборудования различного назначения. Одним из основных требований, предъявляемых к гидравлическим приводам, является их надёжность. На надёжность гидравлических приводов при эксплуатации оказывают влияние различные факторы, в том числе динамические процессы в рабочей жидкости гидросистемы. Поэтому в процессе эксплуатации гидравлического оборудования важной задачей является измерение пульсаций давления.

Амплитуды колебаний давления могут достигать до 40 % относительно среднего давления, что в основном обусловлено неравномерной подачей насосов, работой различных регуляторов.

Необходимость измерения параметров пульсаций давления рабочей жидкости возникает при решении двух важных технических задач:

- виброакустической диагностике технического состояния гидравлического привода;
- разработке мероприятий по снижению динамической нагруженности гидравлической системы и оценке эффективности этих мероприятий.

В методических указаниях приводится описание основных приборов, используемых при проведении измерений пульсаций давления рабочей жидкости, структуры измерительной цепи, методики подготовки и проведения испытаний.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ

Любая измерительная система представляет собой совокупность приборов и аппаратуры. На рис. 1.1 приведена структурная схема системы измерений пульсаций давления рабочей жидкости. Сигналы от исследуемого объекта 1 и измерительных преобразователей 2 через усилитель 3 поступают в виде аналоговых сигналов напряжения в аналого-цифровой преобразователь 4. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются устройствами, которые принимают входные аналоговые сигналы и генерируют соответствующие им цифровые сигналы, пригодные для обработки цифровыми устройствами, например, персональным компьютером 5 (см. рис. 1.1).

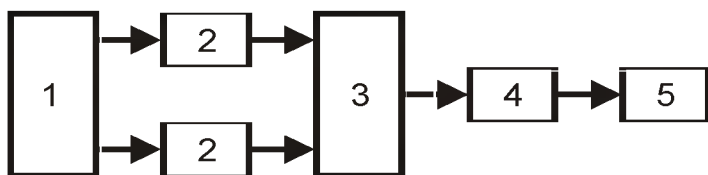


Рис. 1.1. Схема измерительной цепи:

1 – исследуемый объект; 2 – измерительные преобразователи;
3 – усилитель; 4 – АЦП; 5 – персональный компьютер

Используемый в данной лабораторной работе АЦП Е-330 (производитель ЗАО «L-card», г. Москва), внешний вид которого представлен на рис. 1.2, является внешним модулем, подключаемым к принтерному порту компьютера.

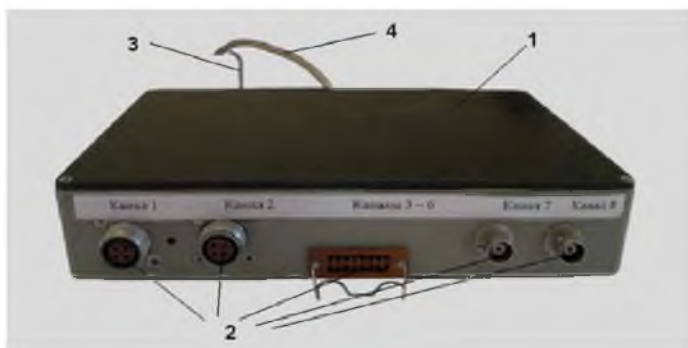


Рис. 1.2. Внешний вид АЦП Е-330:

1 – корпус; 2 – разъемы для подключения аналоговых сигналов;
3 – кабель питания модуля электрическим напряжением;
4 – кабель передачи данных в персональный компьютер

На модуль Е-330 может быть подано до 32 аналоговых сигналов. Разрядность АЦП - 12 бит. Диапазон входных сигналов составляет $\pm 5,12$ В. Максимальная частота преобразования – 500 кГц. Для исключения возможных повреждений модуль Е-330 заключён в корпус 1, который имеет разъёмы 2 для подключения сигналов. К персональному компьютеру АЦП подключается кабелями 3 и 4. Кабель, присоединяемый к порту клавиатуры или PS/2, предназначен для питания модуля электрическим напряжением. По кабелю 4, подключаемому к ЛРТ, осуществляется передача данных.

2. ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ

Динамические процессы, происходящие в гидросистемах машин, требуют измерения быстроизменяющегося и пульсирующего давления в различных точках гидролиний низкого и высокого давления. Диапазон частоты измеряемого давления может колебаться от 1 Гц до 10...20 кГц.

Для преобразования колебаний давления в электрический сигнал используют различные типы преобразователей:

- 1) потенциометрический, в котором чувствительный элемент – упругая мембрана, перемещаясь под действием давления, тем или иным путём изменяет электрическое сопротивление части цепи внутри преобразователя;
- 2) тензометрический, в котором усилие, создаваемое давлением, воспринимается чувствительным элементом (например, мембраной), а возникающие напряжения измеряются тензометрами;
- 3) электромагнитный, в котором прогиб мембраны или деформация сильфона под действием давления приводит к изменению характеристик магнитной цепи измерительного преобразователя;
- 4) ёмкостный, в котором чувствительный элемент изменяет ёмкость в цепи преобразователя;
- 5) пьезоэлектрический, в котором давление передаётся на кристалл и возникающая при этом разность потенциалов служит выходным сигналом;
- 6) вибрационно-частотный, в котором деформация мембраны вызывает изменение напряжений растяжения в элементе, собственная частота

которого зависит от этих напряжений и является информативным параметром выходного электрического сигнала.

Наибольшее распространение в настоящее время получили тензометрические и пьезоэлектрические датчики пульсаций давления. Рассмотрим их подробнее. В большинстве датчиков давления для преобразования давления в перемещение используются упругие элементы в виде плоских и гофрированных круглых мембран с отношением толщины к диаметру в пределах $0,02 \dots 0,1$.

При измерении колебаний давления жидкости возникает специфическая задача неискажений передачи этого параметра на вход преобразователя давления без нарушения условия функционирования исследуемого объекта. Соответственно к подсоединительным элементам датчика давления предъявляются, с одной стороны, требования точности преобразования, а с другой – герметичности и механической прочности.

Достаточно часто датчики давления присоединяют к исследуемым объектам с помощью трубопровода. При идентификации показаний такого измерительного преобразователя в случае быстроменяющегося давления необходимо учитывать динамические характеристики подсоединительных трубопроводов.

Современное развитие техники дало возможность создавать миниатюрные датчики пульсаций давления, что позволило встраивать эти измерительные преобразователи непосредственно в гидравлические агрегаты для определения их динамических характеристик.

