

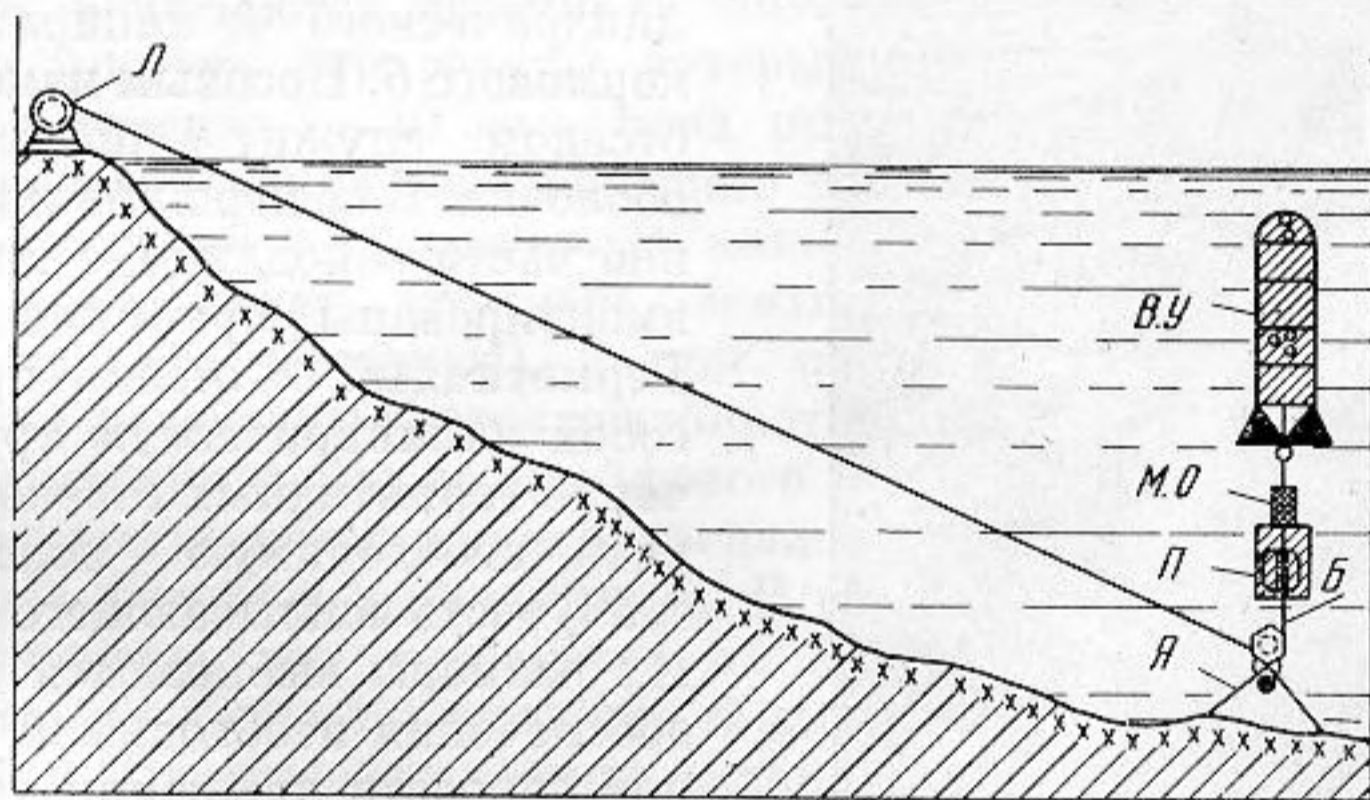
УДК 534.6.08:532.526

**ИЗМЕРЕНИЯ ПРИСТЕНОЧНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ
В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НА ВСПЛЫВАЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ**

Л. М. Лямшев, С. Н. Рудаков

Приводится описание всплывающего устройства для экспериментальных исследований гидродинамических шумов обтекания в морских условиях. Излагаются методика работы и некоторые результаты измерений пространственной функции корреляции пристеночных пульсаций давления в турбулентном пограничном слое на всплывающем устройстве.

