

А 84  
17011

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОРДЕНА ЛЕНИНА СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

Бардаханов Сергей Прокопьевич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И  
РАЗВИТИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР В ТУРБУЛЕНТНЫХ  
ПОТОКАХ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

01.02.05 - механика жидкостей, газа и плазмы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

Новосибирск-1984

Работа выполнена в Институте теоретической и прикладной механики СО АН СССР

Научные руководители: академик Н.Н.Яненко,  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник В.В.Козлов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
В.М.Коваленко,  
кандидат физико-математических наук  
С.И.Исатаев.

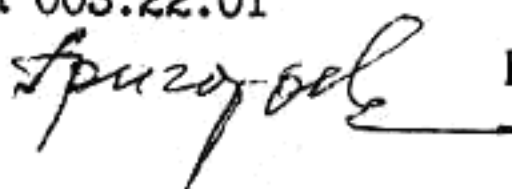
Ведущая организация: Центральный аэрогидродинамический институт,  
г. Москва.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1984г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании специализированного совета К 003.22.01  
по присуждению учёной степени кандидата наук в Институте  
теоретической и прикладной механики СО АН СССР (630090,  
г.Новосибирск, 90, ул.Институтская 4/1, ИТПМ СО АН СССР).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИТПМ СО АН СССР.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1984г.

Учёный секретарь  
специализированного совета К 003.22.01  
к.ф.-м.н.

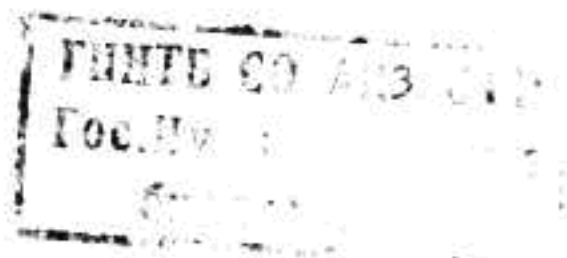


Ю.Н.Григорьев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. За последние два десятилетия представления о структуре турбулентных сдвиговых течений претерпели существенные изменения. Эволюция взглядов связана с осознанием роли крупномасштабных упорядоченных образований или когерентных структур, которые присутствуют по крайней мере в некоторых, а возможно и во всех типах развитых турбулентных сдвиговых течений. При этом под когерентными структурами понимаются крупные вихри, существующие на фоне мелкомасштабной турбулентности. Сейчас исследования когерентных структур составляют новое перспективное направление в изучении турбулентности. По мнению Г.Липмана и других авторов, интерес к структурам в значительной мере обусловлен тем, что именно их существование позволяет надеяться на возможность управления турбулентными течениями путём прямого вмешательства в эти крупномасштабные образования. Эффективным средством воздействия на развитие турбулентное течение является наложение акустических полей, которое, как подчёркивает А.С.Гиневский, с одной стороны само по себе есть способ управления, а с другой стороны акустическое воздействие служит своеобразным инструментом для выяснения тех или иных свойств потока. Например, экспериментальные исследования турбулентных струйных течений показали, что акустическое воздействие в определённом диапазоне чисел Струхала способствует выделению скрытых структур, усиливая их интенсивность. В экспериментальных условиях такое выделение позволяет более детально исследовать присущие течению упорядоченные вихреподобные образования.

Следует сказать, что современный уровень знаний о когерентных структурах характеризуется не только отсутствием какой-либо общей теории, но и сами физические представления об условиях образования и развития структур находятся в стадии формирования. Представляется актуальным строить исследования течений с когерентными структурами, опираясь на теорию гидродинамической устойчивости и рассматривая вихри как волновые возмущения в наиболее удобной в эксперименте неподвижной системе координат. Указания на тесную связь между устойчивостью и турбулентностью содержатся в некоторых работах, где когерентные структуры трактуются как собственные возмущения неустойчивого турбулентного течения. Тогда



Сверено  
1992 г.



важным становится вопрос об определении для турбулентных течений амплитудно-частотных характеристик возмущений, в частности диапазона восприимчивости к внешним возмущениям или диапазона частот, в котором возникают когерентные структуры. В экспериментальных работах других авторов амплитудно-частотные, а также фазовые свойства турбулентных сдвиговых течений практически не исследовались, только для струй обнаружены диапазоны чисел Струхала, характерные для когерентных структур.