Можно выделить следующие основные требования к измерительным преобразователям пульсаций давления: высокая чувствительность и возможность работы в условиях повышенной вибрации, малые размеры, высокие надёжность и долговечность, широкий диапазон рабочих частот, возможность работы в условиях рабочих температур (от -60 до $+150$ °С). Основными параметрами измерительных преобразователей являются чувствительность (В/МПа) и частотный диапазон (Гц). Выбор необходимого датчика определяется потребностью проводимого эксперимента.

Действие тензометрических датчиков (измерительных преобразователей) основано на использовании явления тензоэффекта, который заключается в том, что под действием приложенной растягивающей или сжимающей силы проводниковые и полупроводниковые материа-

лы изменяют удельное электрическое сопротивление (проводимость). Тензоэффект характеризуется тензочувствительностью материала:

$$S_M = \frac{\Delta R_M l_M}{R_M \Delta l_M},$$

где l_M, R_M – длина и сопротивление тензочувствительного элемента; $\Delta l_M, \Delta R_M$ – приращение длины и сопротивления вследствие приложения внешних сил.

Чувствительные элементы тензометрических датчиков пульсаций давления (тензорезисторы) могут быть проволочными, фольговыми и полупроводниковыми.

В зависимости от вида чувствительного элемента проволочные одноэлементные тензорезисторы подразделяются на пять групп.

- 1) общего назначения с плоской петлевой решёткой из тянутой проволоки $\varnothing 10\text{--}30$ мкм с базами $l_p = 2\text{...}100$ мм;
- 2) с двухслойной петлевой решёткой с $l_p = 1\text{...}3$ мм;
- 3) с плоской беспетлевой многопроволочной решёткой из тянутой проволоки $\varnothing 10\text{...}30$ мкм с $l_p = 3\text{...}200$ мм;
- 4) беспетлевые однопроволочные из тянутой проволоки $\varnothing 10\text{...}20$ мкм с $l_p \geq 10$ мм;
- 5) беспетлевые однопроволочные из жилы литого микропровода $\varnothing 2\text{...}6$ мкм с $l_p = 1\text{...}3$ мм.

Фольговые тензорезисторы имеют решетку из полосок фольги прямоугольного сечения толщиной $\varnothing 4\text{...}12$ мкм, которые наносят на пленку из синтетической смолы или бумаги, пропитанной клеем. Толщина пленочного основания тензорезистера составляет $30\text{...}40$ мкм, бумажного – $80\text{...}1000$ мкм. Вследствие большой теплоотдачи фольговых тензорезисторов ток, протекающий через измерительный преобразователь, может составлять $0,5$ А, что повышает чувствительность тензопреобразователя.

В последнее время все шире применяют полупроводниковые тензорезисторы. Их действие основано на использовании пьезорезистивного эффекта, т.е. зависимости электрического сопротивления полупроводника от действия механических напряжений. В качестве пьезорезистивных измерительных преобразователей обычно используют

полупроводниковые элементы: резисторы, диоды, стабилизаторы, тоннельные диоды и транзисторы.

На рис. 2.1 показана схема тензометрического датчика пульсаций давления. Упругий элемент датчика выполнен в виде пластины 1, которая прикреплена к подложке 2, имеющей отверстие. Пластина 1 с отверстием в подложке 2 образует плоскую мембрану. С внутренней стороны мембраны наклеены малобазовые тензорезисторы 3 разной проводимости. Применение тензорезисторов с одинаковым коэффициентом чувствительности, но разной проводимости позволяет повысить общую чувствительность датчика и произвести его температурную компенсацию. Сигнал с датчика через токосъемник поступает на усилитель и регистрирующий прибор.

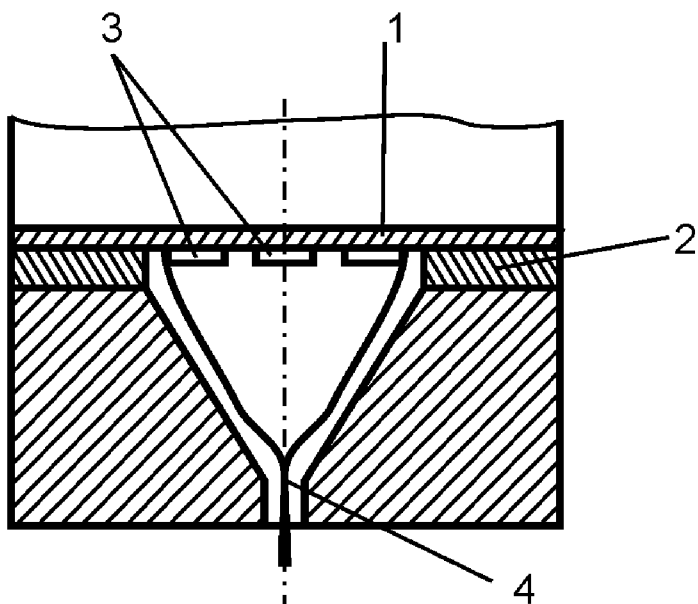


Рис. 2.1. Схема тензометрического датчика пульсаций давления:
1-пластина; 2-подложка; 3-тензоэлементы; 4-электрические выводы

Отечественной промышленностью выпускаются тензометрические датчики типа ЛХ-412 и ЛХ-415 (см. табл. 2.1). Внешний вид этих датчиков представлен на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Внешний вид тензометрических датчиков пульсаций давления ЛХ-412 и ЛХ-415

Таблица 2.1.

Технические характеристики тензометрических датчиков пульсаций давления отечественного производства

Серия	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Питание, В	V_{\max} , В	Рабочие температур., С°	Максим. частота, Гц	Материал корпуса	Масса, г	Присоедин. размер
ЛХ-412	до 40	12	5	-50...+50	1500	Нержав. сталь	220	М-20
ЛХ-415	до 3	12	5	-50...+50	500	Нержав. сталь	550	М-20

На рис. 2.3 представлен внешний вид тензометрических датчиков давления, выпускаемых за рубежом. В табл. 2.2 представлены их характеристики.



Рис. 2.3. Внешний вид тензометрических датчиков пульсаций давления фирмы Kulite

Таблица 2.2.

