

С 3486

A-64

+

4602/46



АНАНЬЕВ В.Д. и др.

БИ-13-10099

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 1-13-10099

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 46

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейтронной физики

В.Д.Ананьев, Б.Н.Бунин, Л.В.Едунов,
А.Ф.Зацепин, С.В.Зинкевич, В.К.Титков

БТ-13-10099

РАБОТА ПОДВИЖНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ ПРИ
ВНЕЗАПНОЙ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ КОЖУХА



Дубна, 1976 г.

Оглавление

	стр.
Введение	1
I. Организация, методика и цели проведения экспериментов	1
I.1. Моделирование аварийной ситуации	1
I.2. Исследуемые параметры. Организация замеров	2
I.3. Методика проведения экспериментов	4
I.4. Изоляция полости круглого кожуха	4
I.5. Программа проведения испытаний. Цели и задачи запланированных экспериментов	
2. Обсуждение результатов	5
2.1. Эксперименты с наличием гелиевого резервуара (при сообщающихся полостях круглого и прямоугольного кожухов)	5
2.2. Эксперименты с использованием разделительного устройства (круглый кожух ПО изолирован)	8
3. Выводы	13
Литература	15

Введение

Одной из наиболее ответственных деталей кожуха подвижного отражателя (ПО) реактора ИБР-2 /I/ является мембрана, представляющая собой стальной лист толщиной 2 мм, на которую оказывают воздействие тепловое и радиационное излучения активной зоны, с одной стороны, и газодинамические удары от лопасти ОПО, с другой. Поэтому в процессе работы ПО не исключена возможность разрушения мембраны. При этом, поскольку в области мембраны давление гелия выше атмосферного (за счет центробежного сжатия вращающегося потока газа), начальная скорость утечки гелия будет велика. Поскольку после прохождения лопасти ОПО, вращающейся с частотой 50 гц, возле образовавшегося отверстия за её задней кромкой будет создаваться мгновенное разрежение, процесс утечки гелия будет сопровождаться проникновением окружающего воздуха в полость кожуха. Это приведёт к изменению плотности газа в ней, что может вызвать недопустимые осевые смещения лопастей ОПО и ДПО относительно активной зоны.

Исследованию такой аварийной ситуации были посвящены два цикла экспериментов, проведенных на макете ПО ЛНФ в 1974 + 1975 гг.

I. Организация, методика и цели проведения экспериментов

I.1. Моделирование аварийной ситуации.

Для имитации разгерметизации гелиевого кожуха было спроектировано специальное приспособление (рис. I), представляющее собой клапанное устройство с электромагнитным приводом, служащим для быстрого открывания клапана. Устройство для имитации разгерметизации

(УР) позволяло плавно регулировать величину зазора клапана относительно седла, т.е. менять проходное сечение для гелия. Приспособление было смонтировано на специальной плите, установленной на кожухе ПО вместо мембраны, как показано на рис.2. Закрытие клапана осуществлялось дистанционно вручную.

1.2. Исследуемые параметры. Организация замеров.

Для количественной оценки аварии измерялись следующие параметры:

- а) осевые положения лопастей ОПО и ДПО относительно емкостных датчиков;
- б) вибрации конструктивных элементов ПО,
- в) концентрация гелия,
- г) полные и статические давления в потоке гелия в различных точках полости кожуха,
- д) разрежение газа в полости подшипниковых опор.

В качестве основного параметра, характеризующего последствия разгерметизации, фиксировались осевые перемещения лопастей относительно воображаемой активной зоны. Измерения производились двумя емкостными датчиками, установленными на кожухе ПО, как показано на рис.2 (т.т. г, д, е). Сигналы от датчиков записывались на анализатор **ДЖДАС** в хронологической последовательности. Одновременно с включением электромагнитного клапана УР на анализатор подавался сигнал, служащий точкой отсчета времени. Вибрации конструктивных элементов измерялись тремя вибродатчиками, установленными на передней опоре вертикально и горизонтально и на кожухе со стороны ОПО (см. т.т. а, б, в на рис.2). Показания вибродатчиков

и временные отметки выводились на шлейфовый осциллограф. Концентрация гелия в кожухе ПО измерялась газоанализатором.

Для того, чтобы лучше понять процессы, протекающие в гелиевом кожухе в момент разгерметизации, программой испытаний было предусмотрено измерение давлений газа в различных точках кожуха (см. рис. 3). При этом особое внимание уделялось измерениям перепада статических давлений газа $\Delta P_{ст} = P_{ст2} - P_{ст1}$ между периферийной (т. 2) и центральной (т. 1) областями кожуха, полный напор ($P_{пц}$, т. 3) и радиальное давление (P_{rc} т. 4) газа на цилиндрическую стенку кожуха, а также направление (угол скоса) потока (P_y т. 5). В качестве приёмников давления использовались трубки Пито, угломерные насадки и трубки статического давления. Измерения производились дифференциальными манометрами и электрическими датчиками МРД-16 с записью показаний на шлейфовый осциллограф.

Одним из наиболее важных измеряемых параметров было разрежение в подшипниках опор роторов ОПО и ДПО. ОПО и ДПО "раскручивают" гелий до больших скоростей. При этом за счет центробежных сил на периферии кожуха создается избыточное давление, а в области, прилегающей к оси вращения, напротив, создается разрежение. Естественно предположить, что в момент разгерметизации давление на периферии будет стремиться упасть до атмосферного, в то время как у оси разрежение должно возрасти на величину, сравнимую с перепадом давлений между гелием на периферии кожуха до разгерметизации и окружающим воздухом. Поскольку импульсы давления распространяются практически мгновенно, разрежение в подшипниках может служить эффективным индикатором нарушения герметичности. Разрежение в опорах ОПО и в одной из опор ДПО (ближней к дискам) измерялись дифференциальными манометрами и датчиком МРД-13.

1.3. Методика проведения экспериментов

Перед началом замеров в кожухе устанавливалась требуемая исходная концентрация гелия ($\geq 94\%$). Ротор ОПО раскручивался до номинальных оборотов и в течение некоторого времени работал в стационарном режиме, в ходе которого измерялись и записывались осевые колебания лопастей роторов ПО, вибрации конструктивных элементов, давления в кожухе, разрежение в опорах и технологические параметры. Затем, одновременно с подачей на анализатор временной отметки, с пульта включался клапан УР. В процессе разгерметизации, наряду с падением концентрации гелия, фиксировалось изменение всех перечисленных выше параметров. Через заранее установленный промежуток времени клапан УР закрывался, после чего продолжалась запись исследуемых параметров. По окончании замера производился наддув гелия в кожух до номинальной концентрации и устанавливалась требуемая для нового эксперимента величина проходного сечения клапана УР. Числовые данные, накопленные в анализаторе, выводились на цифровую печать и обрабатывались.

1.4. Изоляция полости круглого кожуха

Как известно, конструкция макета подвижного отражателя существенно отличается от рабочего варианта ПО. В частности, макет ПО имеет кожух в форме параллелепипеда, закрывающий редуктор и сообщающийся с полостью круглого кожуха, в котором размещаются диски ОПО и ДПО (см. рис. 2). Подпитка этих двух полостей гелием

из газгольдера осуществляется одновременно. Таким образом, в отличие от штатной машины, макет ПО имеет гелиевый резервуар большого объема (порядка 6 м^3). При такой конструкции макета реальную аварийную ситуацию после нарушения герметичности воспроизвести нельзя, т.к. после разрыва мембраны гелий будет поступать в круглый кожух через зазор между диском ДПО и корпусом прямоугольного кожуха.

Чтобы приблизить условия проведения испытаний макета к натурным, полости кожухов "А" и "Б" были разделены специальным устройством (см. рис. 2).

2. Обсуждение результатов

2.1. Эксперименты при сообщающихся полостях круглого и прямоугольного кожухов

В ходе предварительных замеров, проведенных в режиме 50 Гц при малых проходных сечениях клапана УР, заметных изменений в динамике ротора ОПО не произошло. Впервые заметное увеличение амплитуды осевых перемещений ОПО было отмечено в замере I.50.I.ОПО ж) при проходном сечении 40 см^2 и времени задержки клапана УР в открытом состоянии 10 сек (рис. 4). Максимальная амплитуда быстрых смещений

ж)

Цифры и буквы в индексе графика обозначают следующее: "I" - эксперименты с "открытой" полостью кожуха ПО; ("2" - с изолированной), "50" - режим 50 герц; "I" - номер замера, ОПО - исследуемый объект.

ОПО достигла 0,1 мм, что в 5 раз превысило максимальную амплитуду колебаний лопасти до срабатывания клапана. После закрытия клапана сильные биения сохраняются, не увеличиваясь по амплитуде.

Замер с проходным сечением 40 см^2 был проведён вторично с почти полным соблюдением начальных условий, кроме температуры гелия, которая в первом случае равнялась 70°C , а во втором - 55°C . На этот раз заметного увеличения колебаний не произошло (см. график I.50.2.ОПО на рис. 4). То же повторилось и после увеличения сечения до 45 см^2 . Можно отметить лишь незначительное приближение ротора ОПО к датчику (см. график I.50.3.ОПО).

В дальнейшем сечение было увеличено до 80 см^2 . Даже при таком зазоре клапана в двух замерах, в ходе которых клапан открывался на 5 (I.50.4.ОПО) и 10 (I.50.5.ОПО) секунд, "раскачки" ротора не наблюдалось. Только когда клапан открыли на 25 с, с 15-ой секунды с момента открытия началось быстрое усиление вибраций как лопасти ОПО (график I.50.6.ОПО на рис. 4), так и неподвижных конструктивных элементов ПО (см. виброграммы на рис. 5). При этом увеличение вибраций конструктивных элементов происходило синхронно и пропорционально увеличению амплитуды колебаний лопасти ОПО.