Цель работы заключалась в экспериментальном изучении свойств возмущений, возникающих и развивающихся в некоторых типах турбулентных сдвиговых течений при акустическом воздействии. А именно: в турбулентных следах за тонкой пластинкой и профилем с острыми задними кромками; в турбулентном следе за плохообтекаемым телом; в отрывном течении за уступом; в течении, образующемся при поперечном истечении турбулентной струи в турбулентный пограничный слой.

Научная новизна. Показано, что в вышеперечисленных развитых турбулентных течениях акустические возмущения преобразуются в вихревые возмущения или когерентные структуры. Локализованы области, в которых происходит такое преобразование.

Получены амплитудные и фазовые характеристики структур с различными частотами и начальными амплитудами. Исследована восприимчивость течений типа следа и отрывного течения за уступом к акустическим возмущениям.

Показано, что в развитом турбулентном следе возможно выполнение принципа суперпозиции – несколько структур могут развиваться не взаимодействуя друг с другом и со средним течением. В то же время при достаточно больших интенсивностях акустического поля соответствующие когерентные структуры оказывают влияние на интегральные характеристики обтекания.

Научная и практическая ценность. Результаты, изложенные в диссертационной работе, могут послужить базой для математической постановки задачи о восприимчивости турбулентных течений к внешним возмущениям (по аналогии с ламинарными течениями), или о механизмах возбуждения собственных колебаний – когерентных структур – в турбулентных сдвиговых течениях. Кроме того полученные результаты могут способствовать построению теории устойчивости турбулентных сдвиговых течений.

Примеры исследованных в работе течений подтверждают, что наложение акустического поля как способ введения внешних возмущений может быть эффективным средством управления турбулентными течениями.

Апробация работы. Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на Шем Всесоюзном симпозиуме по физике акустико-гидродинамических явлений и оптоакустике (Ташкент, 1982г.), 23-ем Сибирском теплофизическом семинаре (Новосибирск, 1983г.), Всесоюзной конференции по проблемам турбулентных течений (Жданов, 1984г.), Международном симпозиуме ИУТАМ по турбулентности и хаотическим явлениям в жидкостях (Киото, 1983г.), конференциях молодых специалистов ИТМ и ИТФ СО АН СССР (в 1983-1984гг.) и опубликованы в работах [1-7].

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 92 наименований; изложена на 143 стр., включая 64 рисунка на 55 стр.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и в первой главе на основе существующих данных характеризуется научное направление, связанное с изучением когерентных структур в турбулентных течениях. Излагается структура диссертационной работы. Сделан обзор основных экспериментальных работ, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемым в диссертации задачам, на основании которого обосновывается выбор темы исследований и их актуальность.

Вторая глава содержит результаты исследований преобразования акустических возмущений в когерентные структуры в различных типах турбулентных сдвиговых течений.

В первом параграфе излагаются результаты исследований следа за тонкой пластинкой с острой задней кромкой, которая располагалась в рабочей части аэродинамической трубы дозвуковых скоростей МТ-324 ИТМ СО АН СССР (рис. 1а). У передней кромки пограничный слой турбулизировался специальными турбулизаторами. Монохроматические акустические возмущения регулируемой амплитуды и частоты вводились в течение с помощью громкоговорителя. Средние и пуль-



сационные характеристики течения в этом и последующих экспериментах регистрировались комплексом термоанемометрической аппаратуры 55D00 DISA, первичным преобразователем являлся одноточный датчик. Сигнал также подвергался частотному анализу на анализаторе FAT-I. Фазовые измерения проводились на двухлучевом осциллографе с использованием анализатора в режиме фильтрации с полосой пропускания 4 Гц. Синхронизация осуществлялась от опорного сигнала звукового генератора.

На рис. 1б приведены профили средней скорости в ближнем следе за тонкой пластинкой. Хорошо видно, что течение в этой области характеризуется сильной пространственной неоднородностью и наличием в профилях средней скорости точек перегиба.