Пристеночные пульсации давления в пограничном слое являются в ряде случаев эффективными источниками шумов обтекания. Последние, как известно, представляют собой шумы, возникающие при движении тела в жидкости или газе, вызываемые возмущениями в движении жидкости в пограничном слое и спутной струе. К настоящему времени опубликован ряд работ с изложением результатов экспериментальных исследований спектральных и корреляционных характеристик пристеночных пульсаций

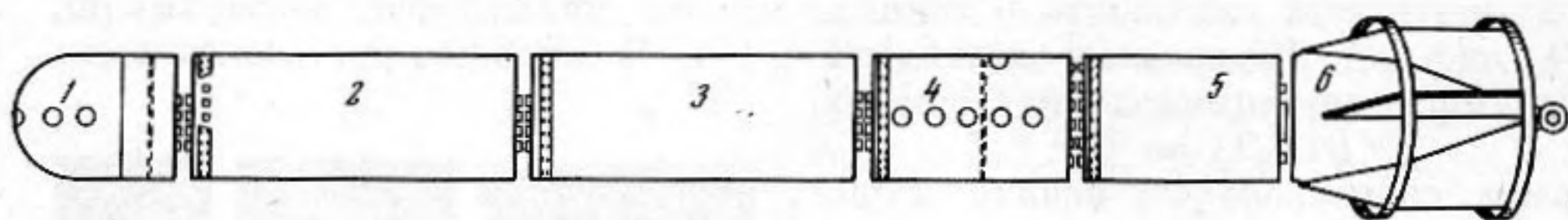


Фиг. 1

давления в пограничном слое. Так, например, в работах [1 и 2] сообщалось об изучении спектральных характеристик пристеночных пульсаций давления на вращающемся в воде цилиндре с помощью всплывающего устройства и на стенке гидродинамического канала. Авторами настоящего сообщения в 1960 г. были проведены аналогичные опыты, некоторые сведения о которых излагаются ниже. Для этих исследований в Акустическом институте АН СССР было изготовлено специальное всплывающее устройство.

Схема экспериментальной обстановки изучения гидродинамического шума обтекания с помощью всплывающего устройства показана на фиг. 1. На берегу моря устанавливается электролебедка Л, а в море на глубине

около 200 м якорь *Я* с блоком *Б*. От лебедки через блок якоря протягивается стальной трос, который прикрепляется с одной стороны к барабану лебедки, а с другой — пропускается через плавучесть *П* и укрепляется к