Технические характеристики тензометрических датчиков пульсаций давления фирмы Kulite

Серия	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Питание, В	V_{\max} , В	Нелинейность (в % от динамич. диапазона)	Рабочие температуры, °С	Максим. частота, кГц
ХТСЕ-190	0,035 - 14	10	100	± 0,1	- 55...+232	50
СТ-190	0,035 - 14	10	100	± 0,1	- 196...+120	50
НКС-375	7 - 210	5	100	± 0,5	- 55...+204	150
НЕМ-375	0,17 - 140	10	100	± 0,25	- 55...+232	40

Представленные в табл. 2.2 измерительные преобразователи фирмы Kulite (США) отличаются небольшими размерами (датчики серий ХТСЕ-190 и СТ-190 имеют присоединительную резьбу М10), устойчивостью к жестким внешним условиям, точностью и высокой надежностью. Датчики могут использоваться в широком температурном диапазоне. Так, серии ХТСЕ-190 и НЕМ-375 имеют верхнее значение температурного диапазона +232 °С. Для криогенных приложений выпускается серия СТ-190 (нижнее значение температурного диапазона – минус 196 °С). Датчик серии НКС-375 измеряет давление до 210 МПа и может использоваться для исследования взрывных процессов. Благодаря высокой точности, надежности, малому объему и весу измерительные преобразователи фирмы Kulite широко применяются в авиационной и космической технике.

В настоящее время для измерений динамических процессов наиболее широко применяют пьезоэлектрические измерительные преобразователи, в которых в качестве чувствительного элемента используют монокристаллические или поликристаллические материалы, обладающие пьезоэлектрическими свойствами.

Действие пьезоэлектрических измерительных преобразователей основано на использовании прямого пьезоэффекта, т.е. свойств некоторых материалов (пьезоэлектриков) генерировать заряд под действием приложенной к ним механической силы (рис. 2.4).

Давление на преобразователь передается через мембрану 1 и керамическую подушку 2, служащую для теплоизоляции. Керамическая подушка 2 контактирует с нижней гранью пьезоэлемента 3, верхняя грань которого упирается в упор 4. Под действием деформации мембраны 1 от воздействия пульсаций давления пьезоэлемент 3 деформируется.

ется. Деформация пьезоэлемента сопровождается возникновением электрического заряда, пропорционального мгновенному значению колебательной составляющей давления.

Основные преимущества пьезоэлектрических измерительных преобразователей:

- широкий диапазон рабочих частот;
- большая вибрационная и ударная прочность;
- простота конструкции;
- малая чувствительность к магнитным полям;
- возможность создания высокотемпературных преобразователей;
- возможность создания преобразователей с малыми размерами и массой;

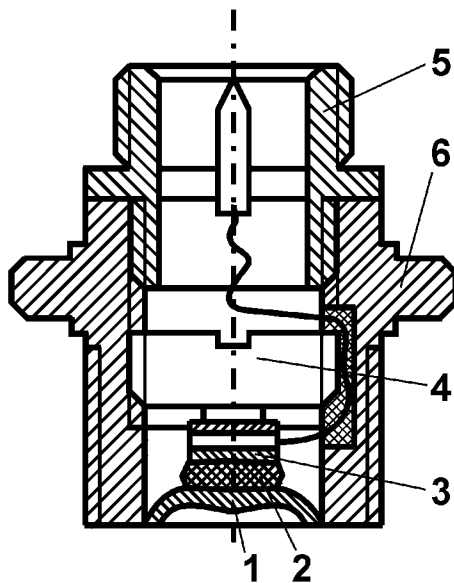


Рис. 2.4. Схема пьезоэлектрического датчика пульсаций давления:

- 1-мембрана; 2-керамическая подушка; 3-пьезоэлемент; 4-упор;
5-штепсельный разъем; 6-корпус

- высокая чувствительность измерительного преобразователя (коэффициент преобразования).

Основные недостатки пьезоэлектрических измерительных преобразователей:

- большое выходное сопротивление;
- зависимость выходного сигнала от длины кабеля (при работе с усилителем напряжения);
- невозможность измерения постоянной составляющей динамического процесса.

Большим недостатком пьезоэлектрических измерительных преобразователей является ограниченная длина выводного кабеля, соединяющего датчик с высокоомной частью измерительного прибора. С увеличением длины кабеля уменьшается коэффициент преобразования измерительного преобразователя при работе последнего с усилителем напряжения. Для этого случая результирующий коэффициент преобразования измерительного преобразователя K'_o определяется соотношением:

$$K'_o = K_o \frac{C_a}{C_k + C_a},$$

где K_o – коэффициент преобразования измерительного преобразователя; C_a – ёмкость преобразователя; C_k – ёмкость удлинительного кабеля.

Поэтому перспективным является использование измерительных преобразователей, совмещенных с входным усилителем.

Основными техническими характеристиками пьезоэлектрических измерительных преобразователей являются:

- коэффициент преобразования по напряжению, мВ/Па ;
- коэффициент преобразования по заряду, пКл/Па;
- резонансная частота, кГц;
- емкость, пФ;
- диапазон рабочих температур, °С;
- динамический диапазон;
- размеры, масса и тип крепления на объекте.

Примером серийно выпускаемых отечественных пьезоэлектрических преобразователей являются датчики серии ЛХ, например ЛХ-604, ЛХ-608, ЛХ-610, ЛХ-611М, ЛХ-612М. Внешний вид датчика ЛХ-610 приведен на рис. 2.5.

Технические характеристики отечественных пьезоэлектрических датчиков пульсаций давления представлены в табл. 2.3.



Рис. 2.5. Внешний вид пьезоэлектрического датчика пульсаций давления LX-610

В качестве примера зарубежных пьезоэлектрических преобразователей пульсаций давления можно привести датчики фирмы PCB (США). Они могут использоваться для измерений динамического давления в различных процессах, таких как компрессия, пульсации, ударные волны, процессы в двигателях внутреннего сгорания и т.д., в диапазоне от 0,7 Па до 690 МПа.

Таблица 2.3.

Технические характеристики пьезоэлектрических датчиков пульсаций давления отечественного производства

Серия	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Диапазон воздействия статических давлений, МПа	Частотный диапазон, Гц	Коэффициент преобразования, мВ/Па	Погрешность более, %	Рабочие температур., С°	Масса, г	Примечание
LX-604	0,05-5	3-60	10-10000	$(40 \pm 25) \cdot 10^{-5}$	± 10	-196...+200	160	
LX-608	0,05-5	3-60	10-10000	$(40 \pm 25) \cdot 10^{-5}$	± 10	+25...+3000	190	С принуд. охлаждением водой

Окончание табл. 2.3.

ЛХ-610	0,005-0,5	0,05-0,5	3-10000	0,0035	±8	-196...+200	100	
ЛХ-611М	0,045-5,6	4-63	31,5-8000	$20 \cdot 10^{-5}$	±10	-196...+200	100	
ЛХ-612М	0,045-5,6	2,8-63	31,5-8000	$16 \cdot 10^{-5}$	±12	+25...+1000	120	С принуд. охлаждением водой

Таблица 2.4.