При включении акустического поля в спектре сигнала от датчика, расположенного в следе, возникал чётко выраженный пик на частоте акустического возмущения. Фазовые измерения на частоте звука при акустическом воздействии показали, что фаза возмущений случайна во времени в турбулентном пограничном слое и только в следе, вблизи  $X=0$ , она приобретает определённое значение, что связано с возрастанием детерминированной составляющей в спектре возмущений. Закон нарастания фазы в этой области примерно линейный и обработка полученных результатов показала, что фазовая скорость распространения этих возмущений сильно отличается от скорости распространения звуковых колебаний и составляет примерно 0,9 от скорости набегающего потока. Это позволяет утверждать, что возмущения, обуславливающие пик в спектре, являются вихревыми. Вихревую природу возникающих возмущений подтвердили и визуальные исследования, проведённые методом "дымящей" проволоки.

На рис. 2 представлены распределения приращения  $\alpha$  амплитуды пульсаций в полосе 4 Гц, характеризующего возникшее возмущение (учтён вклад турбулентного фона в величину  $u_j'/u_\infty$ ) и типичное распределение фазы в зависимости от поперечной координаты. В области  $Y=0$  фаза претерпевает скачок близкий к  $180^\circ$ , что согласуется с распределением амплитуды возмущения в этой области (минимум в области  $Y=0$ ). Это означает, что возникшее вихревое возмущение практически антисимметрично. Таким образом, эти распределения амплитуды и фазы возмущения дают нам представление о когерентной структуре, возникшей и развивающейся в турбулентном следе.

Аналогичные результаты были получены при акустическом воз-

действии на течение в следе за аэродинамическим профилем, установленным под нулевым углом атаки (на передней кромке также устанавливался турбулизатор). При исследованиях течения в следе за профилем, установленным под углами атаки  $8,5^\circ$  средние и пульсационные характеристики как на профиле так и в следе за ним были существенно несимметричны (на рисунке 3а приведён пример распределения средней скорости в следе). При этом когерентная структура имела максимальное значение амплитуды в области максимального поперечного градиента средней скорости. Пример распределения интенсивности пульсаций скорости, возникающих при акустическом воздействии (в полосе 4Гц), приведён на рисунке 3б. Для сравнения на этом же рисунке приведено распределение пульсаций на частоте акустического воздействия (в полосе 4Гц), но без наложения акустического поля. На рисунке 3а можно видеть, что при выбранной интенсивности акустического поля когерентная структура влияет на среднюю скорость. Можно предположить, что и в практических ситуациях может наблюдаться такое влияние на интегральные характеристики.

На рисунке 4 приведена схема эксперимента при исследованиях течения за уступом, а также распределения средней скорости за ним. (Эксперименты проводились в малотурбулентной аэродинамической трубе Т-324 ИТМ СО АН СССР). Высота уступа  $h = 20$  мм. При акустическом воздействии на течение в области перегиба в профиле средней скорости возникает когерентная структура, распределение интенсивности пульсаций в которой приведено на рисунке 5. Фазовая скорость распространения возмущений в этом случае примерно равна 0,4 от скорости набегающего потока. На рисунке 6 представлен диапазон восприимчивости течения к акустическим возмущениям, который показывает, что в данном течении могут возбуждаться структуры только из определённого интервала частот.

Преобразование акустических возмущений происходит и на границе отрывной области, возникающей при истечении турбулентной струи в турбулентный пограничный слой.

Итак, результаты исследований, приведённые во второй главе, показывают, что в области гидродинамических неоднородностей, характеризующихся образованием профилей средней скорости с точкой перегиба, происходит преобразование акустических возмущений в вихревые возмущения или когерентные структуры. Совпадение формы



этих возмущений с формой "естественных" возмущений позволяет говорить о преобразовании внешних акустических возмущений в собственные колебания исследованных турбулентных сдвиговых течений, распространяющихся в каждом случае с определённой фазовой скоростью.

В исследованиях, результаты которых приведены в третьей главе, была поставлена задача изучения развития возникающих когерентных структур на примере сравнительно простого течения в турбулентном следе за тонкой пластинкой, их взаимодействия друг с другом и со средним течением, а также со спектральными модами турбулентного течения, поскольку именно эти вопросы ставятся при попытке построения теоретических моделей, описывающих развитие такого рода структур. Интересным представляется подход, предложенный в работах А.К.М.Ф.Хусейна и В.С.Рейнольдса. Он заключается в разложении параметров течения на три составляющие: среднюю скорость; организованные пульсации скорости, характеризующие когерентные структуры; и случайные пульсации скорости, или мелко-масштабную турбулентность. В этом смысле важно рассмотрение области параметров, в которой такое разложение может быть осуществлено. Кроме того, ставилась задача изучения преобразования вибраций задней кромки в когерентные структуры и их развития, а также поведения когерентных структур при совместном воздействии звука и вибраций.

