

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Ускоренные эквивалентные испытания агрегатов  
летательных аппаратов по оценке усталостной прочности**

Электронные методические указания по выполнению  
лабораторной работы

Самара

2010

**Составители: Санчугов Валерий Иванович,  
Показеев Владимир Петрович,  
Решетов Виктор Михайлович,  
Илюхин Владимир Николаевич**

Рассматриваются вопросы ускоренных эквивалентных испытаний гидроагрегатов по оценке усталостной прочности. Изложены методика расчета режимов и анализ принципов работы стендового оборудования для проведения испытаний. Описано оборудование и методика испытаний на режимах резонансного усиления амплитуд циклов нагружения при частотах 100...200 Гц.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Испытания агрегатов и систем» студентами, обучающимися по специальностям 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика», 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», 160302 «Ракетные двигатели», 160901 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», и для магистрантов дневного отделения СГАУ, обучающихся в рамках магистерской программы «Мехатронные пневмогидравлические агрегаты и системы» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов». Они могут быть полезны для инженерно-технического состава производственных и ремонтных предприятий, занимающихся испытаниями гидравлических агрегатов.

Методические указания подготовлены на кафедре автоматических систем энергетических установок.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

## Содержание

<u>Введение</u> .....	4
<u>1. Теоретические основы ускоренных эквивалентных испытаний гидроагрегатов по оценке усталостной прочности</u> .....	5
<u>1.1 Методика расчета режимов испытаний</u> .....	5
<u>1.2 Экспериментальное стендовое оборудование для проведения испытаний</u> .....	12
<u>2. Практические задачи лабораторной работы</u> .....	16
<u>2.1 Описание стендового оборудования лабораторной работы</u> .....	16
<u>2.2 Методические рекомендации по проведению экспериментальной части работы</u> .....	24
<u>2.3 Порядок выполняемой работы</u> .....	25
<u>3. Содержание отчета</u> .....	25
<u>3.1 Вопросы для самопроверки</u> .....	25
<u>3.2 Литература</u> .....	25

**Цель работы:** ознакомление с методами ускоренных эквивалентных испытаний гидроагрегатов на ресурс, изучение методики режимов ускоренных эквивалентных испытаний агрегатов, приобретение практических навыков в проведении испытаний по определению усталостной прочности гидроагрегатов.

### **Введение.**

В связи с ростом ресурса и повышением требований к авиационной технике все большее значение приобретает обеспечение безотказной работы гидравлических агрегатов в течение всего срока эксплуатации летательного аппарата. При этом экспериментальная оценка долговечности и усталостной прочности остается основным средством прогнозирования ресурса, критерием оценки конструктивных решений при создании новых и доводке существующих агрегатов, процессов серийного производства и ремонта агрегатов. И поскольку ресурс современных агрегатов летательных аппаратов исчисляется тысячами часов, то при оценке ресурса используются ускоренные эквивалентные испытания. Такие испытания основываются на теории физического моделирования и обеспечивают воспроизведение конечного технического состояния за более короткое время, чем при нормальных испытаниях на режимах, заданных в технических условиях или технических заданиях.

В настоящее время в авиационной промышленности действует система отраслевых стандартов, регламентирующих методы расчета режимов ускоренных эквивалентных испытаний как отраслевых узлов и деталей, так и гидроагрегатов в целом.

Разработаны методики расчета режимов испытаний гидроагрегатов управления потоком жидкости в гидросистемах [1], насосов [2], рулевых приводов [3] и др. агрегатов. В свою очередь методики агрегатов подразделяются на методики испытаний отдельных элементов, которые испытываются воздействием наиболее опасных действующих на них факторов. Так, например, резиновые уплотнители подвергаются температурным испытаниям с целью определения их работоспособности по старению материала. Электроизоляция также подвергается старению материала и проверяется температурными испытаниями с увеличением напряжения электрического питания и увеличением частоты срабатываний. Подвижные элементы агрегатов, подверженные износу поверхностей, испытываются при больших давлениях, расходах рабочей среды и скоростях перемещений рабочих элементов. Силовые элементы (корпуса агрегатов, соединительная арматура) и металлические уплотнители, подверженные усталостным напряжениям, испытываются воздействием импульсов жидкости.

Последний вид испытаний отличается наибольшей длительностью и трудоемкостью, необходимость проведения их возникает в производстве и ремонте наиболее часто, поэтому они будут рассмотрены в данной лабораторной работе наиболее подробно.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСКОРЕННЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОАГРЕГАТОВ ПО ОЦЕНКЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ.

## 1.1 Методика расчета режимов испытаний.

Исходными данными для выбора и расчета режимов являются заданные в ТУ (ТЗ) нагрузки на элементы, число нагружений и справочные данные для материалов элементов. Кроме того, предполагается, что влияние повышения температуры (до 200 °С) на усталостную прочность стальных элементов конструкции агрегатов мало, базовое число циклов  $N_0$  при расчете на усталость принимается:

$1 \cdot 10^7$  циклов – для стали,

$1 \cdot 10^8$  циклов – для легких сплавов.

Число циклов нагружения при ускоренных испытаниях в случае растяжения, сжатия и изгиба определяется по формуле:

$$N^Y = N^H \cdot K_f \left( \frac{K_t^Y}{K_t^H} \cdot \frac{\sigma_{\text{экв}}^H}{\sigma_{\text{экв}}^Y} \right)^m \quad (1)$$

Число циклов нагружения в случае кручения:

$$N^Y = N^H \cdot K_f \left( \frac{K_t^Y}{K_t^H} \cdot \frac{\tau_{\text{экв}}^H}{\tau_{\text{экв}}^Y} \right)^m \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) обозначено:

$N^Y$  - число циклов нагружения при ускоренных испытаниях,

$N^H$  – число циклов нагружения при нормальных испытаниях,

$K_f$  - коэффициент, характеризующий зависимость скорости накопления усталостных повреждений от изменения частоты циклов нагружения;

$K_t^Y$  – коэффициент характеризующий изменения предела выносливости с изменением температуры при ускоренных испытаниях;

$K_t^H$  - коэффициент характеризующий изменения предела выносливости с изменением температуры при нормальных испытаниях;

$\sigma_{\text{экв}}^H$  – эквивалентное нормальное напряжение при нормальных испытаниях;

$\sigma_{\text{экв}}^Y$  - эквивалентное нормальное напряжение при ускоренных испытаниях;

$\tau_{\text{экв}}^{\text{H}}$  - эквивалентное касательное напряжение при нормальных испытаниях;

$\tau_{\text{экв}}^{\text{Y}}$  - эквивалентное касательное напряжение при ускоренных испытаниях;

$m$  – показатель степени уравнения кривой усталости для материалов силовых элементов (приведен в таблице 1).