Основные технические характеристики пьезоэлектрических датчиков пульсаций давления фирмы РСВ

Марка датчика	Диапазон измерений пульсаций давления, МПа	Диапазон воздействия статических давлений, МПа	Частотный диапазон, Гц	Коэффициент преобразования мВ/кПа (пКл/кПа)	Рабочие температуры, °С
M102A07 M112A22	$7 \cdot 10^{-5} \dots 0,345$	до 3,45	0,5...80000	14,5	-73...+135
M102A02 M102A05 M112A21	$1,4 \cdot 10^{-4} \dots 0,69$	до 6,9	0,5...80000	7,3	-73...+135
M121A	$2 \cdot 10^{-5} \dots 0,86$	до 6,9	0,5...60000	5,8	-73...+135
M101A06 M111A26	$6,8 \cdot 10^{-4} \dots 3,45$	до 34,5	0,01...130000	1,45	-73...+135
M101A02 M111A22	$6,9 \cdot 10^{-3} \dots 34,5$	до 103,4	0,001...130000	0,15	-73...+135
M101A03 M111A23 M108A02	$1,38 \cdot 10^{-2} \dots 6,9$	до 350	0,005...60000	0,07	-73...+135
M102A02 M102A05 M112A21	$6,9 \cdot 10^{-4} \dots 0,69$	до 6,9	0,5...80000	7,25	-73...+135
M116B02	$2 \cdot 10^{-5} \dots 0,69$	до 20,7	0,5...20000	(1,015)	-240...+315

В качестве чувствительного элемента используются кристаллы кварца, турмалина или искусственной пьезоэлектрической керамики. Важное достоинство этих датчиков состоит в их совместимости со стандартными широко распространенными усилителями заряда или

напряжения. Часть датчиков выпускается со встроенными ИСР-усилителями (ИСР – Integrated Circuit Piezoelectric) и имеет низкоимпедансный выход. Внешний вид датчиков фирмы PCB представлен на рис. 2.6. В табл. 2.4 приведены их основные технические характеристики.



Рис. 2.6. Внешний вид пьезоэлектрического датчика пульсаций давления фирмы PCB M101A06

3. УСИЛИТЕЛИ

Усилителями называют приборы, обеспечивающие получение унифицированного (со стандартными параметрами) выходного сигнала при подаче на вход измерительного сигнала. Главная необходимость применения усилителей обусловлена низким уровнем сигналов, получаемых от измерительных преобразователей. В системах измерения пульсаций давления используются приборы:

- 1) аппаратура тензометрическая на несущей частоте 4АНЧ-22;
- 2) усилитель заряда РШ-2734.

3.1 Аппаратура тензометрическая на несущей частоте 4АНЧ-22

Аппаратура 4АНЧ-22 предназначена для статических и динамических измерений по 4 каналам давления или других физических величин. При измерении пульсаций давления в качестве первичных преобразователей используют тензометрические датчики давления ЛХ-412, ЛХ-415.

Аппаратура 4АНЧ-22 (рис. 3.1) содержит блок питания, генератор с четырьмя усилителями мощности для питания измерительных мостов, четыре усилителя несущей частоты. Работа аппаратуры осуществляется следующим образом.

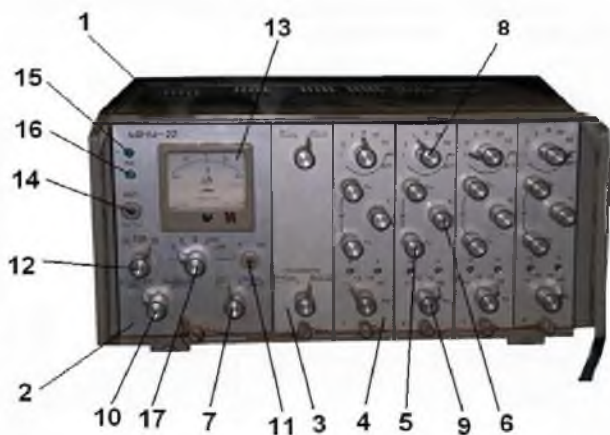


Рис. 3.1. Внешний вид аппаратуры тензометрической на несущей частоте 4АНЧ-22:

1 – корпус; 2 – блок питания; 3 – генератор; 4 – усилитель несущей частоты; 5 – устройство активной балансировки; 6 – устройство реактивной балансировки; 7 – устройство калибровки; 8 – входные аттенюаторы; 9 – аттенюатор блока устройства выделения динамики; 10 – переключатель режимов (динамика, статодинамика); 11 – переключатель реактивной и активной составляющей дисбаланса моста; 12 – переключатель уровней выходного напряжения; 13 – встроенный микроамперметр; 14 – переключатель питания; 15 – лампа контроля напряжения +15В; 16 – лампа контроля напряжения -15В; 17 – переключатель каналов

С измерительного моста, к которому подключаются датчики давления, на вход аппаратуры поступает напряжение несущей частоты, промодулированное напряжением низкой частоты, несущей информацию об измерительном сигнале. Это напряжение усиливается усилителем переменного напряжения, затем демодулируется фазочувствительным демодулятором. После фильтрации гармоник несущей частоты измеряемое напряжение поступает на устройство выделения динамики, которое позволяет измерять как статодинамические процессы, так и отдельные динамические составляющие с дополнительным усилением. Балансировка начального дисбаланса измерительного моста и калибровка аппаратуры, обеспечивающие нулевое значение постоянной составляющей напряжения на выходе из каждого канала при постоянном давлении, осуществляются устройствами 5 активной (**R**) и 6 реактивной (**X**) балансировки и устройством калибровки 7, переключённым в положение «Калибр». Входной аттенуатор 8 предназначен для ослабления входного сигнала в 1, 2, 5, 10, 20, 50 раз. Аттенуатор 9 блока устройства выделения динамики обеспечивает возможность усиления сигнала в 2, 5, 10 раз. Переключатель 10 блока питания имеет положение «Дин», «Ст-Дин $K=1$ », «Ст-Дин $K \geq 1$ », «Выкл» и предназначен для переключения режимов выделения динамической составляющей («Дин», при этом статическая составляющая отфильтровывается) и измерения статодинамических сигналов при положении аттенуатора 9 $K_d = 1$ и $K_d \geq 1$ соответственно. Переключатель 7 имеет положения «0», «Изм», «Калибр», «Выкл» и служит для переключения режимов «измерение» (положение «Изм») и «калибровка» (положения «0», «Калибр»). Переключатели 11 и 12 служат для подключения встроенного микроамперметра 13 к выходам усилителей переменного напряжения. При контроле выходного напряжения переключатель 11 ставится в положение «R, 15 В», а переключатель 12 соответственно в положения «1 В», «2,5 В», «5 В» в зависимости от выбранного входного напряжения. При контроле реактивного дисбаланса моста переключатель 11 ставится в положение «X». Включение аппаратуры в сеть 220 В осуществляется переключателем 14. Контроль за наличием напряжения на выходе стабилизаторов осуществляется лампами 15 (+15 В) и 16 (- 15 В).