Исследования проводились в трубе Т-324 ИТПМ СО АН СССР, схема эксперимента соответствовала приведённой на рисунке 1. На рисунке 7 приведён пример спектра пульсаций скорости при уровне акустического воздействия 116,5 дБ, измеренный в максимуме интегральной интенсивности пульсаций скорости. Видно, что при такой амплитуде когерентной структуры (6,6%) происходит существенное изменение спектра по сравнению с невозмущённым случаем. При этом изменение средней скорости в данной точке достигает 1,5%. В то же время при амплитуде когерентной структуры 1,7% влияния на спектр и на среднюю скорость не наблюдается как в этом сечении, так и в сечениях выше и ниже по потоку.

Вторая когерентная структура была получена в следе при наложении акустического воздействия, содержащего звук двух частот 89 и 318 Гц. Влияния структур ни по отдельности, ни совместно на среднее течение и турбулентный спектр, а также на амплитуду друг друга при уровне пульсаций не превышавшем 2%, не наблюдалось. Не



было отмечено также влияния на фазовые скорости структур, которые для обеих частот равнялись примерно  $0,9c$ . Характер развития каждой структуры (рис. 8) также не изменялся в присутствии другой структуры. Из измерений, приведённых на рисунке 8, также видно, что более высокочастотные возмущения затухают быстрее, чем низкочастотные. Следует отметить, что диапазон возбуждения структур при скорости набегающего потока равной  $10$  м/с ограничен сверху частотой  $2000$  Гц, выше которой структуры не возникали.

При акустическом воздействии всегда имеют место вибрации поверхности, поэтому важно установить, во-первых, что играет определяющую роль в образовании когерентных структур, и, во-вторых, поведение структуры при одновременном воздействии акустики и вибраций.

Для оценки вклада вибрационного возмущения был поставлен следующий эксперимент. Для частоты акустического возмущения  $718$  Гц и амплитуды звука  $116$  дБ были измерены виброускорение задней кромки пластинки (и звук и вибрации были монохроматическими) и амплитуда возникшей когерентной структуры при  $X=3$  мм. Затем звук выключался и с помощью вибратора достигались такие же амплитуды вибраций. В этом случае сигнала от выделенной когерентной структуры на данной частоте не было отмечено. Это показывает, что основной вклад при преобразовании даёт акустические возмущения.

В то же время с увеличением амплитуды вибраций в несколько раз удалось получить амплитуды когерентной структуры примерно такой же величины, как и при акустическом воздействии. Полученная таким образом когерентная структура имеет такие же, как и при акустическом воздействии, амплитудные и фазовые характеристики.

Предшествующие результаты говорят о том, что когерентные структуры могут складываться линейно и, вероятно, суперпозиция структур может быть использована для их подавления. Целью этой части было возбудить когерентную структуру акустическим воздействием, а затем попытаться нарушить её развитие путём изменения фазового соотношения между звуком и вибрационным воздействием на той же частоте от вибратора. Путём подбора мощностей звука и вибраций устанавливался примерно одинаковый уровень структуры при отдельном наложении акустического и вибрационного воздействия. Далее изменялась фаза питающего вибратора сигнала относительно начальной и измерялась амплитуда соответствующей



когерентной структуры (уже при совместном действии акустики и вибраций). Результаты, представленные на рисунке 9, показывают, что действительно, при определённых соотношениях фаз между звуком и вибрациями наблюдаются или подавление или усиление структур в следе, то есть амплитуда интенсивности пульсаций может уменьшаться до уровня турбулентного фона или удваиваться. Аналогичное явление обнаружено ранее К.Гедни для ламинарного пограничного слоя.

В четвёртой главе содержатся результаты исследований течения в следе за плохообтекаемым телом, которые проводились в трубе МГ-324. Схема эксперимента соответствовала приведённой на рисунке I, но вместо тонкой пластинки устанавливалась пластина толщиной  $D=40$  мм, у которой носовая и кормовая части были выполнены в виде полуцилиндров. На носовой части был установлен турбулизатор. Скорость набегающего потока была равна 30 м/с.