Таблица 1.

Материал	Число циклов	Значение показателя степени $m$
Сталь	До $10^8$	6
Алюминиевые сплавы	До $10^6$	4
	Св. $10^6$ до $10^7$	6
	Св. $10^7$ до $10^8$	8

Коэффициент  $K_t$  для стали при нагреве до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  равен 1.

Для легких сплавов значение  $K_t$  приведено в таблице 2.

Таблица 2.

Марка алюминиевого сплава	Значение коэффициента, характеризующего изменение предела выносливости ( $K_t$ ) при температуре					
	$-60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+150\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+175\text{ }^{\circ}\text{C}$	$+200\text{ }^{\circ}\text{C}$
АЛ5	-	1	0,96	0,960	-	0,850
АК4-1	-	1	0,98	0,925	0,900	0,725
АК6	1,07	1	0,93	0,785	-	0,690
Д16Т	1,15	1	0,91	-	0,820	0,730

Д1-Т	-	1	0,96	0,805	-	0,650
МЛ 10	1,25	1	1,00	1,000	1,000	0,860
В95	1,05	1	0,92	0,690	0,650	0,390
АМГ	1,35	1	1,00	0,940	0,875	0,750
АМЦ	-	1	0,82	0,730	0,640	0,590

Коэффициент  $K_f$  при расчетах принимается равным 1.

Общее число циклов нагружения  $N_{\text{общ}}^y$  определяется по формуле

$$N_{\text{общ}}^y = n_{\text{т.ц}} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{\text{уч}}} N_{n,j}^y + n_{\text{т.ц}} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{\text{уч}}} N_{c,j}^y \quad (3)$$

где  $N_{\text{п}}^y$  – число циклов нагружения при ускоренных испытаниях;

$N_{\text{с}}^y$  – число циклов срабатывания при ускоренных испытаниях.

Величины эквивалентных напряжений в опасном сечении элемента определяется по формулам:

$$\sigma_{\text{а экв}} = (K_{\sigma})_{\text{д}} (\sigma_{\text{а}})_{\text{пр}} + \psi_{\sigma} \sigma_{\text{ср}} \quad (4)$$

$$\tau_{\text{а экв}} = (K_{\tau})_{\text{д}} (\tau_{\text{а}})_{\text{пр}} + \psi_{\tau} \tau_{\text{ср}} \quad (5)$$

где  $(K_{\sigma})_{\text{д}}$  и  $(K_{\tau})_{\text{д}}$  - эффективные коэффициенты концентрации напряжения;

$(\sigma_{\text{а}})_{\text{пр}}$  и  $(\tau_{\text{а}})_{\text{пр}}$  - приведенные амплитуды напряжения циклов, кгс/мм<sup>2</sup>;

$\psi_{\sigma}$  и  $\psi_{\tau}$  – коэффициенты, характеризующие чувствительность материала к асимметрии цикла; значения  $\psi_{\sigma}$  и  $\psi_{\tau}$  из материалов стали приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Нормальное напряжение $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Значение коэффициентов $\psi_\sigma$ и $\psi_\tau$ , характеризующих чувствительность материала к асимметрии цикла	
	Растяжение, сжатие, на изгиб, $\psi_\sigma$	Кручение, $\psi_\tau$
От 32 до 50	0	0
Св. 50 до 75	0,05	-
Св. 75 до 105	0,10	0,05
Св. 105 до 125	0,20	0,10
Св. 125 до 145	0,25	0,10

Значения коэффициента  $\psi_\sigma$ , характеризующего чувствительность материала к асимметрии цикла для алюминиевых сплавов, приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Число циклов	$\psi_\sigma$
$10^4$	0,65
$10^5$	0,55
$10^6$	0,45
$10^7$	0,35

Эффективные коэффициенты концентрации напряжения определяются по формулам:

$$(K_\sigma)_D = \frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta}$$

$$(K_{\tau})_D = \frac{K_{\tau}}{\varepsilon_{\tau} \cdot \beta}$$

где  $K_{\sigma}$  и  $K_{\tau}$  – коэффициенты концентрации напряжений в сечении при изгибе, растяжении и кручении;

$\varepsilon_{\sigma}$  и  $\varepsilon_{\tau}$  - коэффициенты влияния абсолютных размеров;

$\beta$  - коэффициент качества обработки поверхности.

Коэффициенты  $K_{\sigma}$ ,  $K_{\tau}$ ,  $\varepsilon_{\sigma}$ ,  $\varepsilon_{\tau}$ ,  $\beta$  определяются по справочникам.

Приведенные амплитуды напряжений цикла определяются по формулам:

$$(\sigma_a)_{пр} = \sigma_a \cdot K_{долг \sigma};$$

$$(\tau_a)_{пр} = \tau_a \cdot K_{долг \tau},$$

где  $\sigma_a$  и  $\tau_a$  - амплитуды нормальных напряжений от наибольшей длительно действующей нагрузки, кгс/мм<sup>2</sup>;

$K_{долг \sigma}$  и  $K_{долг \tau}$  - коэффициенты долговечности по нормальным и касательным напряжениям (используются как коэффициенты приведения режимов нагрузки).

Коэффициенты долговечности определяются по формулам:

$$K_{долг \sigma} = \sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{уч}} \left(\frac{\sigma_{aj}}{\sigma_a}\right)^m \cdot N_j};$$

$$K_{долг \tau} = \sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{уч}} \left(\frac{\tau_{aj}}{\tau_a}\right)^m \cdot N_j}.$$

где  $N_0$  – базовое число циклов;

$N$  – число циклов нагружения.

Величина напряжения цикла нагружения определяется по таблице 5.

Таблица 5

Тип цикла нагружения	Величина среднего напряжения	
	$\sigma_{ср}$	$\tau_{ср}$

Асимметричный	$\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$	$\frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$
Симметричный	0	0
Пульсирующий	$\frac{\sigma_{max}}{2}$	$\frac{\tau_{max}}{2}$

Величина амплитуды нормальных и касательных напряжений от воздействующей нагрузки определяется по таблице 6.