По итогам замеров, проведенных в режиме 50 гц, проходное сечение клапана УР было выбрано равным 80 см^2 , а время задержки клапана в открытом состоянии - 10 с, что намного превышает время срабатывания аварийной защиты.

В режимах 5 и 10 гц при выбранных параметрах открытия клапана быстрых эффективных (влияющих на изменение мощности реактора) смещений лопастей не наблюдалось, несмотря на значительное

падение концентрации гелия. Следует отметить лишь медленное изменение положений роторов ОПО и ДПО. При этом оба ротора сдвигались в стороны соответствующих датчиков, т.е. в разные стороны друг относительно друга за счет усиления взаимных газодинамических ударов лопастей ОПО и ДПО по мере возрастания плотности газа в кожухе в процессе разгерметизации. Максимальное приближение ротора ОПО к датчику составило за 25 сек 0,03 мм, а более легкого ротора ДПО - 0,12 мм.

В режиме 25 Гц разгерметизация существенно меняет картину колебаний отражателей. Колебания ОПО становятся стабильными по частоте (см. графики I.25.1.ОПО и I.25.2.ОПО на рис. 6) при некотором увеличении амплитуды (до 0,1 мм). Но разброс эффективных колебаний ОПО, отмеченных крупными точками, напротив, уменьшился.

Амплитуда колебаний ДПО в этом режиме уже через 1 с с момента начала разгерметизации уменьшается в 4 раза, что, по-видимому, объясняется "сдвигом" резонансной частоты колебаний ДПО, характерной для режима 25 Гц, в результате изменения плотности газа в кожухе. Таким образом, внезапная разгерметизация в режиме 25 герц не только не приводит к аварийной ситуации, но и уменьшает дисперсию колебаний лопастей ОПО и ДПО, непосредственно влияющих на реактивность реактора.

При проведении первого цикла экспериментов было отмечено, что газоанализатор реагирует на изменение концентрации гелия с большим опозданием (порядка 20 ± 25 с). В то же время дифференциальные манометры, контролирующие разрежение в опорах, уже спустя 1-2 секунды после срабатывания клапана начинали показывать большие

перепады давления. При этом манометры "чувствовали" как увеличение проходного сечения, так и время задержки клапана в открытом состоянии, зависимость разрежения в опорах от зазора и времени открытия клапана в режиме 50 герц представлена в табл. I.

2.2. Эксперименты с использованием разделительного устройства (круглый кожух ПО изолирован)

Во втором цикле экспериментов, параллельно с измерением осевых колебаний роторов до и после разгерметизации, измерялись давления в гелиевом потоке. Большинство параметров фиксировалось дифференциальными манометрами, а наиболее важные из них - электрическими датчиками и выводились на шлейфовый осциллограф. Кроме того, на осциллограф записывалось изменение разрежения в подшипниках передней опоры ОПО.

Первоначально измерения были проведены в режиме 50 герц. При величине проходного сечения 35 см^2 и времени раскрытия клапана 10 сек, концентрация гелия снизилась лишь на 1,5% и никаких изменений в поведении ротора ОПО не произошло (см. график 2.50.1. ОПО на рис. 7). Разрежение в подшипниках увеличилось на 180 мм (передняя опора ОПО) и 120 мм (опоры ОПО и ДПО в прямоугольном кожухе). Четыре последующих замера (2.50.2.ОПО + 2.50.5.ОПО) были проведены при проходном сечении 50 см^2 (время задержки клапана в открытом состоянии было принято постоянным - 10 с). При таком сечении во всех замерах зафиксирована "раскачка" ОПО. Во втором

замере (2.50.2.0ПО) возбуждение было слабым, ротор ОПО лишь сдвинулся за 6 сек на 0,04 мм. В третьем замере (2.50.3.0ПО) быстрые колебания лопасти ОПО достигли 0,03 мм, в четвертом - 0,075, а в пятом - 0,055 мм. Характерно, что при больших исходных амплитудах колебаний лопасти (замер 2.50.4.0ПО) "раскачки" ОПО происходит гораздо быстрее и со значительным увеличением амплитуды, что было отмечено и на первом этапе испытаний (сравним замеры I.50.I.0ПО и I.50.2.0ПО на рис. 4).

Изоляция гелиевой полости сказалась на поведении ротора ОПО и на процессах, сопровождающих разгерметизацию. Так, возбуждение ротора наступает при меньшей (50 против 80 см²) величине проходного сечения клапана УР и более чем двукратном уменьшении времени задержки клапана УР в открытом состоянии. Если эти два параметра (сечение раскрытия и время задержки клапана), определяющие потери гелия из кожуха, считать критериями оценки аварийной ситуации, можно сказать, что изоляция кожуха приводит к увеличению интенсивности различных возмущений в 4 + 5 раз. Это подтверждается и измерениями разрежения в передней опоре ОПО, которое существенно повысилось по сравнению с первым этапом испытаний и вышло за пределы чувствительности дифференциального манометра (800 мм вод.ст.).

На рис. 8 показано поведение лопасти ОПО в режиме 5 гц.

На графики нанесены лишь эффективные положения лопасти относительно датчика. Замеры продемонстрировали идентичность реакции ОПО на возмущение от разгерметизации. В обоих случаях (2.5.I.0ПО и 2.5.2.0ПО) ОПО быстро (в пределах 0,4 с, т.е. примерно во время 2-го импульса мощности после момента разгерметизации) смещается к

активной зоне. Но величина этого смещения мала и в обоих случаях не превышает 0,02 мм. В дальнейшем, по мере возрастания плотности газа в кожухе, ротор ОПО медленно движется к активной зоне (за 25 секунд приблизительно на 0,25 мм). В пределах 35 сек ни разу не отмечено недопустимых или даже близких к пределу средних быстрых осевых смещений (0,05 мм). Несмотря на то, что во втором замере перемещение ОПО вызвало срабатывание аварийного щупа (этот момент отмечен звездочкой), ничего страшного с точки зрения ядерной безопасности здесь нет, т.к. произошло это лишь на 32-ой секунде с момента начала разгерметизации и вызвано не резкими перемещениями лопасти ОПО, а медленным приближением ротора к "активной зоне".

Дополнительный отражатель в ходе двух замеров (2.5.1.Д и 2.5.2.Д на рис. 9) тоже "продемонстрировал" подобные картины динамики лопасти. В течение первых 5-ти секунд ДПО сдвинулся в сторону активной зоны, увлекаемый потоком гелия из кожуха, а затем, по мере возрастания плотности газа на периферии (за счет попадания воздуха в кожух), начал под воздействием газодинамических ударов двигаться в обратную сторону. Несмотря на увеличение амплитуды быстрых осевых смещений лопасти ДПО, её величина осталась в необходимых пределах даже до 50-ой секунды, не превышая 0,12 мм (допуск - 0,15 мм).

В режиме 10 герц увеличения разброса эффективных положений лопасти ОПО относительно датчика не наблюдается (см. графики 2.10.1.ОПО и 2.10.2.ОПО на рис. 10). Реакция ОПО на возмущение от разгерметизации становится заметной через 1+2 секунды с момента аварии и проявляется в медленном перемещении ротора к активной

зоне, не "посягающем" на безопасность реактора. Быстрые (от импульса к импульсу) эффективные смещения лопасти после разгерметизации не увеличивались и за время замера не превысили 0,03 мм.

ДПО, как и ОПО, демонстрирует постоянство своего поведения после разгерметизации кожуха. Особенно явно это проявляется в режиме 10 гц (рис. II). В обоих замерах примерно через 2 секунды ротор ДПО начинал двигаться к датчику ("от зоны"), на 8-ой секунде доходил до определенного предела и затем перемещался обратно. При этом заметно нарушение частоты быстрых осевых смещений лопасти ДПО и уменьшение их амплитуды, максимальное значение которой ограничилось величиной 0,1 мм.

В режиме 25 гц (график 2.25.1.ОПО на рис. 10) ОПО среагировал на разгерметизацию довольно быстро (приблизительно через 0,1 с), но амплитуда быстрых эффективных смещений лопасти уменьшилась в 2-3 раза. Это можно объяснить с помощью графика 2.25.1.*^ж) ОПО на рис. 12, на котором зафиксированы все (и эффективные, и холостые) положения лопасти ОПО, в отличие от графика того же замера на рис. 10. Оказывается, что разгерметизация в режиме 25 гц изменяет частоту колебаний лопасти ОПО, которая становится в точности равной 75 гц. При такой частоте колебаний каждое последующее положение ОПО в момент прохождения около датчика находится в противофазе относительно предыдущего, поскольку частота регистрации датчиком положений лопасти ОПО равна 50 гц. Вследствие этого, несмотря на возрастание амплитуды колебаний лопасти после разгерметизации, амплитуда "эффективных" положений лопасти (соответствующие точки на рис. 12 выделены и соединены пунктиром) уменьшается, т.к. все эти точки находятся в одной фазе.

То же самое, правда, в меньшей степени, относится к колебаниям ОПО на других режимах (см. графики 2.5.1.*ОПО и 2.10.1.*ОПО и сравните их с рассмотренными ранее графиками 2.5.1.ОПО, рис. 8 и 2.10.1.ОПО, рис. 10. Осевые перемещения лопасти ОПО в момент импульсов мощности (эффективные смещения) ограничиваются односторонними газодинамическими взаимодействиями с лопастью ДПО, которая в момент импульса мощности реактора совмещается с ОПО в районе активной зоны и отклоняет его в одну и ту же сторону.