Клеммная колодка (рис. 3.2) предназначена для подсоединения к выходам 4-х каналов аппаратуры регистрирующих и преобразующих устройств.



Рис. 3.2. Внешний вид клеммной колодки аппаратуры 4АНЧ-22

3.2 Усилитель заряда РШ - 2734

Усилитель заряда РШ-2734 (рис. 3.3) представляет собой устройство для преобразования 4 входных сигналов в виде заряда в выходные напряжения в полосе частот до 100 кГц. Основное назначение прибора – работа в составе виброметрических и гидроакустических систем. Коэффициент преобразования изменяется путём переключения микропереключателей индивидуально для каждого канала. Возможные значения коэффициентов преобразования: 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200 мВ/пКл.



Рис. 3.3. Внешний вид усилителя заряда РШ-2734

4. ТАРИРОВКА ДАТЧИКОВ

Тарировка – экспериментальное определение зависимости (аналитической и графической) между значениями сигнала на выходе из измерительной цепи и измеряемой величиной (давлением).

Тензومترические датчики пульсаций давления типа ЛХ-412 и ЛХ-415 тарируются по статике статическими характеристиками. При этом создаётся некоторое избыточное статическое давление, и для каждого его значения регистрируются на компьютере соответствующие временные реализации. При дальнейшей обработке находят средние значения полученных временных реализаций и строят с помощью регрессионного анализа искомую тарировочную характеристику. Поскольку статическая характеристика рассматриваемых датчиков очень близка к линейной, тарировку можно проводить для двух значений давления – атмосферного ($P_{изб}=0$) и максимального. Однако в этом случае невозможно оценить достоверность тарировки при наличии случайной ошибки определения давления (промаха). Не обеспечивает этого и проведение трёх размеров, так как через полученные точки на тарировочной характеристике можно провести 3 прямые (рис. 4.1, а). Поэтому на практике тарировка проводится по четырём точкам, что в случае промаха позволяет идентифицировать и исключить ошибочный замер (рис. 4.1,б). В лабораторной работе для закрепления практических навыков предполагается проведение 5 замеров при различных значениях давления.

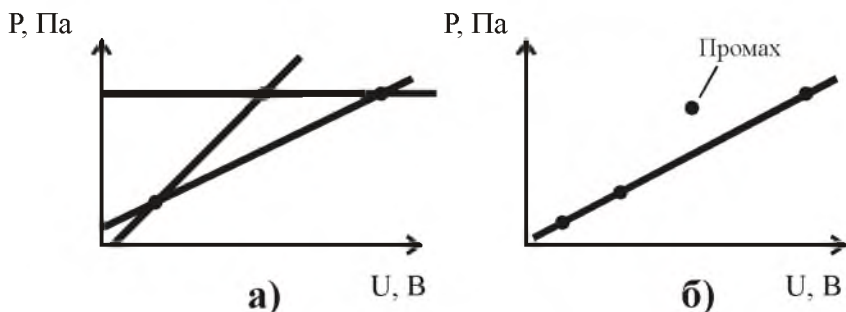


Рис. 4.1. Определение числа точек при тарировке датчика

Порядок проведения тарировки.

1. Заполняется протокол (см. прил. 1), куда заносятся:

- дата и место проведения испытаний;
 - фамилии испытателей;
 - тип и номер датчика.
2. Датчик устанавливается в переходник 1 ручной насосной станции (рис. 4.2).
3. Проверяется герметичность собранной системы. Для этого вентиль 2 грубой регулировки давления закрывается, вентиль 3 тонкой регулировки давления прикрывается. Рычагом 4 ручного насоса накачивается давление, величина которого должна быть не больше номинала датчика, указанного на его корпусе. Величина давления контролируется по манометру 5. После достижения заданного давления вентиль 3 закрывается. Осуществляется визуальный контроль системы на предмет наличия подтекания рабочей среды (масло АМГ-10). При этом следует обратить внимание на постоянство давления в системе (по манометру 5). В случае обнаружения негерметичности её необходимо устранить.
4. Открытием вентилей 2 и 3 сбавляется давление из системы.
5. Испытуемый датчик подключается к соответствующему каналу соединительной колодки аппаратуры 4АНЧ-22. Номер канала заносится в протокол.
6. Производится балансировка входной цепи аппаратуры 4АНЧ-22. Для этого необходимо:
- перевести аттенюатор 8 (см. рис. 3.1) используемого канала усилителя в положение «50»;
 - переключить тумблер 11 в положение «R,15В»
 - перевести выключатель 17 в положение, соответствующее подключённому каналу;
 - проверить и установить положения остальных переключателей в соответствии с табл. 4.1;
 - вращением ручек 5 грубой «Гр» и плавной «Пл» активной балансировки установить стрелку встроенного микроамперметра 13 на «0»;
 - перевести тумблер 11 в положение «X»;
 - вращением ручки 6 реактивной балансировки добиться минимального отклонения стрелки встроенного микроамперметра 13 от «0»;
 - повторить балансировку по активной и реактивной составляющим аналогично предыдущим пунктам, переводя переключатель 8 поочередно в положения «20», «10», «5», «2», «1», добиваясь в положении «1» отклонения стрелки от «0» не более чем на 1 деление по встроенному микроамперметру 13.