Таблица 6.

Тип цикла нагружения	Величина среднего напряжения	
	$\sigma_a$	$\tau_a$
Асимметричный	$\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$	$\frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$
Симметричный	$\sigma_{max}$	$\tau_{max}$
Пульсирующий	$\frac{\sigma_{max}}{2}$	$\frac{\tau_{max}}{2}$

Время, необходимое для отработки циклов повышения давления, определяется по формуле

$$\tau_n^y = n_{т.ц.} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{yч}} N_{nj}^y \cdot \tau_{nj}^y,$$

где  $\tau_n^y$  - время обработки циклов повышения давлений при ускоренных испытаниях, ч;

$N_n^y$  - число циклов повышения давления при ускоренных испытаниях.

Время, необходимое для отработки циклов сбрасывания, определяется по формуле

$$\tau_c^y = n_{т.ц.} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{yч}} N_{cj}^y \cdot \frac{1}{f_y},$$

где  $\tau_c^y$  - время отработки циклов сбрасывания при ускоренных испытаниях, ч;

$N_c^y$  - число циклов сбрасывания при ускоренных испытаниях;

$f^y$  – частота срабатывания при ускоренных испытаниях, Гц.

Частота срабатывания  $f$  должна приниматься исходя из условия

$$f^y \leq \frac{1}{t_{доп}},$$

где  $t_{доп}$  - время, допускаемое для срабатывания, устанавливается в ТУ на агрегат, с.

Общее время ускоренных испытаний для отработки циклов нагружения определяется по формуле

$$t_{max}^y = t_{п}^y + t_{с}^y,$$

где  $t_{max}^y$  - время испытаний для отработки циклов нагружения, ч.

Полученные режимы циклов нагружения ускоренных испытаний должны удовлетворять следующим условиям:

$$N^y = N_0 \cdot K_f \cdot \left( K_f \cdot \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{в.зкв}^y} \right)^m;$$

$$N^y = N_0 \cdot K_f \cdot \left( K_f \cdot \frac{\tau_{-1}}{\tau_{в.зкв}^y} \right)^m;$$

$$n_n = \frac{\sigma_{в}}{n_{\sigma} \cdot \sigma_{max}} > 1;$$

$$n_n = \frac{0,6 \cdot \sigma_{в}}{n_{\sigma} \cdot \sigma_{max}} > 1,$$

где  $\sigma_{-1}$  и  $\tau_{-1}$  - предел выносливости по нормальным и касательным напряжениям, кгс/мм<sup>2</sup>;

$n_n$  – коэффициент запаса прочности;

$\sigma_{в}$  – предел прочности, кгс/мм<sup>2</sup>;

$n_{\sigma}$  – коэффициент безопасности.

## 1.2. Экспериментальное стендовое оборудование для проведения испытаний.

До недавнего времени методики и оборудование для проведения УЭИ разрабатывались специалистами в области стационарной гидравлики без учета динамических явлений, протекающих в стендовой системе. Совершенствование методов УЭИ шло по пути увеличения амплитуд циклов нагружения, частота проведения не имела особого значения и не превышала 1...3 Гц.

Поэтому на промышленных предприятиях нашли применение стенды, схема которых приведена на рисунке 1.1.

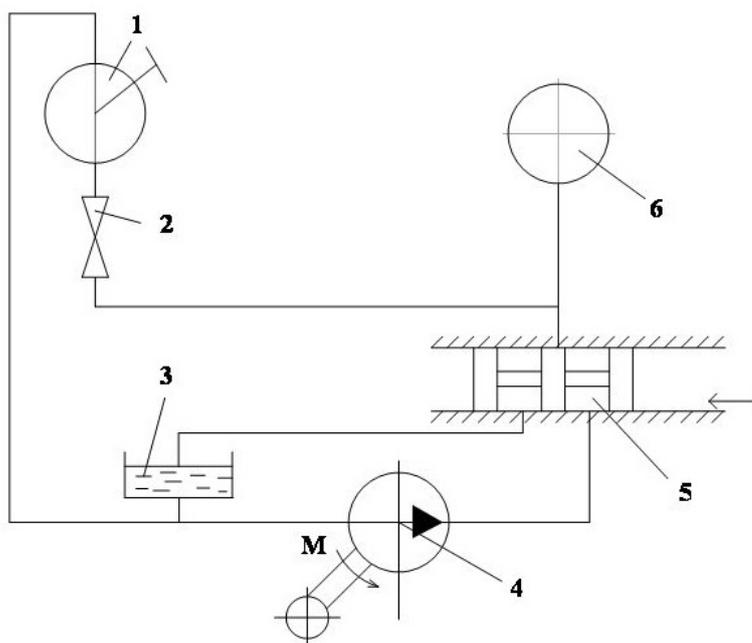


Рис.1.1 Схема стенда с распределителем потока жидкости

1 - ручной насос; 2 - запорный кран; 3 - сливной бак; 4 - насосная станция; 5 - распределитель жидкости; 6 - полость испытуемого агрегата

Такие стенды работают следующим образом. Распределитель 5 поочередно подключает объект испытаний 6 к напорной или сливной гидролиниям. Давление жидкости в полости испытуемого агрегата при этом равно либо давлению за насосной станцией, либо давлению слива. С ростом рабочих давлений в гидросистемах машин, и, следовательно, с ростом амплитуд циклов нагружения, в магистрали за распределителем стали размещать мультипликаторы давления (рис. 1.2.). В этом случае амплитуда циклов повышается, но за счет высокой инерционности мультипликатора частота циклов нагружения не превышает, как правило, 3 Гц.

Известны попытки создания стендов пульсирующего давления с генераторами объемного типа. Методика возбуждения колебаний в таких стендах основана на изменении объема заполненной жидкостью стендовой системы с объектом испытаний (рис. 1.3.). Однако для усталостных испытаний данные стенды не нашли применения из-за недостаточ-

ной надежности конструкции генераторов колебаний и используется в основном, для частотных испытаний при амплитудах давления, достигающих 3,0 – 4,0 МПа.