Этот тип течения отличается от течений, результаты исследований которых изложены в двух предыдущих главах, тем, что и в отсутствии акустического поля в спектре явно выделяется пик, обусловленный присутствием в следе когерентной структуры типа вихрей Кармана (вихревая дорожка). Распределения средней скорости и интегральной интенсивности пульсаций в пограничном слое модели имели вид, характерный для развитого турбулентного пограничного слоя, и спектры пульсаций скорости не содержат выделенных частот. В то же время в спектре сигнала от датчика в следе за моделью содержится характерная выделенная частота 255 Гц, которую будем называть основной. На рис. 10 приведено распределение интенсивности возмущений на основной частоте (в полосе 4 Гц) в области отрыва пограничного слоя у кормовой части модели. Видно, что амплитуда возмущений постепенно нарастает по продольной координате. Наложение акустического поля с частотой, соответствующей основной частоте приводит к усилению интенсивности возмущений. Следует отметить, что усиление возмущений происходит именно в области отрыва, так как сигнал, обусловленный наличием детерминированного возмущения исчезает уже на расстоянии  $X=-60$  мм вверх по течению. Это, а также отсутствие стабильности фазы, позволяет говорить и о том, что отсутствует взаимное влияние возмущений через область впереди тела. Далее из области отрыва возмущения, соответствующие основной частоте, переходят в область следа, причём расположение максимумов интенсивности возмущений по поперечной координате и в следе примерно соот-



ветствует положениям точек перегиба в профилях средней скорости, а также положениям максимумов интегральной интенсивности пульсаций скорости.

Возмущение с характерной частотой 255 Гц имеет вихревую природу, т.е. является когерентной структурой, о чём свидетельствуют фазовые измерения, проведенные по продольной координате. Фазовые измерения по поперечной координате  $Y$ , проведенные в следе за телом, показали, что фазы возмущений по различные стороны следа отличаются примерно на  $180^\circ$ .

При наложении на течение акустического поля с частотой, отличной от основной, в потоке может возникать дополнительная структура, которая существует в потоке одновременно с основной структурой. То, что это именно структура, т.е. вихревое возмущение, подтверждают фазовые измерения, проведенные совместно с фазовыми измерениями для основной структуры. Так же как и у основной структуры фаза дополнительной структуры начинает изменяться только в области отрыва. Кроме того при подаче на громкоговоритель через смеситель сигнала, содержащего две частоты, отличные от основной, в течении могут существовать три структуры – одна основная и две дополнительных. Следует отметить, что дополнительные структуры не оказывали влияния на основную структуру ни в случае, когда возбуждалась только дополнительная структура, ни в случае, когда возбуждались и дополнительная и основная структуры.

Было обнаружено, что при одинаковой интенсивности звука разных частот соответствующие дополнительные структуры тем не менее различаются по амплитудам. Поэтому была предпринята попытка определения диапазона восприимчивости течения к внешним акустическим возмущениям. На рисунке II приведены результаты измерений, из которых видно, что исследуемое течение имеет диапазон частот, за пределами которого структуры не возбуждаются.

Кроме того в данном течении обнаружено явление "захвата" основной структуры внешним акустическим полем. Из результатов, приведенных на рисунке I2, видно, что в некотором узком диапазоне частот интенсивность основной структуры зависит от частоты внешнего акустического воздействия. Аналогичное явление обнаружено Х.Сато при исследовании ламинарного следа за тонкой пластиной.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы :



1. В работе экспериментально показано, что акустические возмущения преобразуются в когерентные структуры в плоских турбулентных сдвиговых течениях, а именно : в турбулентном следе за тонкой пластинкой, в турбулентном следе за профилем, в отрывном течении за уступом, в области за турбулентной струёй в поперечном потоке, в турбулентном следе за плохообтекаемым телом. Для каждого типа течения показано, в какой области происходит это преобразование. Получены распределения в пространстве возмущений скорости, характеризующие когерентные структуры, а также фазовые скорости распространения этих структур. При вибрациях пластинки в следе за ней возникают когерентные структуры, обладающие теми же свойствами, что и структуры, генерируемые акустическим полем. Следовательно, вид структуры не зависит от выбора акустического или вибрационного воздействия.