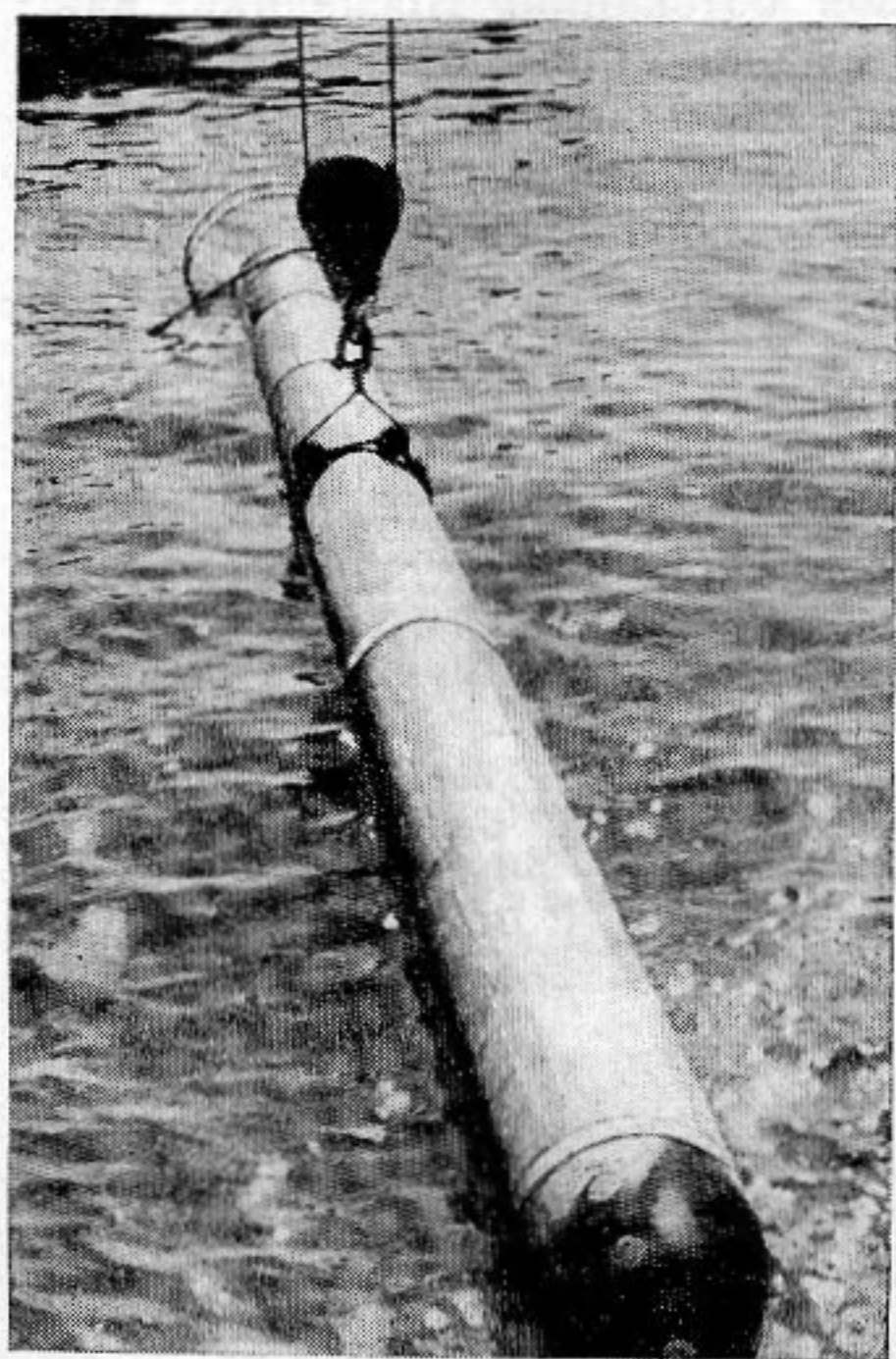


Фиг. 2

механизму отцепления *М. О.* Всплывающее устройство *В. У* представляет собой обтекаемое тело — оболочку, обладающее положительной плавучестью, которое, будучи прикрепленным к механизму отцепления, с помощью троса и лебедки увлекается на глубину до 200 м. На этой глубине всплывающее устройство отцепляется и под действием выталкивающей силы со стороны воды поднимается с определенной скоростью к поверхности моря. Во время движения всплывающего устройства при помощи находящейся внутри него автономной аппаратуры и установленных заподлицо с его поверхностью приемников осуществляется регистрация пристеночных пульсаций давления в пограничном слое. Затем лебедке дается свободный ход. Плавучесть *П* поднимается к поверхности моря и увлекает за собой

трос.

Схематический вид всплывающего устройства показан на фиг. 2. Оно представляет собой цилиндрическую стальную оболочку, состоящую из нескольких отдельных частей — отсеков: носового измерительного *1* и герметичных *2, 3*, измерительного цилиндрического *4*, аппаратурного *5* и кормового *6*. Носовым измерительным отсеком служит полусферическая оболочка. В ее вершине и по окружной части заподлицо с поверхностью вмонтированы приемники давления. Герметичный отсек представляет собой цилиндрическую трубу. Назначение герметичных отсеков — обеспечить необходимую положительную плавучесть всплывающего устройства. Их размеры выбираются из условий обеспечения необходимой максимальной скорости движения устройства в воде. Измерительным цилиндрическим отсеком служит оболочка, заполненная водой; заподлицо с поверхностью оболочки укреплены приемники для измерения пульсаций давления в развитом турбулентном