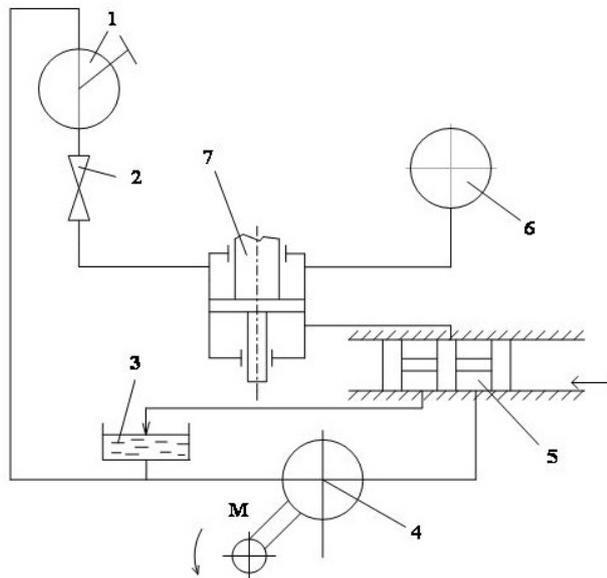


Рис.1.2 Схема стенда с мультипликатором давления

1 - ручной насос; 2 - запорный кран; 3 - сливной бак; 4 - насосная станция; 5 - распределитель жидкости; 6 - полость испытуемого агрегата; 7 – мультипликатор

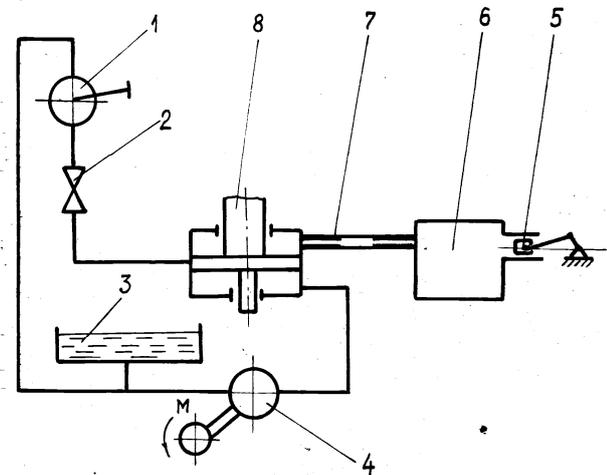


Рис.1.3 Схема стенда с генератором колебаний объемного типа

1 - ручной насос; 2 - запорный кран; 3 - бак для хранения жидкости; 4 - насосная станция; 5 – гидропульсатор; 6 - испытуемая полость; 7 – дроссель; 8 - мультипликатор

Значительно увеличить частоты циклов нагружения до 100...200 Гц позволили исследования динамических процессов в элементах гидравлических систем, выполненные в лаборатории № 1 Самарского аэрокосмического университета (СГАУ).

Эти исследования показали, что для увеличения амплитуд колебаний на высоких частотах могут быть использованы резонансные свойства стендовой системы с объектом испытаний.

В качестве простейшей резонансной системы для возбуждения колебаний может рассматриваться ответвленный резонатор (резонатор Гельмгольца), представляющий собой отрезок трубопроводной магистрали и полость, размещенную на конце магистрали (рис. 1.4). Динамическим аналогом такого резонатора является цепь, состоящая из элементов активного, инерционного и емкостного сопротивлений, соединенных последовательно (рис. 1.5).

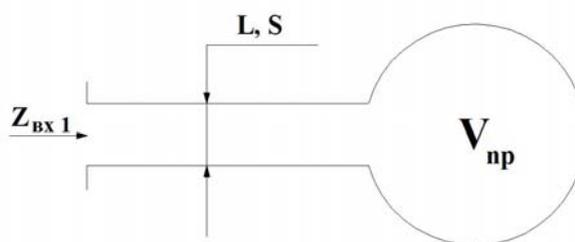


Рис. 1.4 Схема резонатора

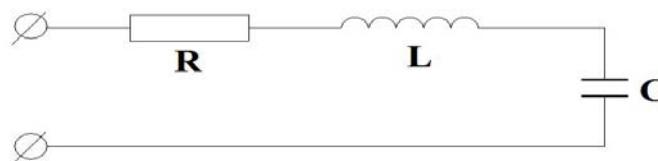


Рис. 1.5 Электрический аналог ответвленного резонатора

В зависимости от размещения резонансного контура в стендовой системе, способа возбуждения колебаний и характеристик используемых гидроустройств может быть реализовано несколько стендовых схем проведения эквивалентных ускоренных испытаний.

В том случае, если для испытания требуется реализация размахов колебаний давления, превышающих 20...25 МПа (для гидроустройств напорных участков гидросистем), может быть рекомендована схема возбуждения, основанная на использовании переходных процессов в резонансной системе. Принцип действия такой схемы заключается в том, что если на входе в резонансный контур подавать ступенчатое возмущение, то в полости испытуемого гидроустройства будет происходить переходный процесс, сопровождающийся затухающими колебаниями давления (рис. 1.6)

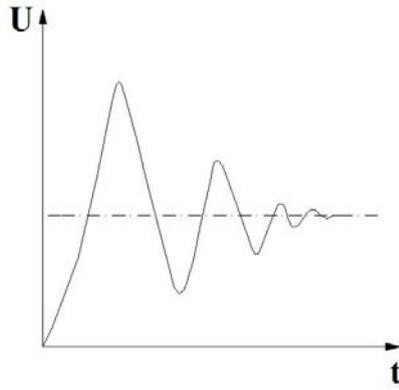


Рис. 1.6 Переходный процесс при ступенчатом возмущении на входе в резонансный контур

Частота этих колебаний определяется собственной частотой контура. Размах затухающих колебаний определяется активными потерями в соединительном канале и с уменьшением потерь увеличивается.

Реализация рассматриваемого процесса в гидравлической системе (рис. 1.7) обеспечивается размещением в соединительном канале (2) резонатора гидравлического двухканального генератора колебаний (3), который периодически сообщает полость агрегата с источником высокого давления жидкости (1) и со сливом (5).