2. Для отрывного течения за уступом и следа за плохообтекаемым телом получены кривые восприимчивости течения к акустическим возмущениям. Таким образом, для исследованных в работе турбулентных течений, как и для ламинарных, можно говорить о правомерности математической постановки проблемы восприимчивости потока к внешним акустическим возмущениям.

3. В турбулентном следе за тонкой пластинкой при интенсивности возникающей под воздействием звука когерентной структуры не превышающей определённой величины влияния структуры на среднее течение и на турбулентный спектр не наблюдается.

4. Для этого же течения показано, что при акустическом воздействии в потоке возможно возникновение двух структур, которые могут развиваться, не взаимодействуя друг с другом, следовательно, для такого течения выполняется принцип суперпозиции структур. Таким образом, изложенные в работе экспериментальные результаты по развитию когерентных структур в турбулентном следе за тонкой пластинкой подтверждают, что линейная постановка задачи об устойчивости такого течения представляется правомерной.

5. Совместное воздействие звука и вибраций в зависимости от фазового соотношения между ними может уменьшать или увеличивать интенсивность когерентных структур, возникающих в следе за тонкой пластинкой. Одним из возможных приложений этого результата может быть использование совместного воздействия звука и вибраций для управления генерацией и развитием когерентных структур в турбу-



лентном следе.

6. Для турбулентного следа за плохообтекаемым телом показано существование явления "захвата", при котором в узком диапазоне частот наблюдается влияние внешнего акустического воздействия на интенсивность основной структуры.

1. Яненко Н.Н., Бардаханов С.П., Козлов В.В. Образование когерентных структур в турбулентном следе при акустическом воздействии. - Докл. АН СССР, 1984, т.274, №1.
2. Бардаханов С.П., Козлов В.В. Преобразование акустических возмущений в вихревые на неоднородностях в турбулентных потоках. - В кн.: Тезисы докладов III Всесоюзного симпозиума по физике акустико-гидродинамических явлений и оптоакустике. Ташкент, 1982.
3. Яненко Н.Н., Бардаханов С.П., Козлов В.В. Преобразование акустических возмущений в вихревые в турбулентных потоках. - В кн.: Неустойчивость до- и сверхзвуковых течений. Новосибирск, 1982.
4. Бардаханов С.П., Козлов В.В., Яненко Н.Н. Преобразование акустических возмущений в когерентные структуры в турбулентном следе за профилем. - ИЖ, 1984, т.47, №4.
5. Бардаханов С.П., Козлов В.В. Экспериментальное исследование развития когерентных структур в турбулентном следе за тонкой пластинкой. - Новосибирск, 1984. (Препринт/АН СССР. Сиб. отделение. Ин-т теор. и прикл. механики; 14-84).
6. Yanenko N.N., Bardakhanov S.P., Kozlov V.V. Transformation of acoustic oscillations into the eddy ones in turbulent flows. - In: Proceedings of IUTAM Symposium on Turbulence and Chaotic Phenomena in Fluids. Kyoto, 1983. North-Holland Publishers, 1984.
7. Бардаханов С.П. Детерминированные структуры в турбулентных потоках. - В кн.: Гидродинамика и акустика одно- и двухфазных потоков. Новосибирск, 1983.