Удовлетворительной картины колебаний лопасти ДПО в режиме 25 гц в процессе разгерметизации получить не удалось из-за того, что верхний предел колебаний частично вышел за пределы чувствительности емкостного датчика. Но полученные данные позволяют утверждать, что картина колебаний идентична полученной ранее без использования разделительного устройства (графики 1.25.1.Д и 1.25.2.Д на рис. 6).

Измерение давлений газа в различных точках кожуха в процессе разгерметизации показало, как и следовало ожидать, четкую взаимосвязь всех динамических процессов, протекающих в подвижном отражателе. На рис. 13 хронологически совмещены эскизы различных осциллограмм, на которых записаны качественные картины изменения следующих параметров:

- давление в подшипниках передней опоры ($P_{ПО}$),
- положения лопасти ОПО относительно датчика ($X_{ОПО}$),
- перепад статических давлений между периферийной и центральной точками кожуха $\Delta P_{ст}$,
- радиальное давление газа на цилиндрическую стенку кожуха P_{rc} .

Из рисунка видно, что давление в подшипниках резко падает (что соответствует увеличению разрежения) почти одновременно с моментом открытия клапана. За счет проникновения воздуха в кожух через образовавшееся отверстие перепад статических давлений смеси газов в кожухе постепенно возрастает. Параллельно с этим процессом, в зависимости от его интенсивности, начинается "раскачка" лопасти ротора ОПО, что, в свою очередь, влечёт за собой усиление вибраций конструктивных элементов ПО. Давление газа на цилиндрическую стенку кожуха сначала быстро падает, затем медленно увеличивается, по мере возрастания плотности газа на периферии кожуха.

3. В ы в о д ы

1. При разгерметизации гелиевого кожуха ПО значительных быстрых осевых смещений роторов зафиксировано не было.

2. В случае увеличения амплитуды колебаний лопастей ОПО и ДПО, этот процесс происходит постепенно, начиная, самое раннее, через секунду с момента разгерметизации, т.е. за время достаточное для срабатывания аварийной защиты. При этом разброс эффективных положений лопасти ОПО на всех режимах, кроме 50 гц, не увеличивается.

3. При больших исходных колебаниях лопастей ОПО и ДПО возбуждение роторов вследствие разгерметизации происходит значительно быстрее, чем при малых.

4. Газоанализатор, измеряющий концентрацию гелия, не может служить звеном аварийной защиты, т.к. реагирует на изменение концентрации гелия через 20 ± 25 сек с момента аварии.

5. Аварийное отключение ОПО вследствие разгерметизации следует производить по изменению разрежения в подшипниках на величину порядка 50 ± 100 мм водяного столба, учитывая, что время реакции разрежения на аварию не превышает величину 0,2 сек.

С.С.С.
В.М.С.
А.С.
В.С.

Литература

1. В.Д.Ананьев и др. "Особенности конструкции и оптимизация модулятора реактивности реактора ИБР-2", "Атомная энергия", 1971 г., т. 31, вып. 4.

Т а б л и ц а I

Зависимость разрежения в опорах ПО в мм вод.ст. от зазора клапана УР (δ) и времени задержки клапана (ΔT) в режиме 50 герц

δ [мм]	0/0	4,5/10	7/10	12/10	14/10	25/7,5	25/15	25/25
ΔT [сек]								
Подшипники передней опоры ОПО	70	410	450	520	520	480	580	650
Подшипники ДПО	10	390	410	440	440	410	490	530
Подшипники задней опоры ОПО	20	370	390	430	430	390	450	520

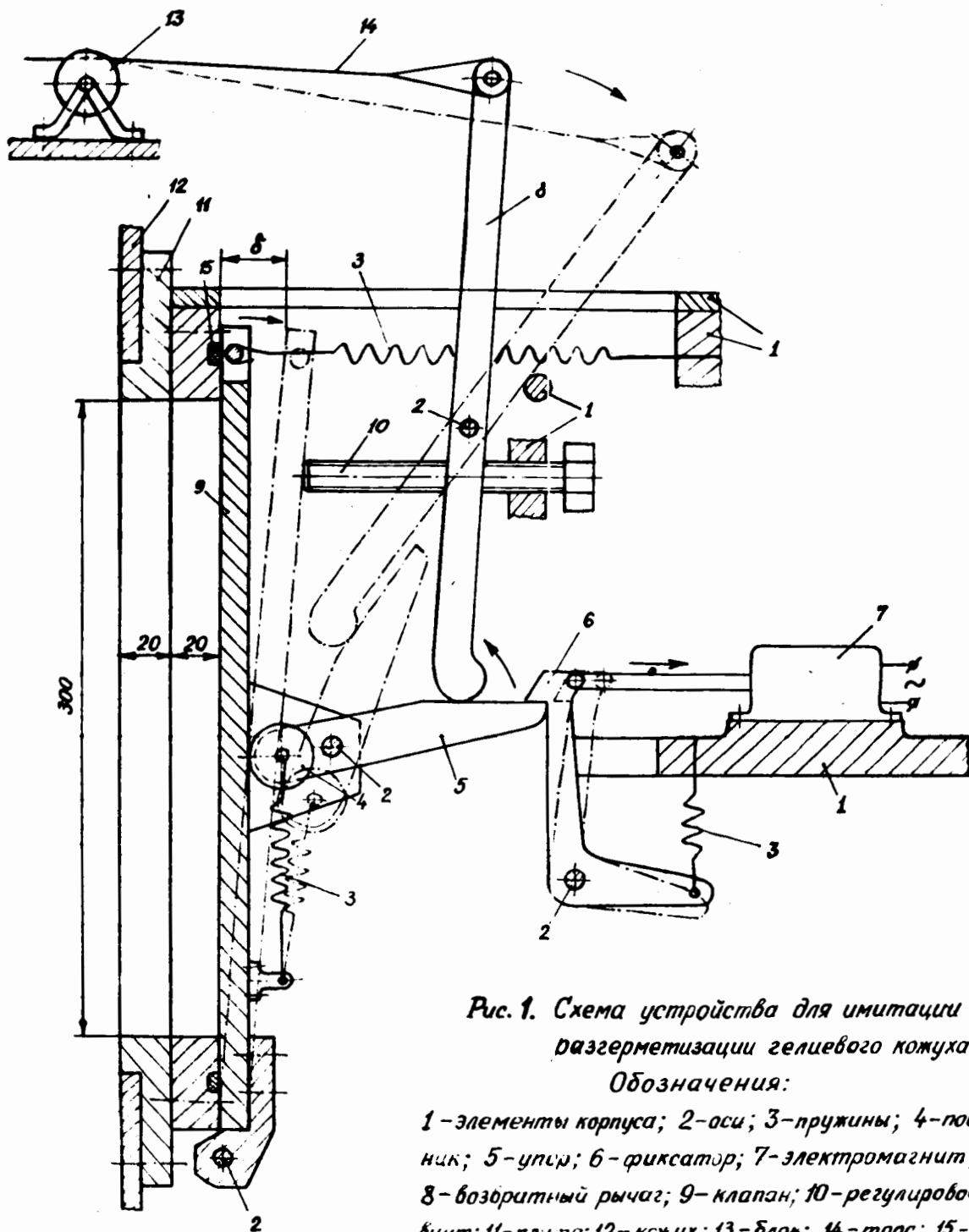


Рис. 1. Схема устройства для имитации разгерметизации гелиевого кожуха.

Обозначения:

- 1-элементы корпуса; 2-оси; 3-пружины; 4-подшипник; 5-упир; 6-фиксатор; 7-электромагнит; 8-возвратный рычаг; 9-клапан; 10-регулирующий винт; 11-пл.па; 12-кожух; 13-блок; 14-трос; 15-уплотнение.

(Стрелками указаны направления перемещения механических элементов устройства после включения электромагнита. Штрих-пунктиром обозначены конечные положения подвижных элементов после открытия клапана).