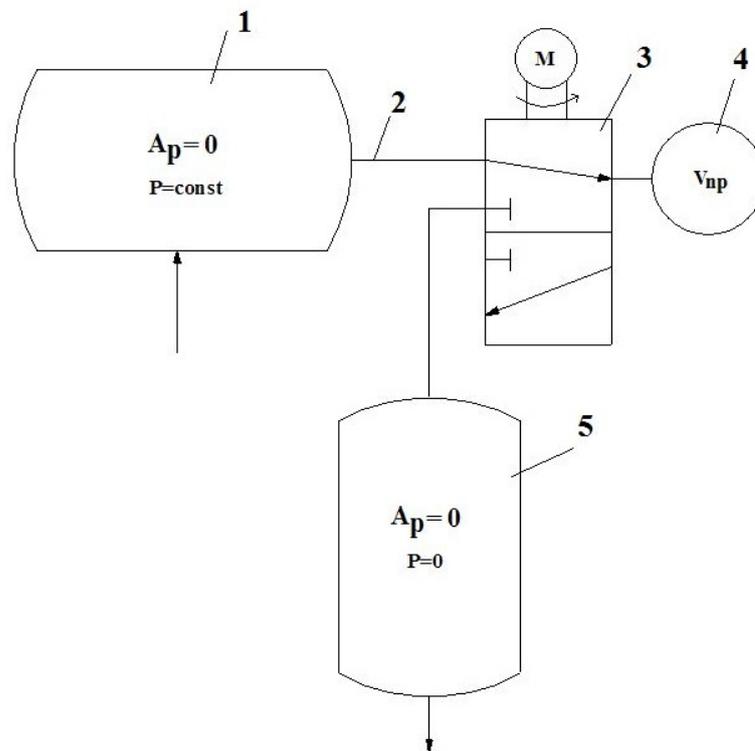


Рис 1.7 Схема возбуждения колебаний давления с двухканальным генератором колебаний

При этом с целью экономии мощности насосной станции, затрачиваемой на испытания, целесообразно сообщение полости агрегата со сливом осуществлять в момент достижения 1-го минимума давления в полости (точка "б" на графике рис.1.8). При этом экономия мощности объясняется тем, что та часть расхода жидкости, которая затрачивается на повышение давления от точки "а" до точки "б" возвращается обратно в напорную часть стеновой системы, уменьшая величину расхода гидролинии слива.

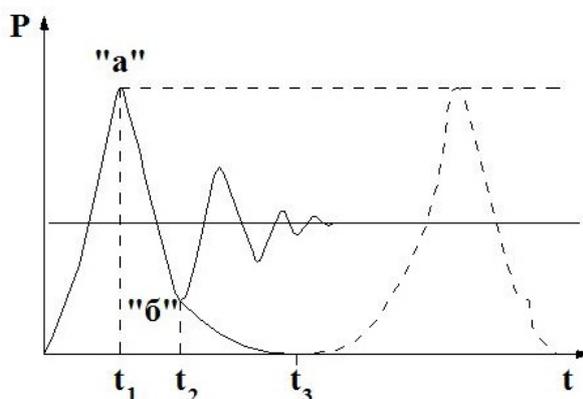


Рис. 1.8 График изменения давления в полости объекта испытаний

После подключения полости агрегата к гидролинии слива, давление в ней падает до уровня, определяемого характеристикой сливной гидролинии. Распределитель переключает гидролинии и процесс повторяется. С целью наиболее полного проявления резонансного усиления колебаний на входе в резонатор, в линии высокого давления, размещается емкость значительных размеров, являющаяся источником постоянного давления, а в гидролинии слива размещается емкость низкого давления, обеспечивающая сглаживание колебаний выходе резонансной системы.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

Проведение экспериментальных работ по определению параметров циклов нагружения агрегата импульсами давления.

Проведение расчета количества циклов нагружения и длительности УЭИ указанно-го преподавателем агрегата.

### 2.1 Описание стенового оборудования в лабораторной работе.

В процессе выполнения работы используются:

- насосная станция (стенд И288.00.000);
- стенд пульсирующего давления СПД-01;

- электрическая система и пульт управления работой генератора колебаний жидкости;
- комплекс контрольно-измерительных и регистрирующих приборов.

### 2.1.1. Насосная станция.

В качестве насосной станции используется стенд И-288.00.000, Самарского авиационного завода «АВИАКОР», предназначенный для испытаний и отработки гидросистем самолета Ту-154. Основные характеристики насосной станции:

Рабочая жидкость масло..... АМГ-10 ГОСТ 6794-53.

Рабочее давление.....  $P_H = 21_{-0,7}^{+1}$  МПа

Давление нулевой производительности.....  $P_0 = 23$  МПа

Расход рабочей жидкости.....  $Q_{max} = 55$  дм<sup>3</sup>/мин

(Регулируется вручную от 15 до 55 дм<sup>3</sup>/мин.)

Допустимая температура масла в системе стенда..... +60 °С

(При температуре более 60 °С стенд автоматически выключается)

Охлаждение масла в системе стенда водой с давлением.....  $P_B = 0,2 \dots 0,5$  МПа

Расход воды.....  $Q_B = 5 \dots 10$  дм<sup>3</sup>/мин

Давление воздуха в колесах стенда..... 0,4 МПа.

Питание стенда переменным током 100 А, напряжением ~380 В.

Питание стенда постоянным током 70 А, напряжением =27 В.

Емкость масла в баке 200л.

Габариты стенда:

Длина- 2500 мм

Ширина- 1600 мм

Высота- 2150 мм

Предохранительные клапана стенда

отрегулированы на давление  $P_{max} = 23$  МПа

Давление в линии слива стенда  $P_{сл} = 0,3$  МПа.

Стенд оборудован системой пожаротушения с ручным включением пирозаряда огнетушителей.

Приборы контроля давления, температуры, управления насосами и электрооборудованием - вынесены на общий выносной пульт управления. На пульте управления расположены кнопки включения основных насосов №1 и №2, тумблеры включения источника напряжения источника =27 В, подкачивающего насоса стенда, системы измерения температуры масла и противопожарной системы.

Бортовые клапана заправки стенда, нагнетательного и сливного трубопроводов, отбор проб масла выведены на дополнительную боковую панель.

Принципиальная гидравлическая схема стенда представлена на рис. 2.1. Стенд работает следующим образом. Масло из бака подкачивающим насосом подается к двум аксиально-плунжерным насосам ГМ-37М. От насосов масло под давлением поступает к трем предохранительным клапанам КП, к крану кольцевания стенда ВН2(1) и через фильтры очистки жидкости Ф1, Ф2(1), Ф2(2) и Ф2(3) и пробоотборник П0 поступает к стенду пульсирующего давления СПД-01. Оработанное масло из стенда через распределитель КР1, пробоотборник П0 поступает обратно в бак. Охлаждение масла осуществляется водяным теплообменником, размещенным в маслобаке.