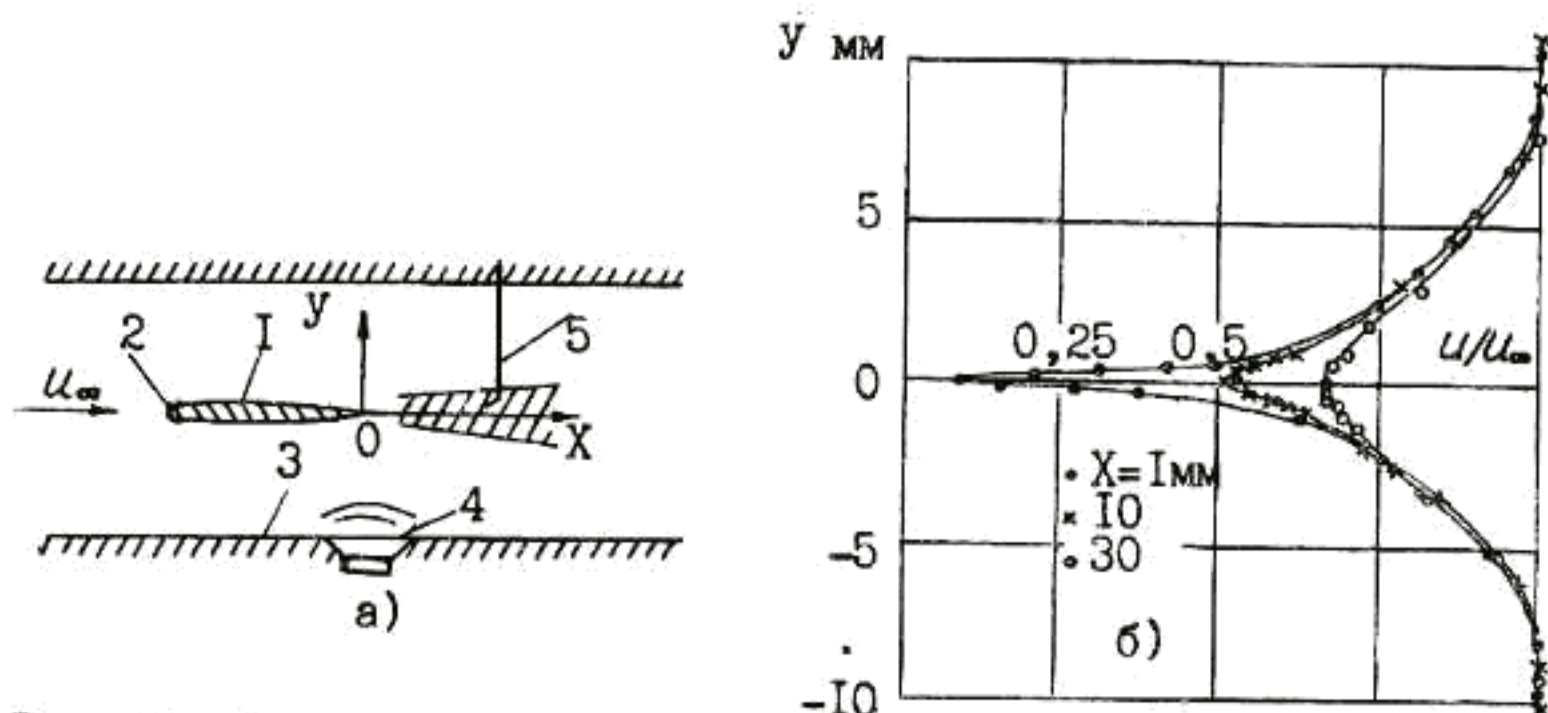


Рис. 1. а) Схема экспериментов: 1-модель, 2-турбулизатор, 3-стенка рабочей части, 4-громкоговоритель, 5-датчик термоэлемента. б) Распределение средней скорости в турбулентном следе за тонкой пластинкой.