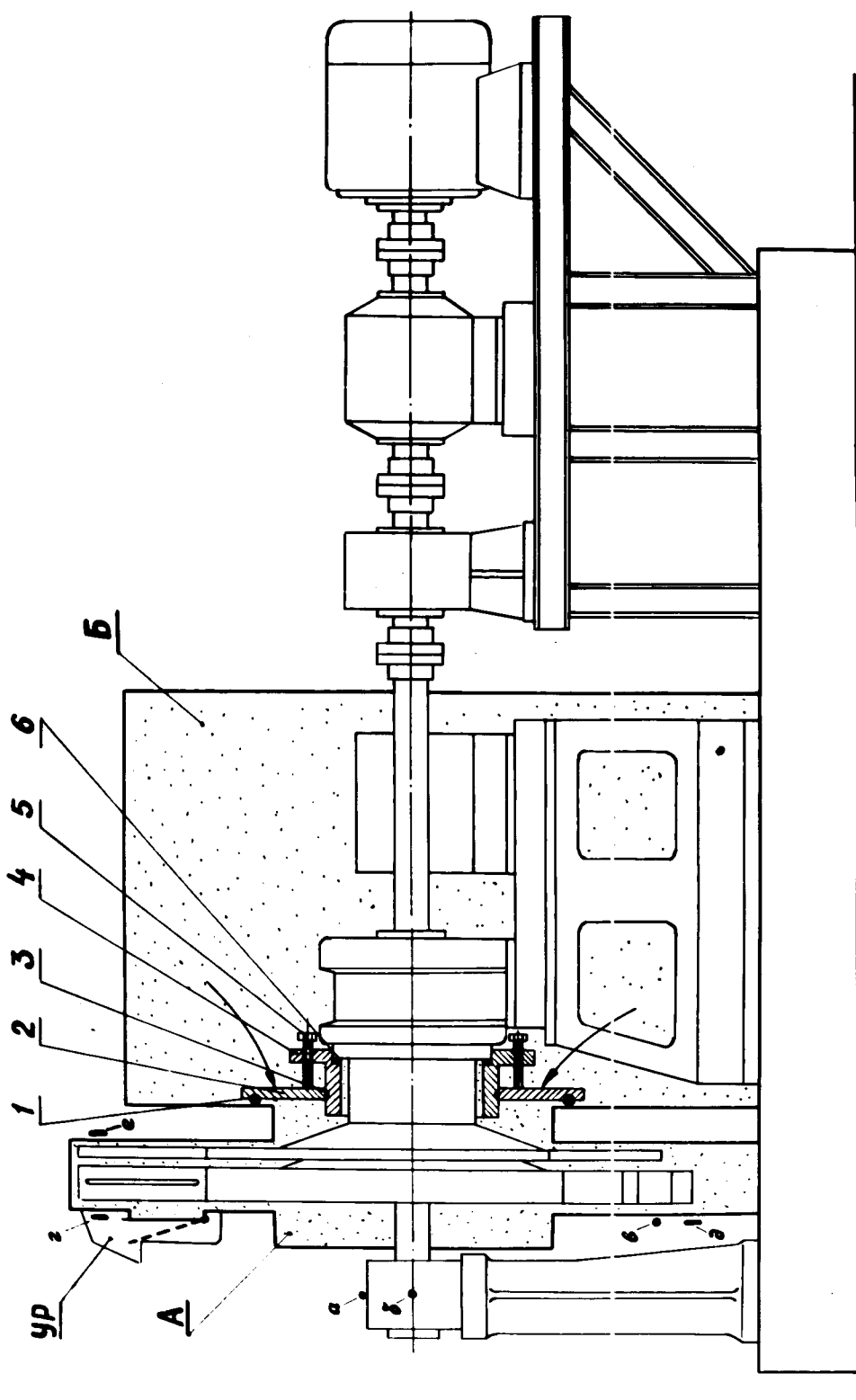


Рис. 2. Общий вид макета ПО с устройством для имитации разгерметизации и разделительным устройством.

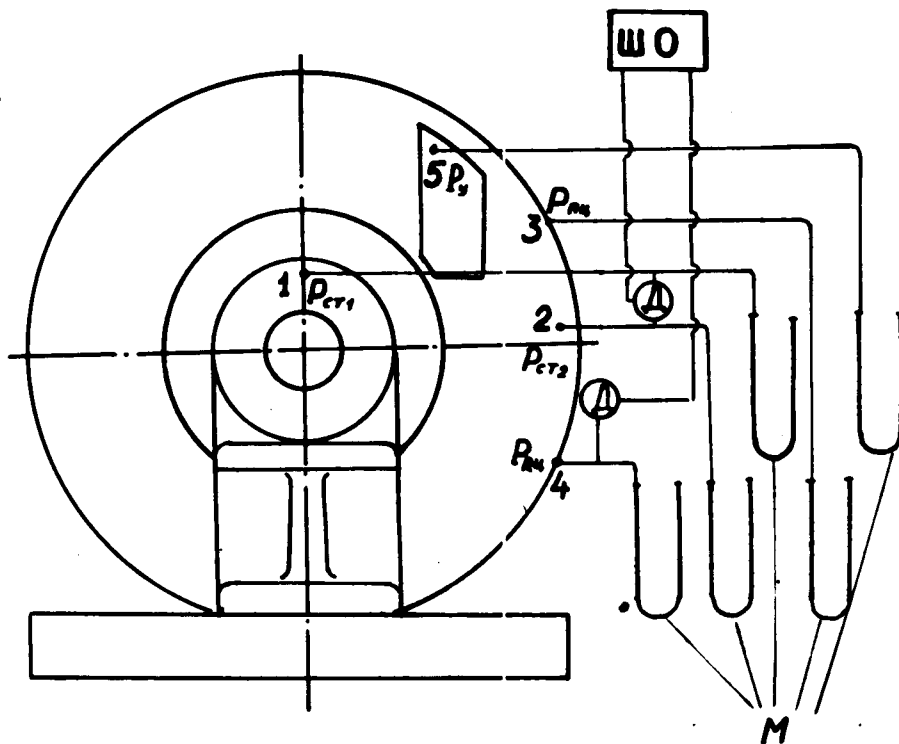
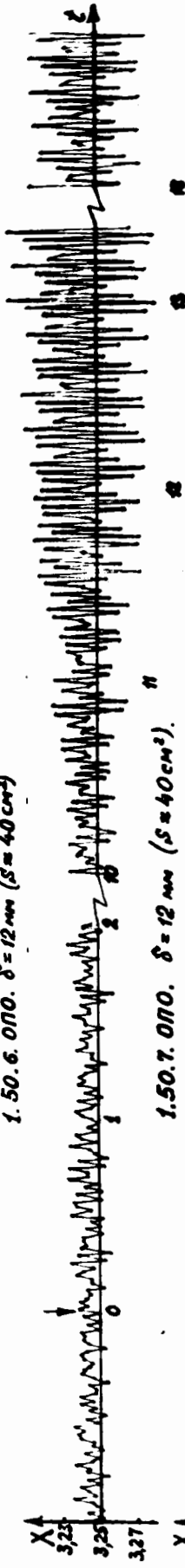
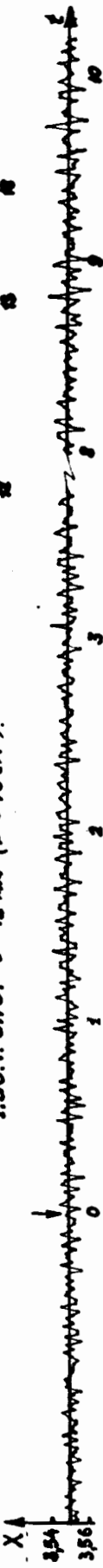


Рис.3. Схема измерений давлений гелия в кожухе макета ПО („ШО“ – шлейфовый осциллограф, „Д“ – электрические датчики).

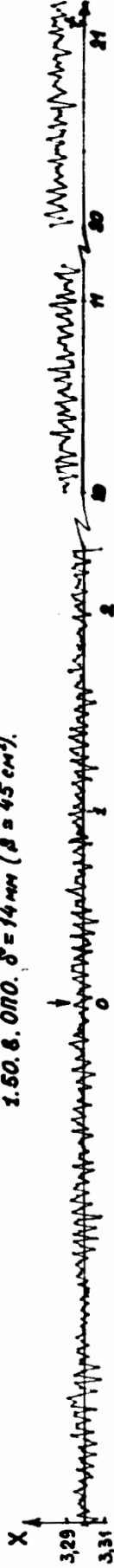
1.50.6. ОПО. $\delta = 12 \text{ мм}$ ($S = 40 \text{ см}^2$)



1.50.7. ОПО. $\delta = 12 \text{ мм}$ ($S = 40 \text{ см}^2$)



1.50.8. ОПО. $\delta = 14 \text{ мм}$ ($S = 45 \text{ см}^2$)



1.50.9. ОПО. $\delta = 25 \text{ мм}$ ($S = 80 \text{ см}^2$)

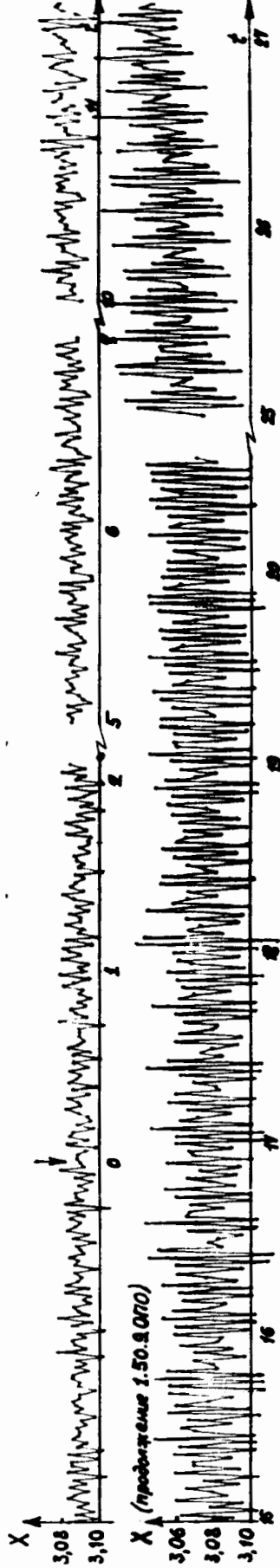


Рис. 4. Осевые колебания ОПО до и после разгерметизации в режиме 50 Гц.

X - в [мм], t - в [сек].