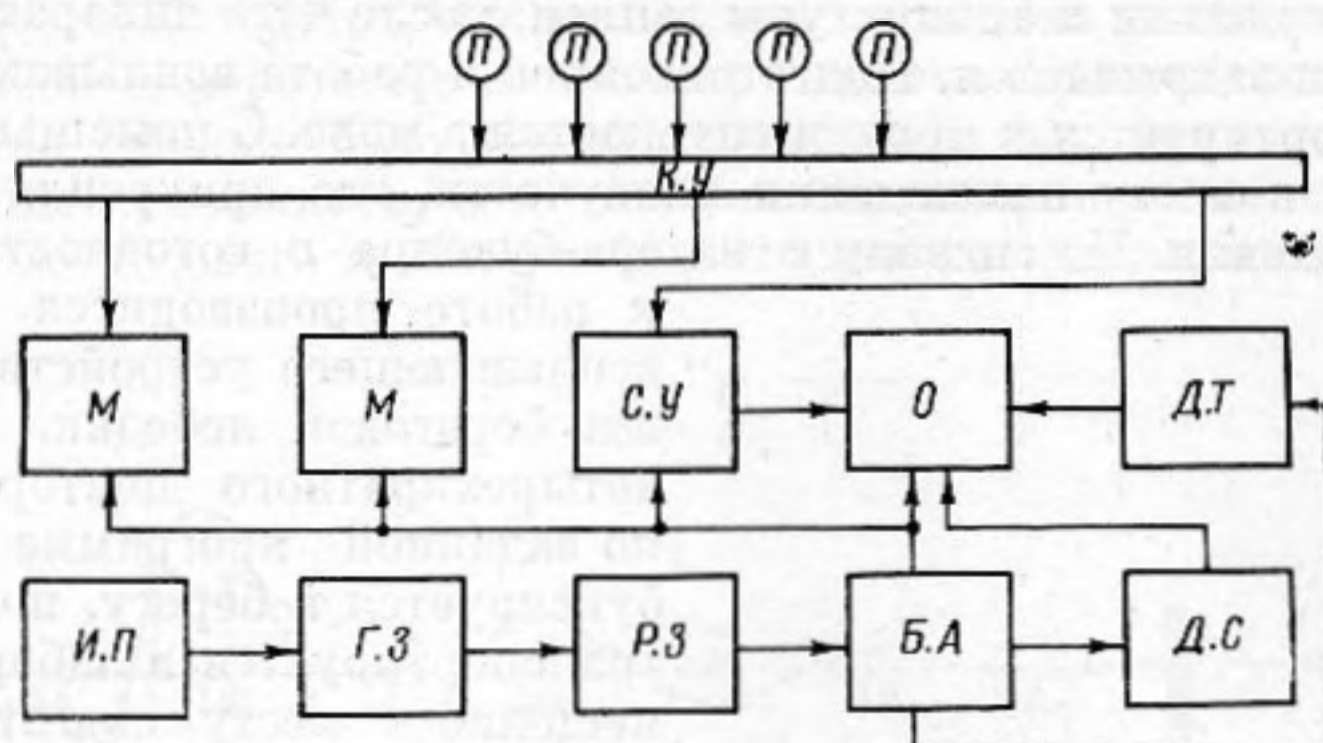
Фиг. 3

пограничном слое. Аппаратурный отсек представляет собой герметичную камеру, предназначенную для размещения измерительных и записывающих приборов.

Общая длина всплывающего устройства составляет около 12 м, а его диаметр — около 42 см. На фиг. 3 показано всплывающее устройство в момент его транспортировки в море.

Функциональная схема аппаратуры, которая в основном размещается в аппаратурном отсеке, показана на фиг. 4. В составе аппаратуры имеются

два портативных двухканальных магнитофона *М*, селективный усилитель *С.У*, многоканальный шлейфовый осциллограф *О*, источники питания батарейного и аккумуляторного типов *И.П*, блок электронной схемы автомата