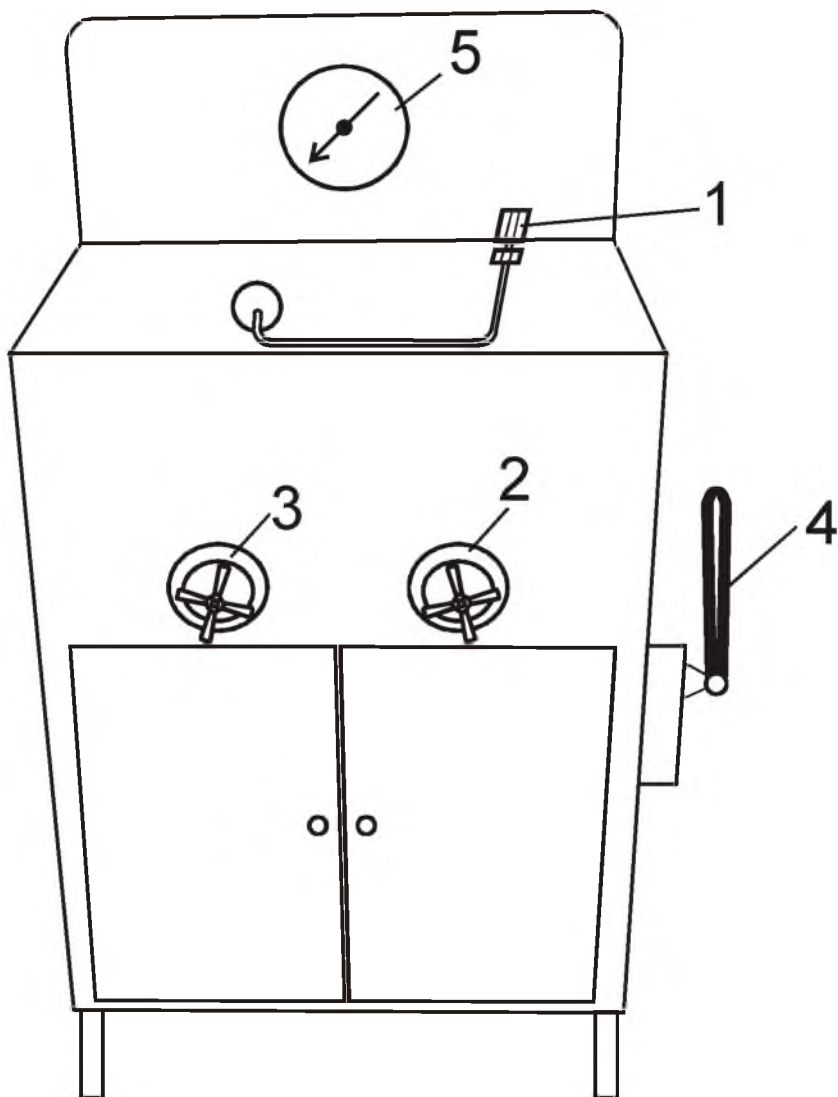


Рис. 4.2. Ручная насосная станция:

1 – переходник для монтажа датчика давления; 2 – вентиль грубой регулировки давления; 3 – вентиль тонкой регулировки давления; 4 – рычаг накачки давления; 5 – манометр

Примечание. Для упрощения балансировочных операций тумблер 11 может находиться в положении «Х» на всех этапах балансировки.

7. Выходы клеммной коробки (соответствующего канала, к которому подключен испытываемый датчик) соединяются кабелем с АЦП. Задействованный канал АЦП записывается в протокол.

Таблица 4.1.

Положения переключателей аппаратуры 4АНЧ -22 при балансировке

Переключатель	Тумблер «Сеть» 14	Устройство калибровки 7	Переключатель режимов 10	Переключатель уровней выходного напряжения 12	Переключатель несущей частоты	Переключатель режимов работы генератора	Аттенуатор 9
Положение переключателя	«Сеть»	«Изм»	«Ст – дин» Кд = 1	«5В»	20кГц	«Внутр»	«x1»

8. АЦП двумя кабелями (интерфейсным и кабелем питания) подключается к персональному компьютеру (например, типа Notebook).

9. Производится загрузка операционной системы компьютера.

10. Запускается программа Gemis Oscilloscope.

11. Осуществляется настройка каналов, к которым подключен анализируемый сигнал. Окно настройки каналов программного комплекса Gemis Oscilloscope представлено на рис. 4.3, тут же показано подключение сигнала к 7 каналу АЦП.

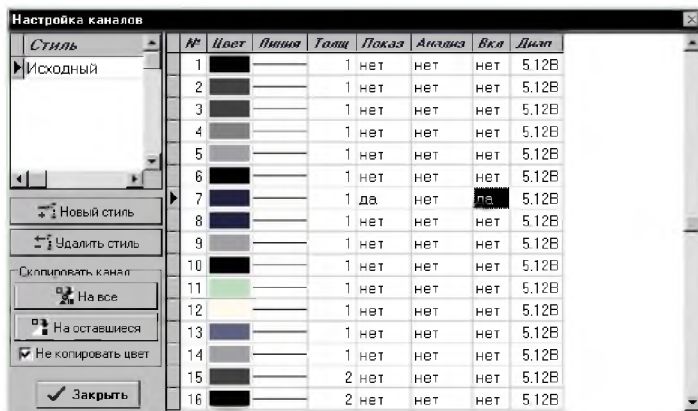


Рис. 4.3. Окно настройки каналов программного комплекса Gemis Oscilloscope

12. В протокол заносятся имена 5 файлов, которые будут получены при тарировке датчика. Каждый файл будет соответствовать своему значению давления.

13. В окне «Настройка» программного комплекса Gemis Oscilloscope устанавливаются (рис. 4.4):

- период дискретизации. Это величина, обратная частоте дискретизации. Поскольку тарировка осуществляется по статическому давлению, высокая частота дискретизации нецелесообразна, так как приведет к излишне большому размеру файла данных. Рекомендуемая величина частоты дискретизации – 1000 мкс (или 0,001 с). Величина периода дискретизации устанавливается в поле 1;

- устанавливается щелчком кнопки мыши указатель в поле 2 «Запись на диск»;

- в поле 3 устанавливается рабочая папка;

- в поле 4 заносятся имя файла;

- щелчком кнопки мыши снимается указатель с поля 2 «Запись на диск». Это делается для того, чтобы пользователь имел возможность самостоятельно определить момент начала записи регистрируемого сигнала на диск компьютера. Если не снять указатель с поля 2, запись на диск начнется одновременно с запуском регистрации сигнала.



Рис. 4.4. Окно «Настройка» программного комплекса Gemis Oscilloscope: 1 – поле установки периода дискретизации; 2 – поле установки записи сигнала на диск; 3 – поле установки каталога для записи; 4 – поле установки имени файла

14. Кнопкой 1 (рис. 4.5) осуществляется запуск регистрации сигнала (без его записи на диск компьютера).

15. Определяются необходимые положения переключателей 8 и 9, определяющие суммарный коэффициент усиления сигнала с датчика. Переключатель 8 устанавливается в положение максимального ослабления «00», а переключатель 9 – в положение минимального усиления – «1».