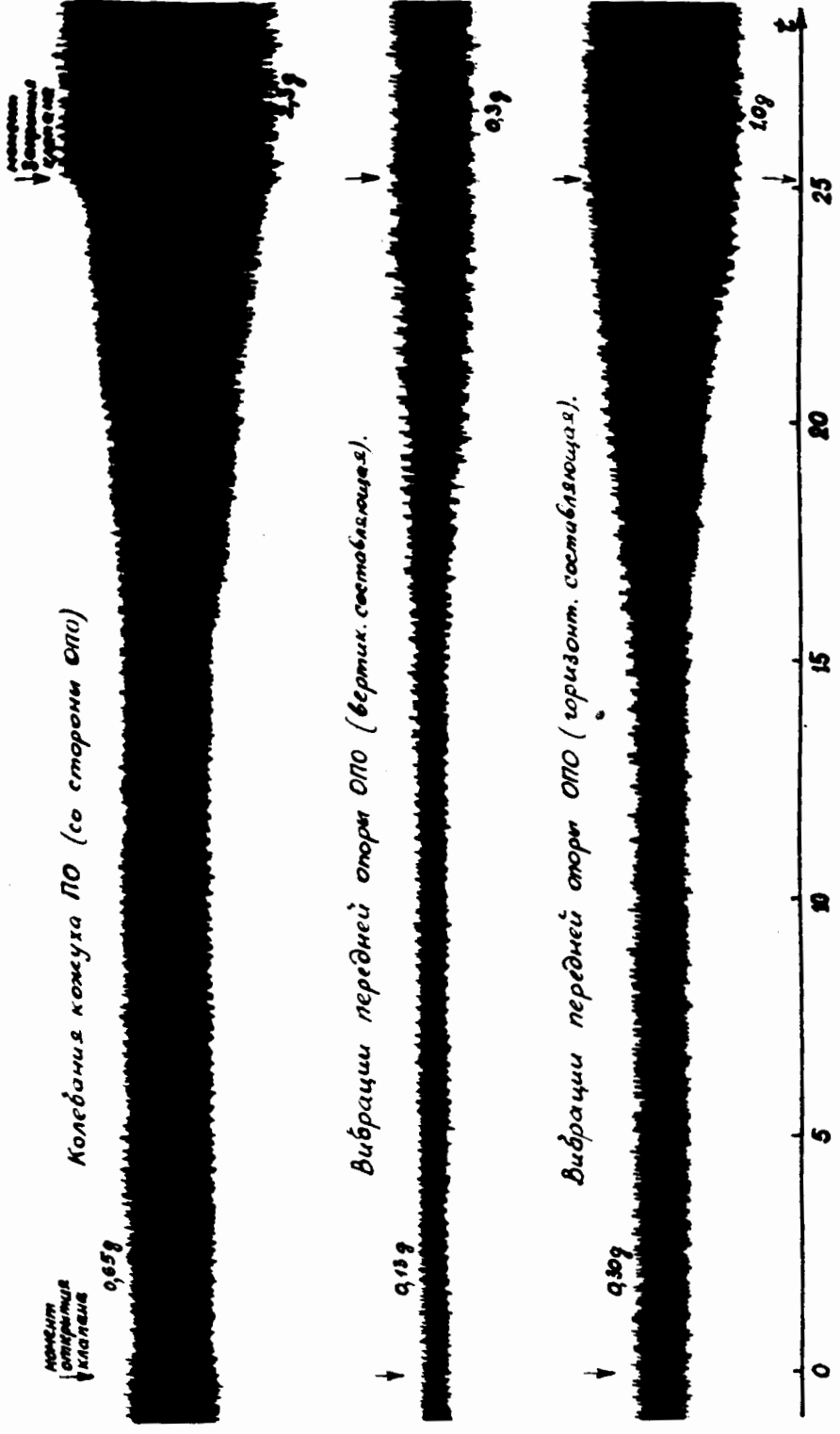
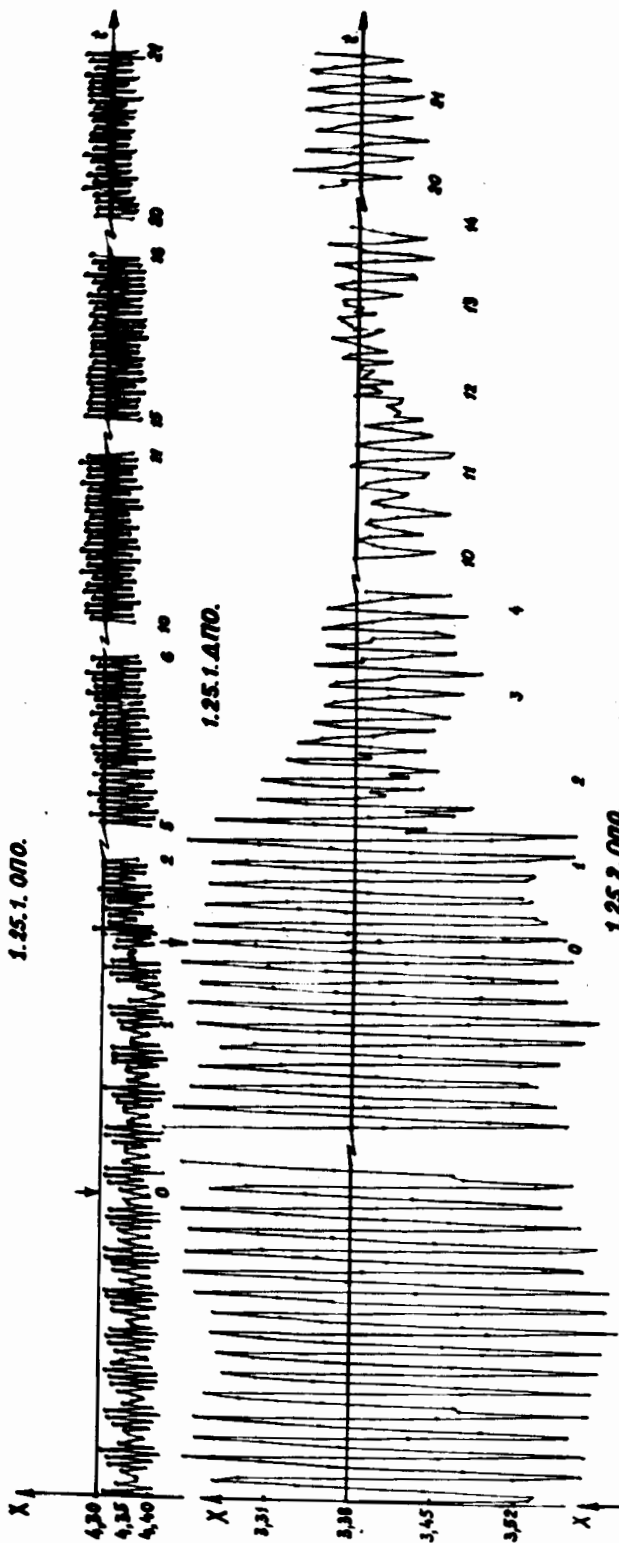


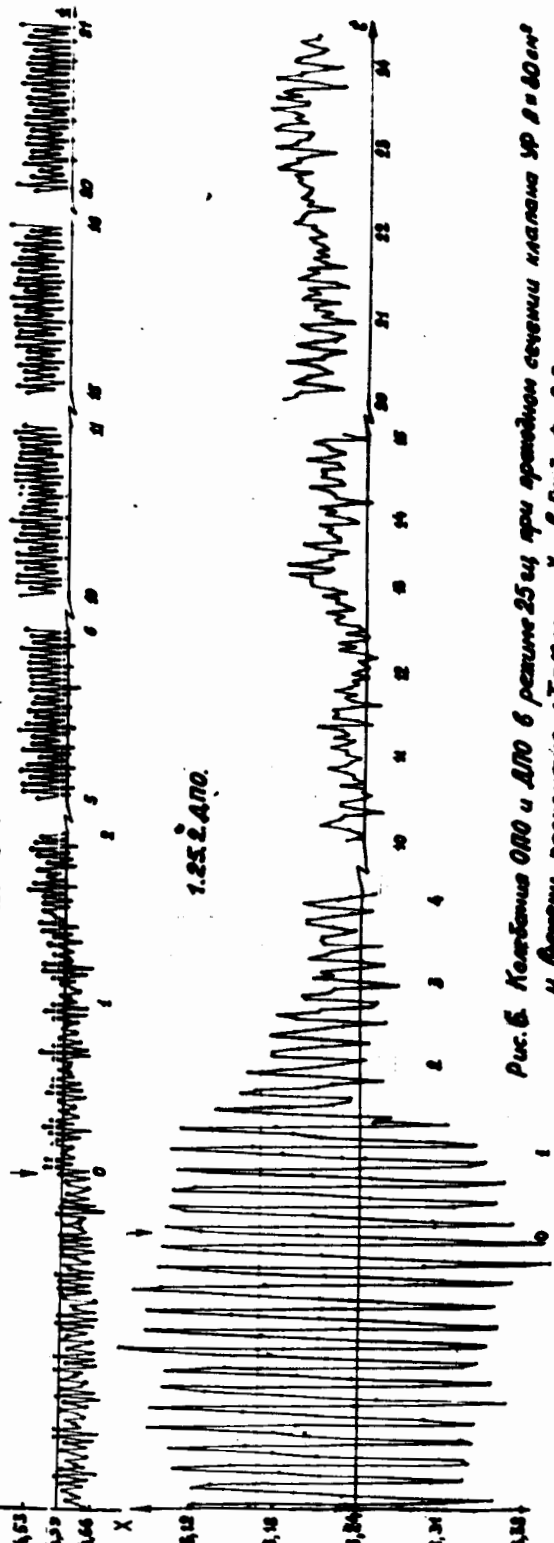
Рис. 5. Вибрации конструктивных элементов ПО. t - время [сек].

1.25.1.070.



1.25.1.470.

1.25.2.070.



1.25.2.470.

Рис. 6. Колебания ОМО и ДПО в резонансе 25 ц/сек при среднем сечении клапана $\varnothing P = 60 \text{ мм}$ и ветви раскрытия $\Delta T = 20 \text{ сек}$. X - в Дин, t - в Сек.