Контроль параметров потока масла осуществляется манометрами МН1, МН2 и датчиками температуры Т1 и Т2.

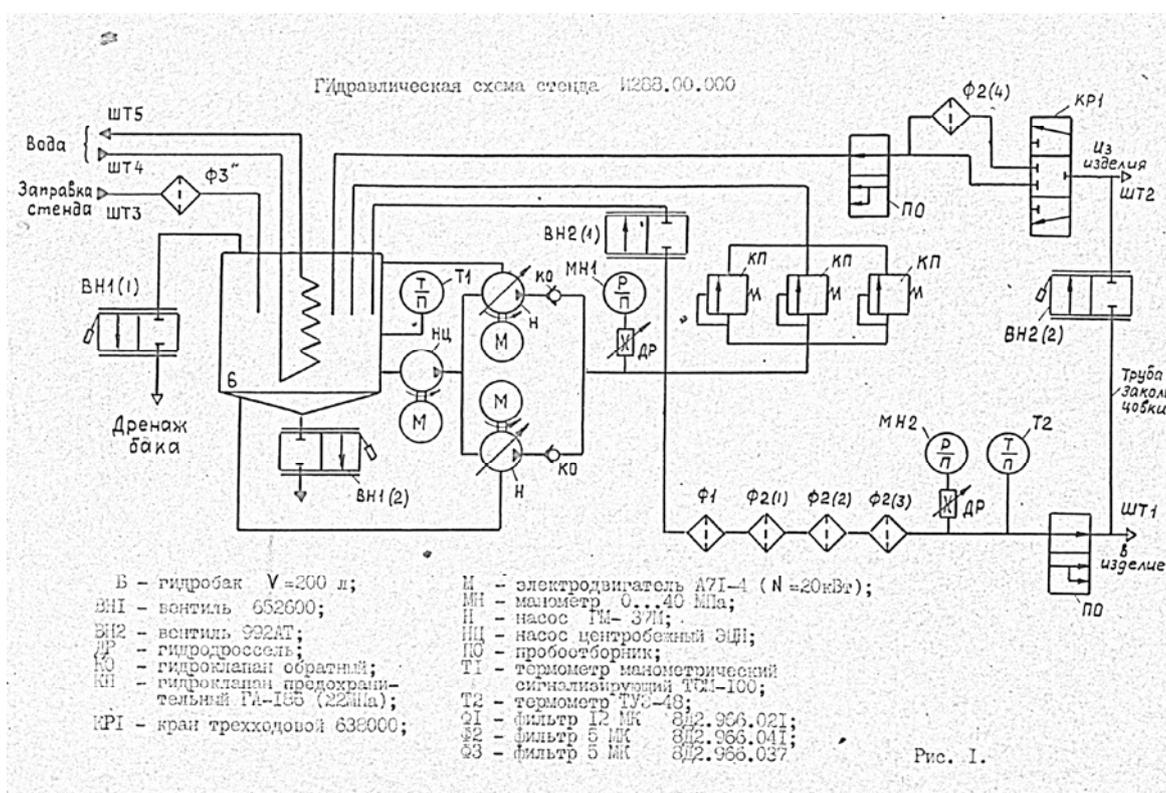


Рис. 2.1 Принципиальная гидравлическая схема стенда И-288

2.1.2. Стенд пульсирующего давления СПД-01 выполнен на раме, сваренной из стального уголка, на котором смонтированы все агрегаты гидравлической системы стенда. Принципиальная схема гидросистемы представлена на рис. 2.2. Стенд состоит из баллонов высокого и низкого давления, генератора колебаний и жидкости с приводом, дроссельных кранов на входе и выходе из стенда, манометров и расходомерного устройства.

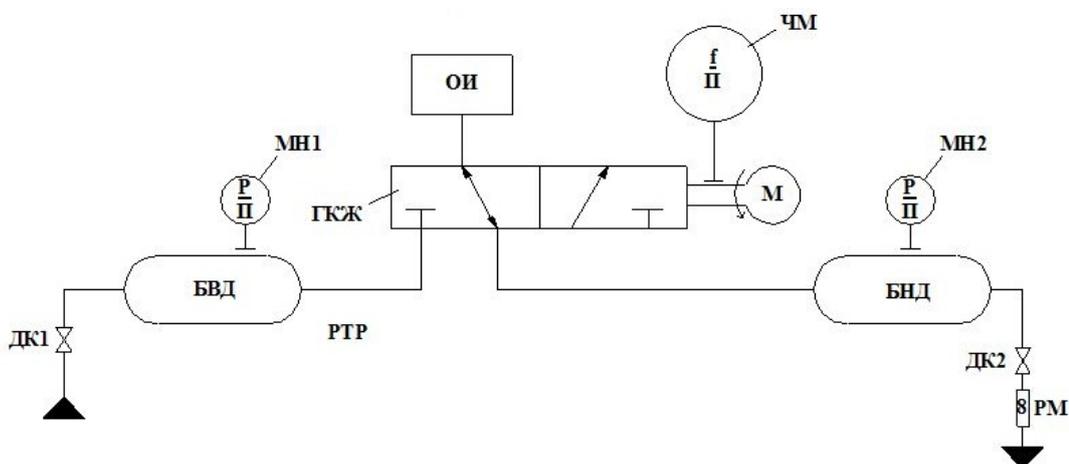


Рис. 2.2 Схема принципиальная гидравлическая стенда пульсирующего давления СПД -01

ДК1, ДК2 – дроссельные краны; БВД, БНД – баллоны высокого и низкого давления; РТР – резонансный трубопровод; ГКЖ- генератор колебаний жидкости с приводом; ОИ – объект испытаний; МН1,МН2 – манометры; ЧМ –частотомер электронно-счетный; РМ- расходомер ТДР-11

Стенд работает следующим образом. Из насосной станции жидкость под давлением через дроссельный кран ДК1 поступает в баллон высокого давления и к генератору колебания жидкости ГКЖ. При включении привода генератора, последний начинает поочередно подключать объект испытания к гидролинии высокого давления и гидролинии слива. При совпадении частоты переключения гидролиний с собственной частотой резонансного трубопровода и объекта испытаний процесс возбуждения колебаний соответствует схеме, описанной в предыдущем разделе.