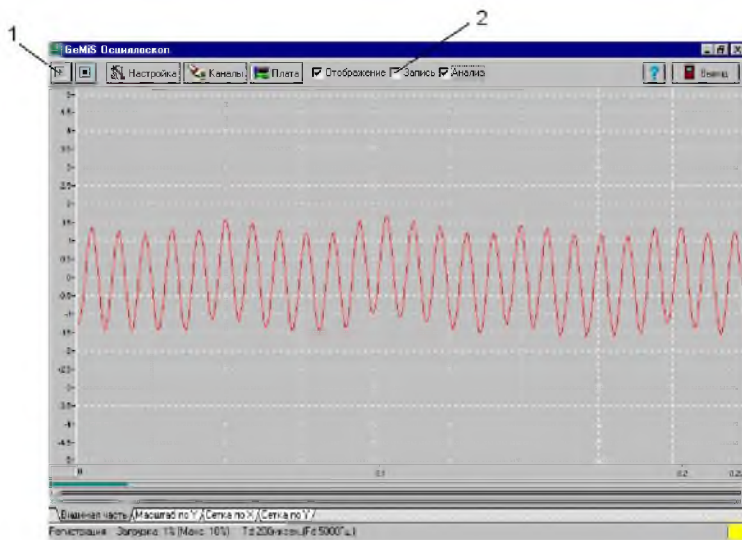


Рис. 4.5. Окно регистрации сигналов программного комплекса Gemis Oscilloscope:

- 1 – кнопка запуска регистрации сигнала;
- 2 – поле запуска записи сигнала на диск

Рычагом 4 (см. рис 4.1) ручного насоса накачивается достижимое или допустимое давление, величина которого определяется номиналом тарируемого датчика. Уменьшая переключателем 8 (см. рис. 3.1) коэффициент ослабления или (и) увеличивая переключателем 9 коэффициент усиления, необходимо добиться того, чтобы величина сигнала, контролируемая по экрану компьютера, была как можно больше, но не превышала 5 В. Данные установки аппаратуры 4АНЧ -22 заносятся в протокол.

16. Нажатием кнопки мыши в поле 2 (рис. 4.5) инициируем процесс записи сигнала в файл на жёсткий диск компьютера. С учётом того

что излишний объём данных нецелесообразен, достаточно 0,5...1 с записи на диск. При этом будет записано (при частоте дискретизации 1000 Гц) 500...1000 точек. Повторным нажатием кнопки мыши в поле 2 завершаем запись данных на диск. Величину рабочего давления, контролируемую по манометру 5 (рис. 4.2), необходимо записать в протокол.

17. В окне «Настройка» программного комплекса Gemis Oscilloscope устанавливается следующее по протоколу имя файла (см. п. 13). Осуществляется запуск регистрации сигнала (см. п. 14). Открывая вентиль 3 (см. рис. 4.2), необходимо сравить давление в насосной станции на 20...30%. После этого осуществляется запись сигнала на диск (см. п. 16), и в протокол заносится соответствующая величина давления в насосной станции.

18. Пункт 17 повторяется ещё трижды для третьей, четвёртой и пятой величин давления. При этом пятый замер проводится при атмосферном давлении, для чего открываются оба вентиля 2 и 3 насосной станции.

19. Тумблером 14 (см. рис. 3.1) отключается питание аппаратуры на несущей частоте 4АНЧ-22.

20. Исследуемый датчик отключается от соединительной колодки аппаратуры 4АНЧ-22.

21. Датчик выворачивается из переходника 1 насосной станции (см. рис. 4.2).

Обработка результатов эксперимента проводится на практических занятиях и описана в соответствующих методических указаниях.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ

В данном разделе представлена методика проведения измерений пульсаций давления тензометрическими датчиками (типа ЛХ-412, ЛХ-415) с использованием аппаратуры на несущей частоте 4АНЧ-22. В качестве источника пульсаций давления используется двойной насос НД-25 системы топливопитания авиационного двигателя, состоящий из шнекоцентробежной и шестеренной ступеней, расположенных на одном валу. Привод насоса осуществляется от электродвигателя мощностью 200 кВт.

Порядок проведения измерений.

1. Указанный преподавателем датчик подключается к соединительной коробке аппаратуры на несущей частоте 4АНЧ-22.

2. В протокол замеров пульсаций давления (см. прил. 2) заносятся:

- дата и место проведения испытаний;
- фамилии испытателей;
- место установки датчика;
- тип и номер датчика;
- прибор (в данной лабораторной работе используется аппаратура на несущей частоте 4АНЧ-22, однако в принципе возможно и использование других приборов, например усилителя заряда РШ-2734);
- № канала прибора (это номер канала на соединительной коробке, к которому подключён датчик).

Несколько строк в рассматриваемой таблице протокола обусловлено тем, что возможна одновременная регистрация нескольких сигналов с различных датчиков с использованием многоканального ввода. Однако для упрощения в данной лабораторной работе будет использован одноканальный ввод и, соответственно, в таблице протокола (прил. 2) вторая и третья строки остаются незаполненными.

3. Производится балансировка входной цепи аппаратуры 4АНЧ-22. Для этого необходимо:

- перевести аттенюатор 8 (см. рис. 3.1) используемого канала усилителя в положение «50»;
- переключить тумблер 11 в положение «R,15В»;
- перевести выключатель 17 в положение, соответствующее подключённому каналу.
- проверить и установить положения остальных переключателей в соответствии с табл. 4.1;
- вращением ручек 5 грубой «Гр» и плавной «Пл» активной балансировки установить стрелку встроенного микроамперметра 13 на «0»;
- перевести тумблер 11 в положение «Х»;
- вращением ручки 6 балансировки добиться минимального отклонения стрелки встроенного микроамперметра 13 от «0»;
- повторить балансировку по активной и реактивной составляющим аналогично предыдущим пунктам, переводя переключатель 8 поочерёдно в положения «20», «10», «5», «2», «1», добиваясь в положении «1» отклонения стрелки от «0» не более чем на 1 деление по встроенному микроамперметру 13.

Примечание. Для упрощения балансировочных операций тумблер 11 может находиться в положении «Х» на всех этапах балансировки.