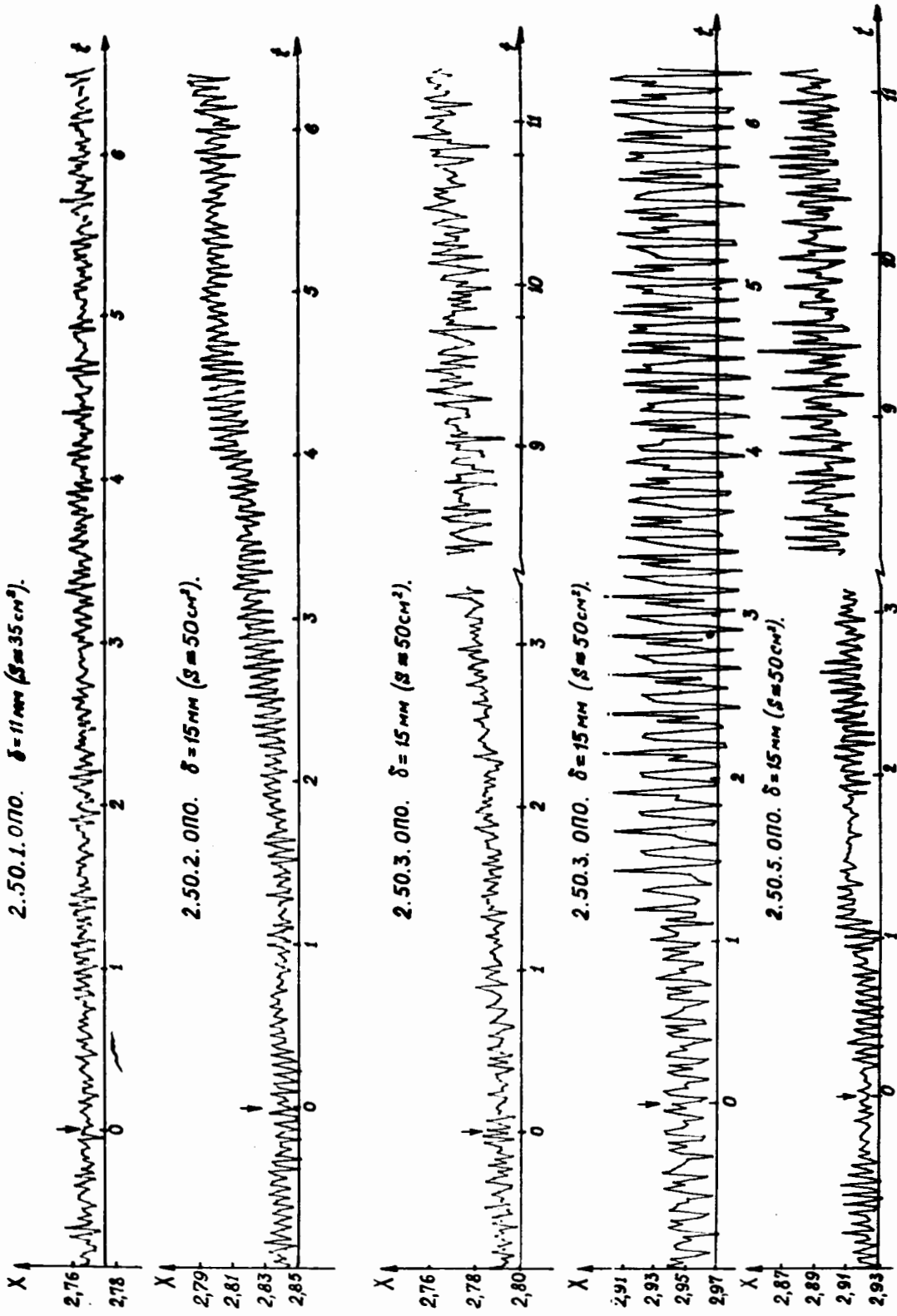


Рис. 7. Колебания ОПО в режиме 50 Гц. X - 6 [мм], t - 6 [сек].

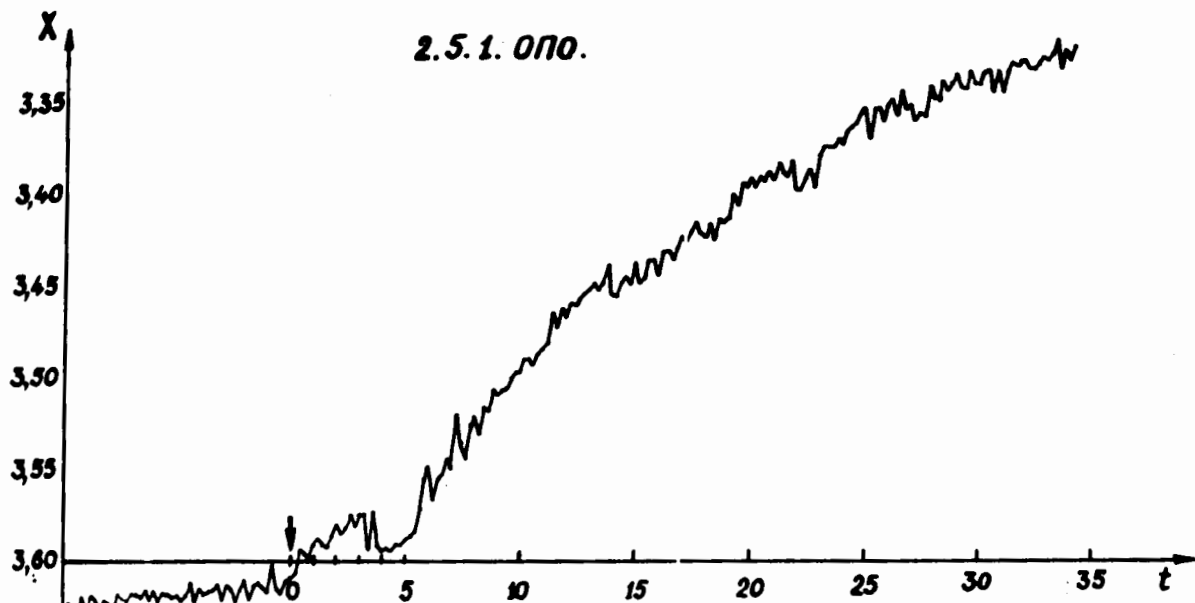


Рис. 8. „Эффективные“ колебания лопасти ОПО
в режиме 5 герц. X - в [мм], t - в [сек.]