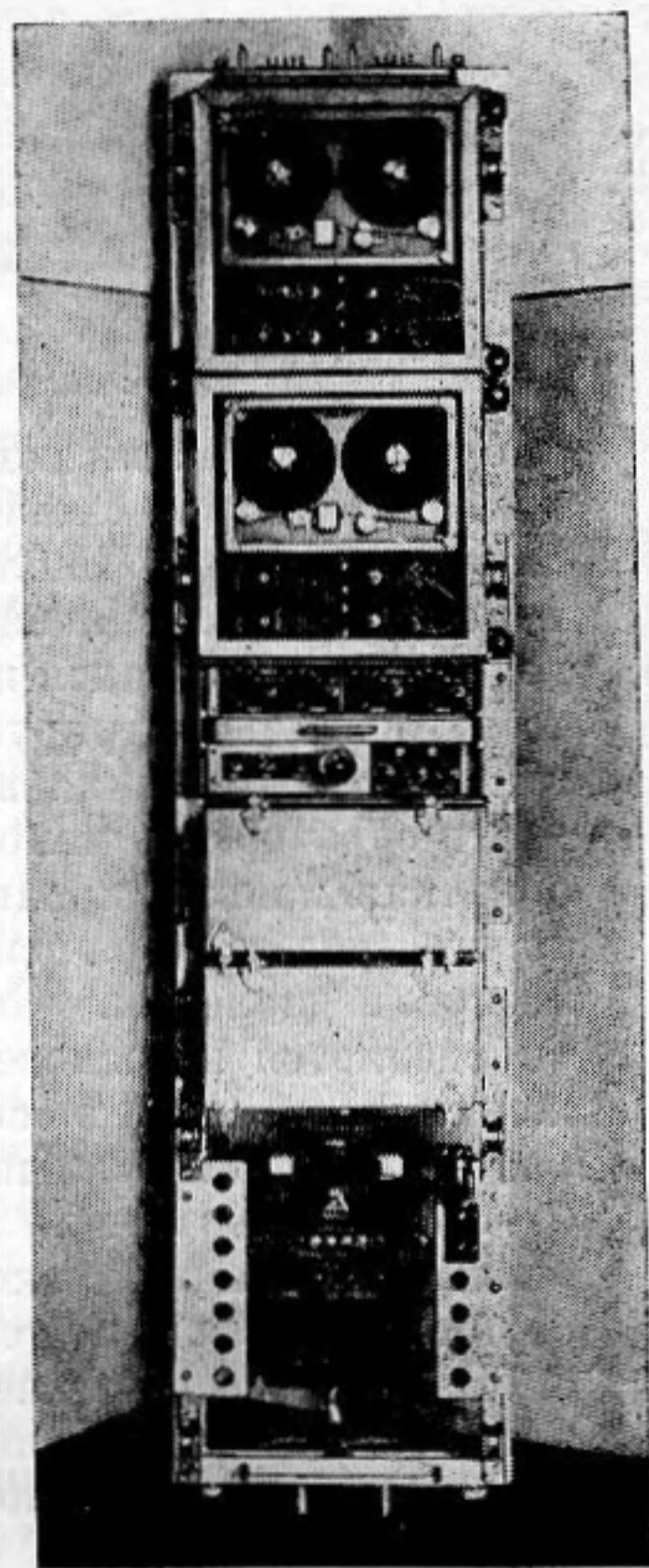
Фиг. 4

тического включения и выключения аппаратуры *Б.А* и коммутационное устройство *К.У* приемников *П*. В кормовом отсеке помещается ртутный *Р.З* и гидростатический *Г.З* замыкатели, там же расположены датчики *Д.С* осредненной скорости движения всплывающего устройства и температурный датчик *Д.Т*. Общий вид комплекта автономной аппаратуры * показан на фиг. 5.

Включение и выключение аппаратуры осуществляется следующим образом. При заглублении всплывающего устройства замыкаются контакты ртутного замыкателя, а на глубине около 50 м замыкаются контакты гидростатического замыкателя, включаются источники питания и начинается прогрев аппаратуры, который продолжается в течение 7—10 мин, пока происходит процесс заглубления всплывающего устройства до момента его отцепления. В момент отцепления срабатывает ртутный замыкатель (размыкаются его контакты) и при помощи электронного реле включаются лентопротяжные механизмы магнитофонов и шлейфового осциллографа; осуществляется запись сигналов, поступающих с датчиков и приемников. В момент выхода всплывающего устройства на поверхность контакты гидростатического замыкателя размыкаются. Практически одновременно, спустя 20—25 сек после включения лентопротяжных механизмов специальное реле времени, которое срабатывает в момент размыкания контактов ртутного замыкателя, полностью отключает питание аппаратуры и запись прекращается. При следующем заглублении всплывающего устройства замыкаются контакты ртутного замыкателя и процесс повторяется.

Процедура экспериментов состоит в следующем. Сначала производится подготовка всей установки к работе. Контролируются акустические и электрические характеристики трактов записи, про-

* Комплект аппаратуры, который показан на фиг. 5, разработан под руководством Б. Е. Бостельмана.