### 2.1.3. Электрическая система и пульт управления работой генератора колебаний.

Предназначена для регулировки скорости вращения золотникового распределителя генератора колебаний в диапазоне от 1500 до 6000 об/мин и состоит из:

- электродвигателя постоянного тока, в качестве которого используется авиационный преобразователь ПО-3000;
- источника постоянного тока с регулируемым выходным напряжением от 8 до 18 В;
- пульта управления, на котором смонтированы органы управления и контрольно-измерительные приборы.

- частотомера для измерения скорости вращения ротора преобразователя ПО-3000.

Работа электрической системы управления поясняется принципиальной схемой, представленной на рис. 2.3.

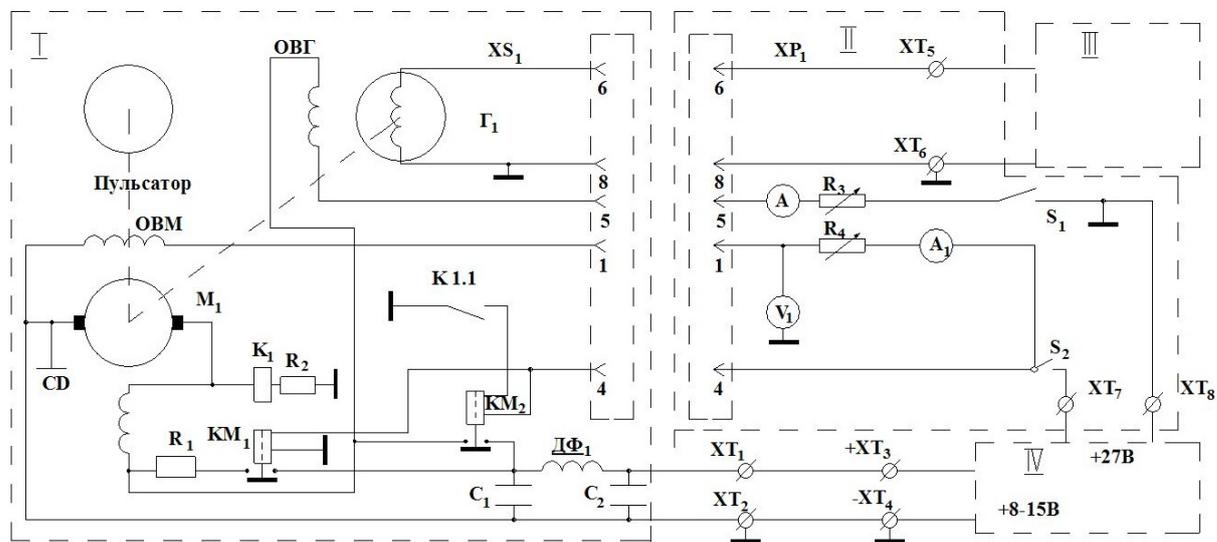


Рис. 2.3 Принципиальная электрическая схема управления генератором колебаний жидкости

1 - генератор колебаний жидкости с преобразователем ПО-3000; 2 – выносной пульт управления; 3 – частотомер; 4 – источник питания.

При включении источника питания постоянное напряжение, регулируемое от 8 до 18 В, подается на клеммы XT1, XT2, а постоянное напряжение +27 В на клеммы XT7, XT8. На пульте управления включаются тумблеры S1 и S2. При включении тумблера S2 срабатывает контактор KM1. Одновременно напряжение +27 В через амперметр A1 и реостат R4 подается на обмотку возбуждения мотора. Реостатом R4 обеспечивается точная и в небольших пределах регулировка тока обмотки возбуждения мотора и, следовательно, скорость вращения мотора. При срабатывании контактора KM напряжение 8...18 В поступает через сопротивление и сериесную обмотку (СО) на якорь мотора M1.

После набора мотором определенных оборотов срабатывает реле K1, которое своими контактами KM1 включает контактор KM2. Контактор KM2 замыкает сопротивление R1, которое служит для ограничения пускового тока двигателя.

При включении тумблера S1 подается напряжение на обмотку возбуждения генератора (ОВГ). При этом напряжение с рабочей обмотки генератора поступает через клеммы XT5 и XT6 к частотомеру для контроля работы привода.

Частота вращения привода регулируется плавным изменением сопротивлений реостатов R3-R4 на пульте управления и ступенчатым изменением напряжения в источнике постоянного тока.

2.1.4. Комплекс контрольно-измерительных и регистрирующих приборов параметров процесса испытаний.

Предназначен для измерения параметров колебаний давления жидкости и работы стенда СПД-01 в процессе проведения испытаний и включает в себя:

- датчики давления ЛХ-412/400
- датчик расхода жидкости ТРД-11
- тензодатчики сопротивления ПКБ-10-200
- тензоусилитель ТОПАЗ
- осциллограф светолучевой Н-115
- частотомер ЧЗ-38.

## Технические характеристики измерительных устройств.

### Датчик давления ЛХ-412/400

Предел измерения $P_{ном}$ .....	40 МПа
Допустимая нагрузка .....	125% $P_{ном}$
Чувствительность при номинальной нагрузке.....	$\Delta R/R = 5,8 \times 10^{-3}$
Частотный диапазон.....	от 0 до 1500 Гц
Основная погрешность датчика не более.....	$\pm 0,8\%$
Напряжение питания.....	$12 \pm 18$

Градуировочная характеристика датчика вместе с усилителем и регистратором определяется перед каждым испытанием.

### Тензодатчики сопротивления ПКБ-10-200

База датчика .....	10 мм
Номинальное сопротивление .....	200 Ом

### Датчик расхода жидкости ТДР-11

Диапазон измеряемых расходов .....	от 0,2 до 1,0 $дм^3/с$
Частота выходного сигнала на максимальном расходе.....	$500 \pm 50$ Гц
Погрешность датчика в диапазоне измеряемых расходов.....	$\pm 0,5\%$
Максимальное рабочее давление.....	40 МПа
Градуированная характеристика датчика	

$$Q = 0,00171 - 0,00199f$$

где  $Q$  [л/с],  $f$  [Гц]

### Тензоусилитель ТОПАЗ – 3

Измеряемые деформации при одном активном тензорезисторе, напряжении питания тензосхемы 9В .....