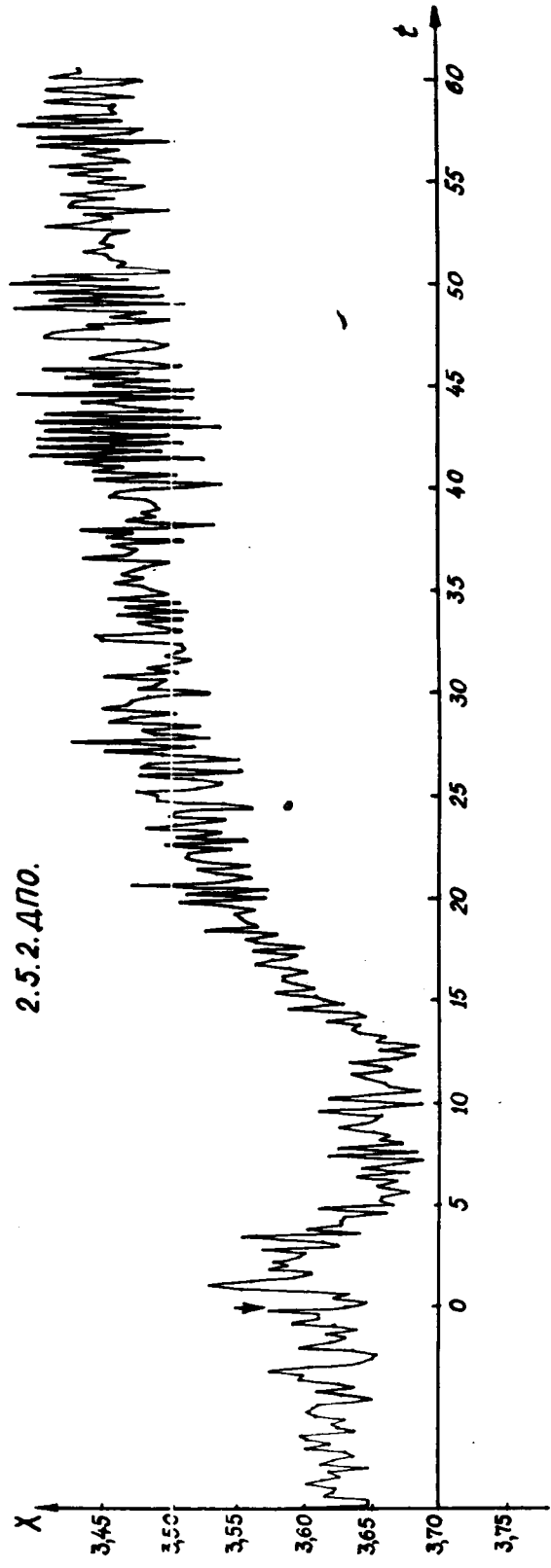
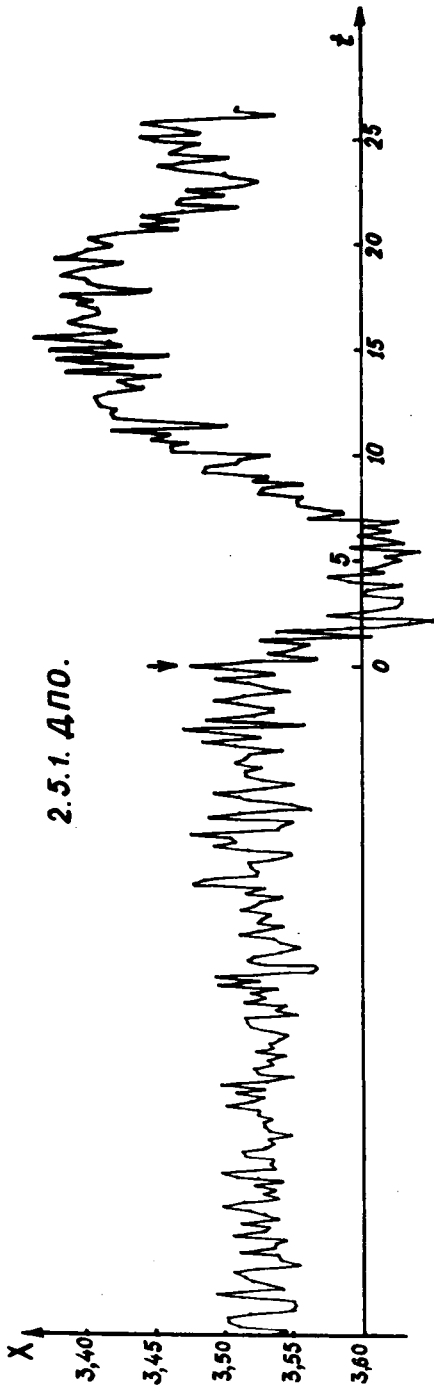
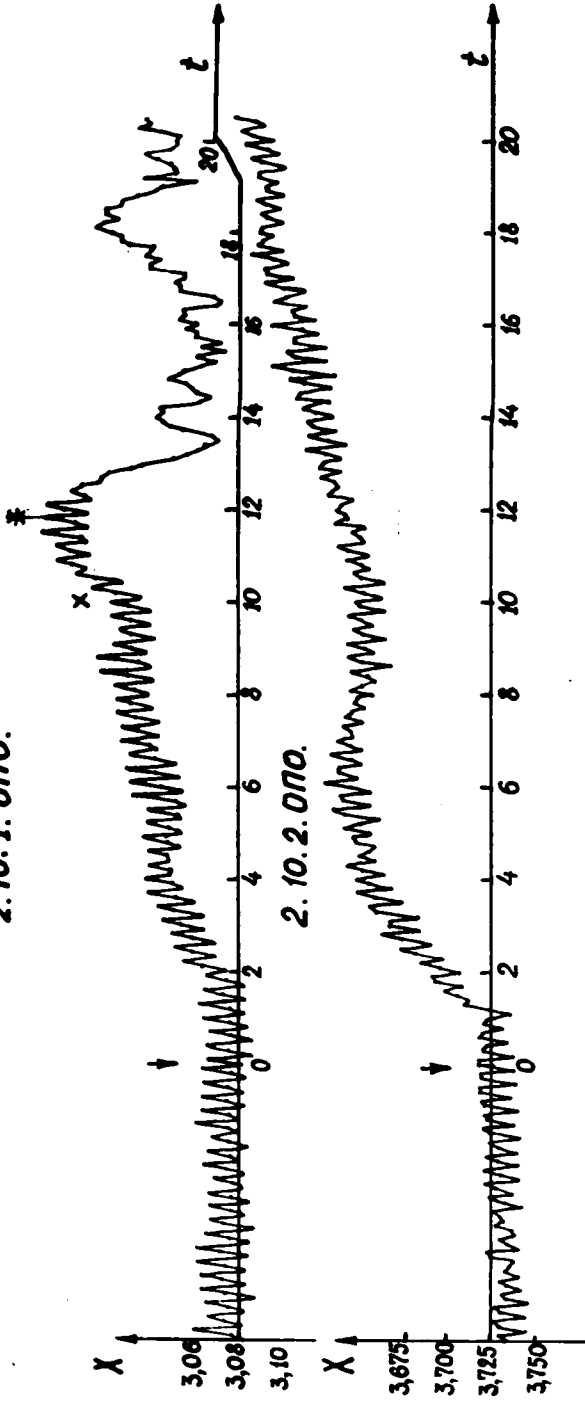
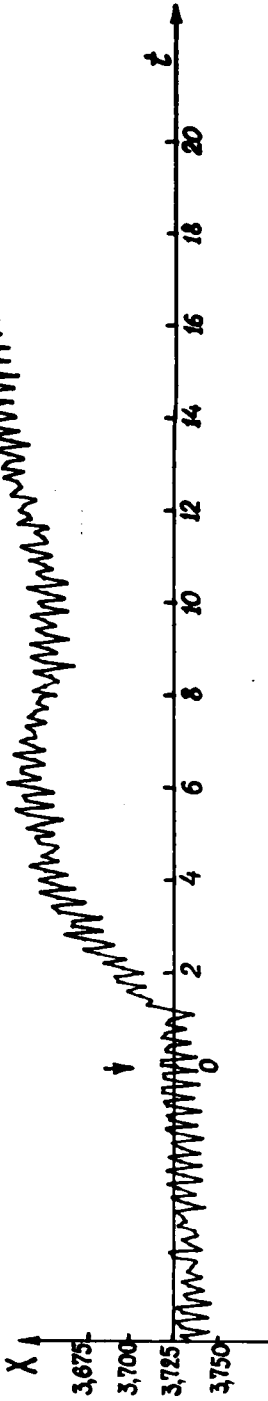


Рис. 9. Колебания ДПО в режиме 5 цз. $\delta = 15$ мм ($\rho \approx 50$ см²).
 X - в [мм], t - в [сек.].

2.10.1. ОПО.



2.10.2. ОПО.



2.25.1. ОПО.

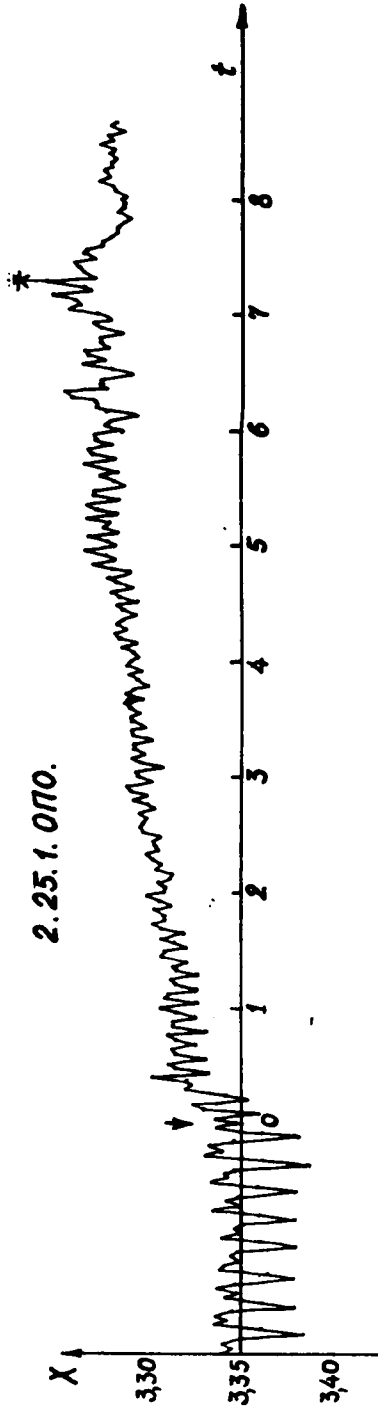


Рис. 10. „Эффективные“ колебания ОПО в режимах 10 и 25 зч.
 $\delta = 15 \text{ мм}$ ($S = 50 \text{ см}^2$). X - в [мм], t - в [сек].