Фиг. 5

веряются устройство автоматики и источники питания. Затем аппаратура устанавливается в аппаратный отсек. После помещения полного комплекта аппаратуры в отсек производится вторичная проверка работы всей системы автоматики и аппаратуры записи, после чего аппаратный отсек герметически закрывается. Подготовленное к работе всплывающее устройство транспортируется к морю и спускается в море. С помощью катера оно буксируется к месту нахождения плавучести, где прикрепляется к механизму отцепления. По сигналу с катера-буксира о готовности установки



Фиг. 6

к работе производится заглубление всплывающего устройства при помощи береговой лебедки. После трех-четырёхкратного повторения опыта по заданной программе устройство буксируется к берегу, поднимается и транспортируется в лабораторное помещение к месту подготовки эксперимента; аппаратура извлекается из аппаратного отсека и производится предварительная обработка полученных записей *. В зависимости от результатов предварительной обработки и целей эксперимента составляется новая программа измерений. На фиг. 6 показано всплывающее устройство в момент выхода его на поверхность моря.

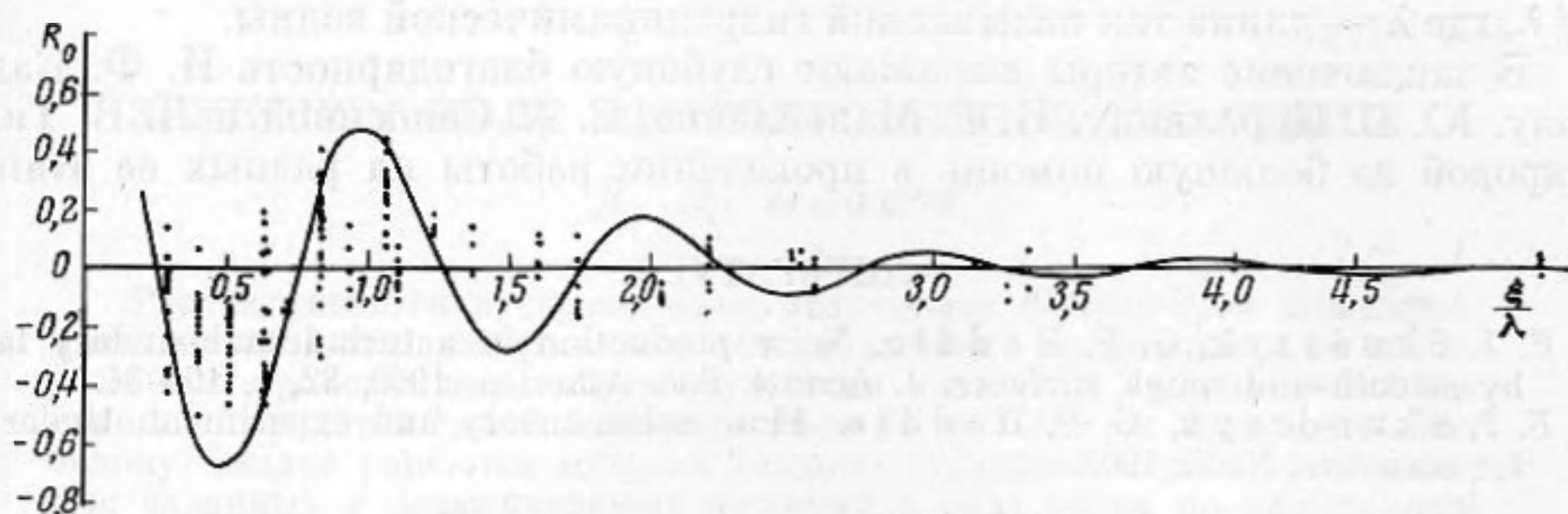
В процессе опытов контролируется скорость движения всплывающего устройства. Для этого, как отмечалось выше, в кормовом отсеке устанавливается датчик гидростатического давления с потенциометром, собранным по мостовой схеме. По мере всплывания устройства и уменьшения гидростатического давления сопротивление одного из плеч потенциометра изменяется. Появляющаяся вследствие этого на выходе мостовой схемы разность потенциалов подается на вход шлейфового осциллографа, на ленте которого регистрируется кривая изменения гидростатического давления в процессе движения всплывающего устройства. Предварительно при помощи образцового манометра и гидравлического процесса снимается калибровочная кривая, характеризующая изменение величины отклонения светового луча шлейфа осциллографа в зависимости от изменения гидростатического давления. Скорость движения всплывающего устройства определяется на основе калибровочной кривой и известной скорости движения фотобумаги в осциллографе. Как показали проведенные опыты, скорость движения всплывающего устройства на всем участке пути, спустя 2—3 сек после начала всплытия, оказывается практически постоянной и режим движения можно считать установившимся. Аналогичным образом осуществляется контроль температуры воды.