4. Выходы клеммной коробки (соответствующего канала, к которому подключен испытываемый датчик) соединяются кабелем с АЦП. Задействованный канал АЦП записывается в протокол.
5. АЦП двумя кабелями (интерфейсным и кабелем питания) подключается к персональному компьютеру (например, типа Notebook).
6. Производится загрузка операционной системы компьютера.
7. Запускается программа Gemis Oscilloscope.
8. Осуществляется настройка каналов, к которым подключен анализируемый сигнал. Окно настройки каналов программного комплекса Gemis Oscilloscope представлено на рис. 4.3, тут же показано подключение сигнала к 7 каналу АЦП.
9. В табл. 2 прил. 2 в соответствии с числом студентов в подгруппе заполняются номера замеров и соответствующие имена файлов. Каждый файл будет соответствовать своему режиму работы насосного агрегата.
10. В окне «Настройка» программного комплекса Gemis Oscilloscope (см. рис. 4.4):
 - устанавливается период дискретизации. Рекомендуемая величина частоты дискретизации – 10000 Гц. При этом период дискретизации – 100 мкс (или 0,0001 с). Величина периода дискретизации устанавливается в поле 1;
 - щелчком кнопки мыши устанавливается указатель в поле 2 «Запись на диск»;
 - в поле 3 устанавливается рабочая папка;
 - в поле 4 заносится имя файла;
 - щелчком кнопки мыши снимается указатель с поля 2 «Запись на диск». Если не снять указатель с поля 2, запись на диск начнётся одновременно с запуском регистрации сигнала.
11. Переключатели 8 и 9 (см. рис. 3.1) устанавливаются в положения, обеспечивающие максимальное ослабление регистрируемого сигнала: переключатель 8 – «∞», переключатель 9 – «1».
12. Под руководством преподавателя включается оборудование стендового комплекса и устанавливаются заданные частоты вращения ротора насоса, которые заносятся в столбец «Характеристики объекта» табл. 2 прил. 2 (либо в об/мин, либо в процентах).
13. Кнопкой 1 (см. рис. 4.5) осуществляется запуск регистрации сигнала (без его записи на диск компьютера).

14. Переключатель режимов 10 (см. рис. 3.1) переводится в положение «Дин».

15. Переключатели 8 и 9 (см. рис. 3.1) устанавливаются в положения, обеспечивающие максимальное расширение динамического диапазона сигнала. Для этого переключатель 8 последовательно переводится в положения «20», «10», «5», «2», «1», а переключатель 9 – в положения «2», «5», «10». При этом по экрану компьютера контролируется, чтобы регистрируемый сигнал не выходил за допустимые границы ($\pm 5B$). Положения переключателей фиксируются в табл. 2 прил. 2.

16. Нажатием кнопки мыши в поле 2 (см. рис. 4.5) инициируется процесс записи сигнала в файл на жёсткий диск компьютера. С учётом того, что излишний объём данных нецелесообразен, достаточно ≈ 1 с записи на диск. При этом будет записано (при частоте дискретизации 10000 Гц) 10000 точек. Повторным нажатием кнопки мыши в поле 2 завершается запись на диск.

17. В окне «Настройка» программного комплекса Gemis Oscilloscope (см. рис. 4.4) в поле 4 заносится очередное имя файла. Щелчком кнопки мыши снимается указатель с поля 2 «Запись на диск».

18. Переключатели 8 и 9 (см. рис. 3.1) устанавливаются в положения, обеспечивающие максимальное ослабление регистрируемого сигнала: переключатель 8 – «∞», переключатель 9 – «1».

19. Стендовое оборудование переводится на другой режим работы. Новые значения частоты вращения ротора насоса заносятся в соответствующий столбец и строку табл. 2 прил. 2.

20. Кнопкой 1 (см. рис. 4.5) осуществляется запуск регистрации сигнала (без его записи на диск компьютера).

21. Переключатели 8 и 9 (см. рис. 3.1) устанавливаются в положения, обеспечивающие максимальное расширение динамического диапазона сигнала. Для этого переключатель 8 последовательно переводится в положения «20», «10», «5», «2», «1», а переключатель 9 – в положения «2», «5», «10». При этом по экрану компьютера контролируется, чтобы регистрируемый сигнал не выходил за допустимые границы ($\pm 5B$). Положения переключателей регистрируем в табл. 2 прил. 2.

22. Нажатием кнопки мыши в поле 2 (см. рис. 4.5) инициируется процесс записи сигнала в файл на жёсткий диск компьютера. Через 1 – 2 с повторным нажатием кнопки мыши в поле 2 завершается запись данных на диск.

23. Пункты 17 – 22 повторяются в соответствии с числом студентов в подгруппе.
24. Тумблером 14 (см. рис. 3.1) отключается питание аппаратуры на несущей частоте 4АНЧ-22.
25. Под руководством преподавателя отключается питание оборудования стендового комплекса.
26. Отключается питание компьютера.
27. АЦП отсоединяется от компьютера и от клеммной коробки аппаратуры на несущей частоте 4АНЧ-22.
28. Используемый датчик отключается от соединительной колодки аппаратуры 4АНЧ-22.

Рекомендуемый библиографический список

1. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта [и др]; под общ. ред. Т. М. Башты. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: справочник: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1978. – 448 с.
3. Аппаратура тензометрическая на несущей частоте 4АНЧ-22. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

ПРОТОКОЛ ТАРИРОВКИ ДАТЧИКОВ

Дата: _____

Место проведения испытания: _____

Испытатель: _____

Тип датчика: _____

Номер датчика: _____

Канал 4-АНЧ-22: _____

Установки 4-АНЧ-22: _____

Канал _____

АЦП: _____

Рабочее давление, Па					
Имя файла					
Напряжение, В					

Результаты тарировки
при текущих установках 4-АНЧ-22: _____

Результаты тарировки
при установках 4-АНЧ-22: ст. -дин. 1/1: _____

Результаты тарировки
при установках 4-АНЧ-22: дин. 1/1: _____

Ответственный испытатель: _____

ПРОТОКОЛ ЗАМЕРОВ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ

Дата: _____

Место проведения испытания: _____

Испытатель: _____

Объект и его рабочие параметры: _____

Таблица 1

№ параметра	Место установки датчика	Тип датчика	Номер датчика	Прибор	№ канала прибора	№ канала АЦП	Отображение на экране

Таблица 2

№ замера	Имя файла	Установки прибора для измеряемого параметра №1	Установки прибора для измеряемого параметра №2	Установки прибора для измеряемого параметра №3	Характеристики объекта	Примечание (частота дискр., время записи и т.д.)

Ответственный исполнитель: _____

Учебное издание

ИЗМЕРЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ГИДРОСИСТЕМАХ

Методические указания к лабораторной работе

Составители: *Прокофьев Андрей Брониславович*
Шахматов Евгений Владимирович
Шестаков Георгий Валентинович

Редактор Т.И. Кузнецова
Компьютерная верстка О.А. Ананьев

Подписано в печать 28.11.2007 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,25.
Тираж 150 экз. Заказ Арт. С - 28/2007

Самарский государственный аэрокосмический
университет. 443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34.