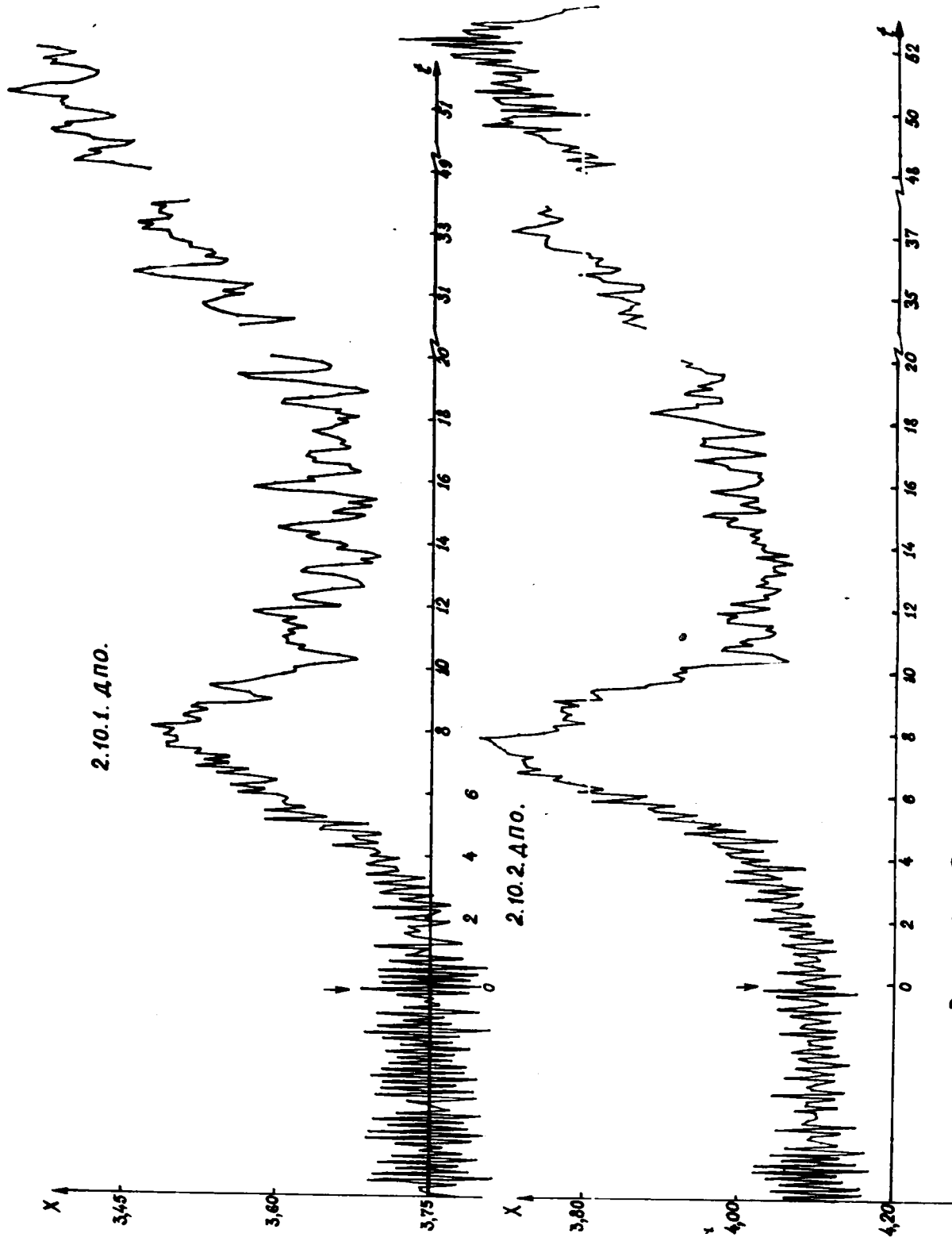


Рис.11. Колебания ДПО в режиме 10 гц.
 $\delta = 15$ мм ($S = 50$ см²). X - δ [мм], t - δ [сек].

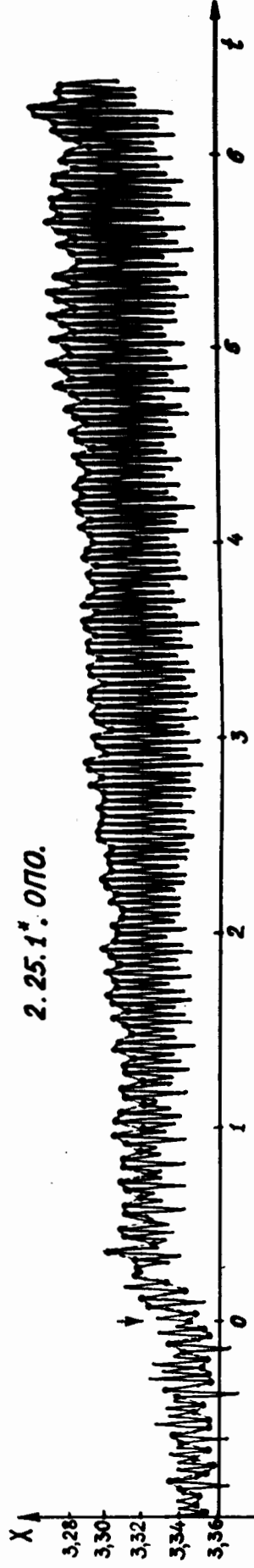
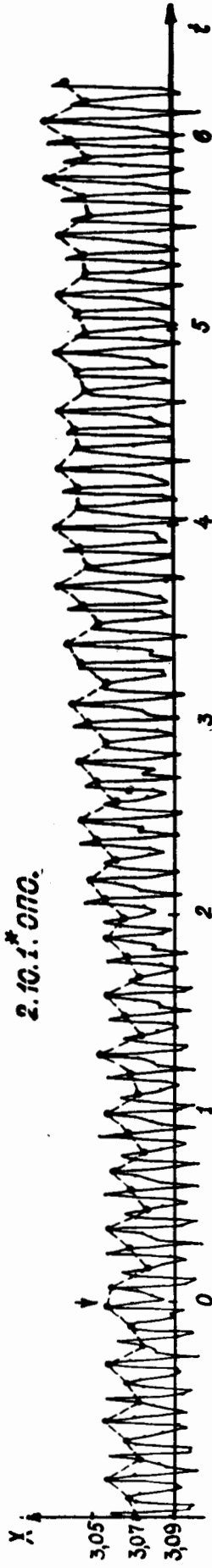
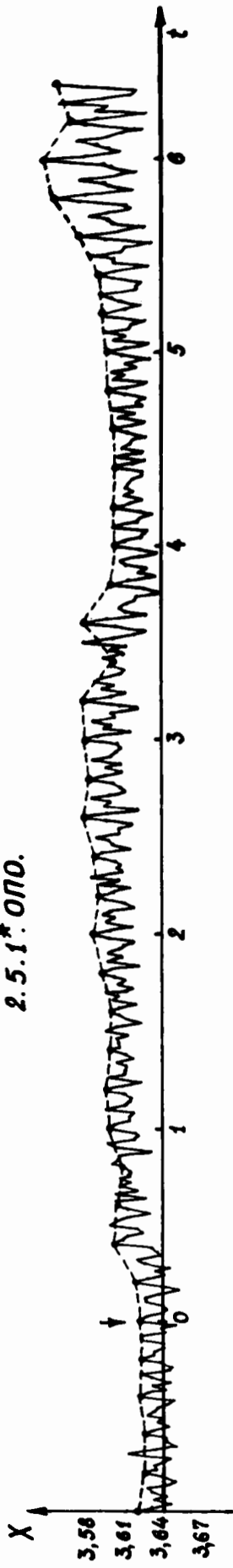


Рис. 12. Сравнение, эффективных и „холостых“ колебаний ОПО в различных режимах работы подвижного отражателя.
X - в [мм], t - в [сек].

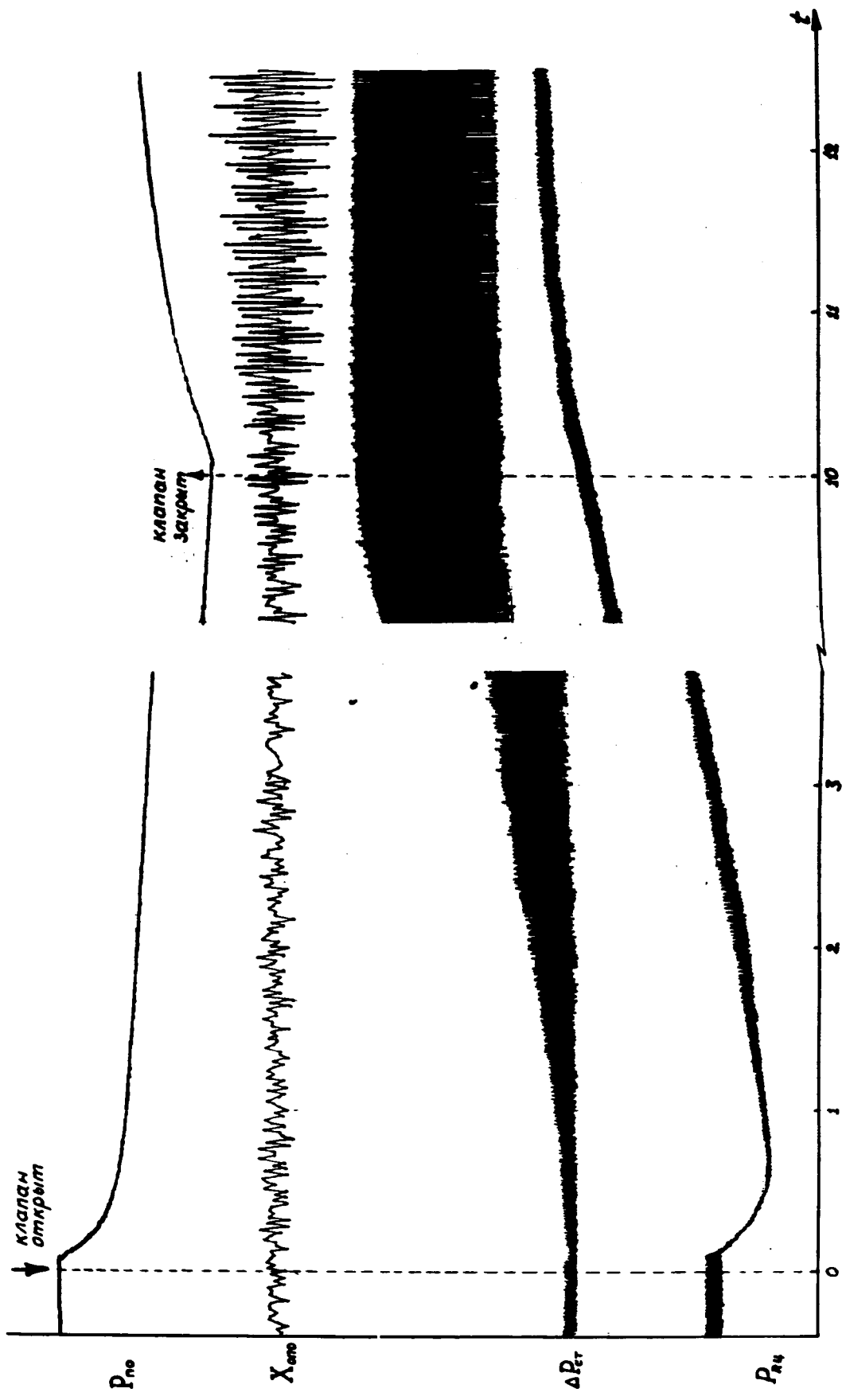


Рис. 13. Изменение во времени различных параметров, характеризующих работу ПО после газерметизации кожуха. t - в [сек.].