В процессе выполненных нами экспериментов в качестве приемников применялись гидрофоны поршневого типа с пьезоэлементом из пьезокерамики. Пьезоэлемент помещался в герметичный металлический корпус с довольно массивными стенками, имеющий достаточно тонкую круглую мембрану. Каждый приемник имел предварительный усилитель с катодным повторителем на входе, смонтированный в корпусе приемника. При-

* Возможности проведения многократных идентичных опытов ограничиваются, по существу, только запасом магнитной пленки в магнитофонах и фотобумаги в шлейфовом осциллографе.

емники были откалиброваны и неизменность их частотных характеристик контролировалась путем сравнения с эталоном в воде. Частотная характеристика приемников, как правило, имела некоторый равномерный подъем в сторону высоких частот, что позволило несколько расширить динамический диапазон измерительного тракта, т. к. спектр пристеночных пульсаций давления довольно быстро спадает в области высоких частот.

Мембраны приемников, как отмечалось выше, находились заподлицо с поверхностью носового и измерительного отсеков всплывающего устрой-



Фиг. 7

ва. Существенное внимание было уделено виброизоляции приемников. С целью проверки виброизоляции приемников мембрана приемника была изолирована от воздействия потока специальной заглушкой с воздушной прослойкой. При этом крышка заглушки оказывалась укрепленной заподлицо с поверхностью оболочки измерительных отсеков, а мембраны приемников соответственно смещены без какого-либо изменения в устройстве крепления приемников к поверхности оболочки. Проведенные в таких условиях измерения на всплывающем устройстве показали, что интегральный уровень вибрационной помехи оказался не менее чем на 30 дб ниже сигнала незаглушенного приемника. Следует также отметить, что влияние вибрационной и звуковой помехи оценивалось также на основе корреляционного анализа сигнала в узких частотных полосах.

Осуществлялся также контроль за идентичностью условий, в которых производилась та или иная серия опытов как от опыта к опыту, так и в процессе всего эксперимента. Для этого сигнал с одного из приемников, положение которого во всех опытах оставалось неизменным, подавался на селективный усилитель, а с усилителя на шлейфовый осциллограф. На ленте шлейфового осциллографа от опыта к опыту регистрировался спектр пристеночных пульсаций давления. Заключение об идентичности условий опытов делалось на основании сопоставления и анализа полученных с данного приемника сведений о спектре пульсаций давления.

На фиг. 7 в качестве иллюстрации приводятся данные, характеризующие пространственную функцию корреляции пульсаций давления в направлении потока. В опытах использовались приемники поршневого типа с диаметром мембраны 10 мм, запись сигнала производилась в диапазоне частот 100 гц — 2 кгц. Обработка полученных магнитных записей производилась на электронном коррелометре в узких частотных полосах. Для этого применялось несколько пар идентичных фильтров с третьоктавной полосой пропускания и с центральными частотами в диапазоне от 100 до 350 гц. Было установлено, что на более высоких частотах в тех условиях, которые соответствовали полученным и приведенным здесь экспериментальным данным, сильное влияние на результаты опытов оказывала вибрационная и звуковая помеха. На фиг. 7 точками показаны экспериментальные значения, характеризующие пространственную функцию корреляции. Сплошная

кривая соответствует известной теоретической зависимости

$$R_0 = R_m \frac{\sin \pi \frac{\Delta f \xi}{V_c}}{\pi \frac{\Delta f \xi}{V_c}} \cos \sqrt{2\pi} \frac{f \xi}{V_c},$$

где V_c — скорость переноса пульсации, f — частота колебаний, ξ — расстояние между приемниками. По оси абсцисс отложены значения отношения ξ/λ , где λ — длина так называемой гидродинамической волны.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность И. Ф. Кадыкову, Ю. В. Курилкину, Н. Г. Манойленко, С. А. Салосиной и Л. В. Тихомировой за большую помощь в проведении работы на разных ее этапах.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. J. Skudrzyk, G. P. Haddle. Noise production in a turbulent boundary layer by smooth and rough surfaces. J. Acoust. Soc. America, 1960, 32, 1, 19—34.
2. E. J. Skudrzyk, G. P. Haddle. Flow noise, theory and experiment. Underwater acoustics. N. Y., 1963.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступила в редакцию
9 ноября 1966 г.