от  $(0-01) \cdot 10^{-3}$  до  $(0-10) \cdot 10^{-3}$  отн.ед.

Диапазон входных напряжений с применением ослабления.....	от 0-4 до 0-40 мВ
Сопротивление тензорезисторов .....	100-400 Ом

Рекомендуемые параметры гальванометров:

Чувствительность.....	10-500 мм/мА·м
Сопротивление.....	12-60 Ом
Напряжение датчиков.....	9±5% 4,5±10%
Диапазон регистрируемых частот при неравномерности 0; 5 дБ.....	0-700 Гц
Основная приведенная погрешность от нелинейности характеристики при сопротивлении тензорезисторов (200±50) и нагрузке (20±5) Ом.....	не более 2,0
Число измеряемых каналов.....	10 шт.

#### Осциллограф светолучевой Н-115

Число каналов регистрации .....	12
Источники света .....	ртутная лампа ДРШ-100 -2
Скорость протяжки бумаги.....	до 10 м/с.

#### Частотомер 43-38

Диапазон измеряемых частот:

По входу А:

-от 0,1 Гц до 50 МГц (связь по постоянному току);

-от 25 Гц до 50 МГц (связь по переменному току);

По входу Д (с блоком Я 34-45)

-от 50 до 200 МГц

Напряжение входного сигнала:

По входу А

– от 0,1 до 100 В для сигнала синусоидальной формы;

- от 0,3 до 100 в для сигнала импульсной формы.

По входу Д

– от 0,3 до 3 В;

Допустимый уровень высокочастотных помех – не более 5 мВ.

Комплекс контрольно-измерительных и регистрирующих приборов параметров процесса испытаний может быть изменен на аналогичные средства измерения, включая регистрацию на ПК с использованием цифровых систем сбора данных.

## 2.2 Методические рекомендации по проведению экспериментальной части работы.

2.2.1. Проверить правильность монтажа гидравлической системы, затяжку соединений. Провести опрессовку магистралей стенда давлением 10 МПа. Для этого при закрытом кране слива жидкости из стенда СПД-01 и открытом кране кольцевания насосной станции включить насос №1. Постепенно закрывая кран кольцевания увеличить давление до 10 МПа, выдержать в течение 1 минуты. Осмотреть соединения, утечки не допускаются. Открыть кран кольцевания, включить насос.

2.2.2. Подготовить измерительный комплекс, выполнить тарировку измерительных цепей в статических условиях. Для этого включить блоки питания усилителя и осциллографа в сеть 220 В, включить усилитель и осциллограф. Установить луч от гальванометра в 20...30 мм от нижнего края экрана. Включить насос №1, плавно закрывая кран кольцевания насосной станции, установить давление в стенде пульсирующего давления  $P=3,0$  МПа, провести запись давления на фотобумагу. Повторить запись при давлениях 5, 7, 10, 12 МПа. Открыть кран кольцевания, выключить насос.

2.2.3. Произвести предварительную настройку и проверку работы генератора колебаний. Для чего, при закрытом кране слива жидкости из стенда СПД-01, включить насос № 1, установить давление 5 МПа. Включить генератор колебаний, убедиться в нормальной его работе, отсутствии течи жидкости и повышенных вибраций. Установить частоту работы генератора  $f=100$  Гц. Выключить генератор колебаний, открыть кран кольцевания, выключить насос.

2.2.4. Провести измерения параметров циклов нагружения в процессе УЭИ. Включить насос № 1, установить краном кольцевания давление в стенде СПД-01  $P=5$  МПа. При закрытом кране слива жидкости включить генератор колебаний. Плавно открыть кран слива жидкости из стенда пульсирующего давления. Произвести регистрацию процесса колебаний. Плавно изменяя частоту работы генератора согласовать частоту переключений гидролинии с собственной частотой гидравлической стендовой системы «резонансный трубопровод- объект испытаний». При этом произвести 5-ти...6-ти кратную регистрацию параметров колебаний.

Увеличивая давление в стенде пульсирующего давления провести регистрацию процесса при давлениях  $P=5, 6, 7, 8, 9, 10$  МПа.

Открыть кран кольцевания. Закрывать кран слива жидкости из стенда пульсирующего давления СПД-01. После этого выключить привод генератора колебаний жидкости, выключить насосную станцию. После падения давления до нулевого значения провести запись исходного положения луча на осциллографе.

2.2.5. По окончании процесса испытаний выключить измерительные приборы, обесточить насосную станцию и источник постоянного тока. Закрывать вентиль охлаждающей воды. Навести порядок в лаборатории.

### **2.3. Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методами ускоренных эквивалентных испытаний гидроагрегатов по определению усталостной прочности.
2. Ознакомиться с экспериментальным оборудованием, используемым при выполнении работы.
3. Выполнить экспериментальные работы по определению реализуемых при УЭИ параметров циклов нагружения.
4. Выполнить расчеты количества циклов нагружения и длительности УЭИ заданного преподавателем агрегата.
5. Оформить отчет о лабораторной работе.

### **3. Содержание отчета.**

1. Схема стенда пульсирующего давления, методика и результаты экспериментального определения параметров циклов нагружения.
2. Расчеты количества циклов нагружения и длительности УЭИ агрегата.
3. Выводы о сравнительной эффективности УЭИ на повышенных и низких частотах.

### **Вопросы для самопроверки.**

1. За счет чего достигается сокращение длительности современных испытаний гидроагрегатов?
2. Почему испытания называются эквивалентными?  
В чем заключается эквивалентность испытаний?
3. На чем основывается методика расчета режимов УЭИ на усталостную прочность?
4. Почему испытания на малых частотах обладают недостаточной эффективностью?
5. Какова сущность методики испытаний при повышенных частотах циклов нагружения?

### **Литература**

1. ОСТ 1.00228 Методика определения режимов ускоренных эквивалентных испытаний агрегатов управления потоком жидкости в гидросистемах.
2. ОСТ 1.00389 Насосы гидравлические самолетов (вертолетов). Методика определения режимов ускоренных ресурсных испытаний.
3. ОСТ 1.00149 Гидроприводы систем управления летательных аппаратов. Расчет режимов ускоренных испытаний.