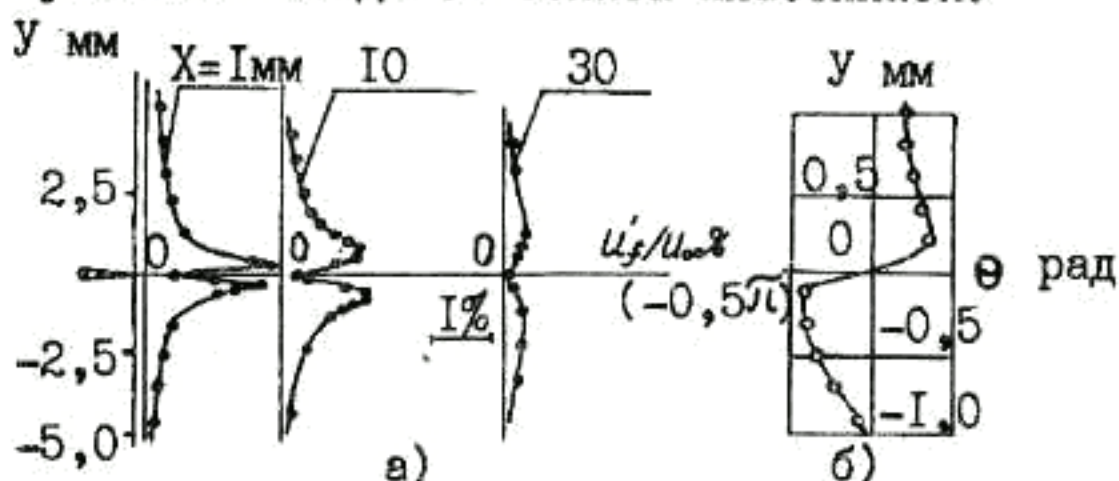


Рис. 2. а) Распределение приращений пульсаций скорости.  $f = 518$  Гц,  $A_{зв} = 101$  дБ. б) Распределение фазы возмущений скорости ( $X = 5$  мм).

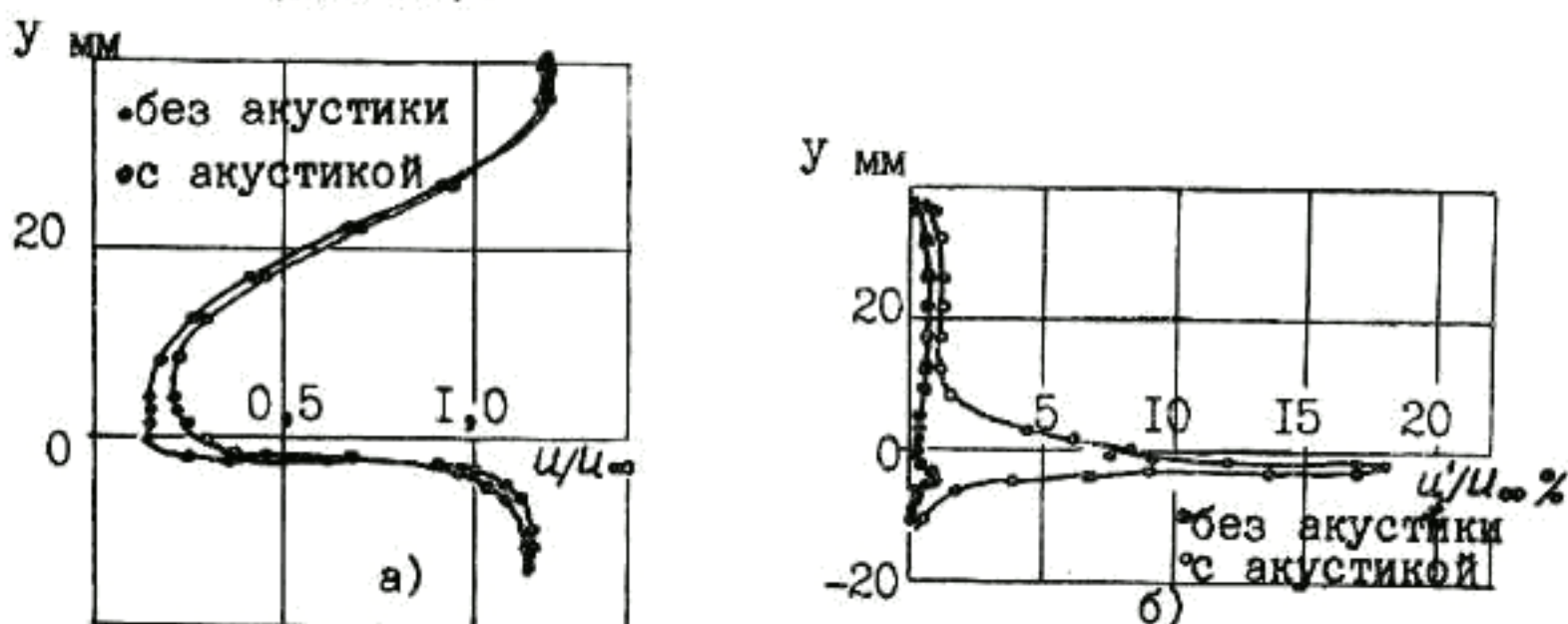


Рис. 3. Распределение средней скорости а) и вырезанной в полосе 4 Гц интенсивности пульсаций скорости б) в турбулентном следе за профилем под углом атаки  $8,5^\circ$ .  $X = 5$  мм.  $f = 518$  Гц,  $A_{зв} = 112$  дБ.



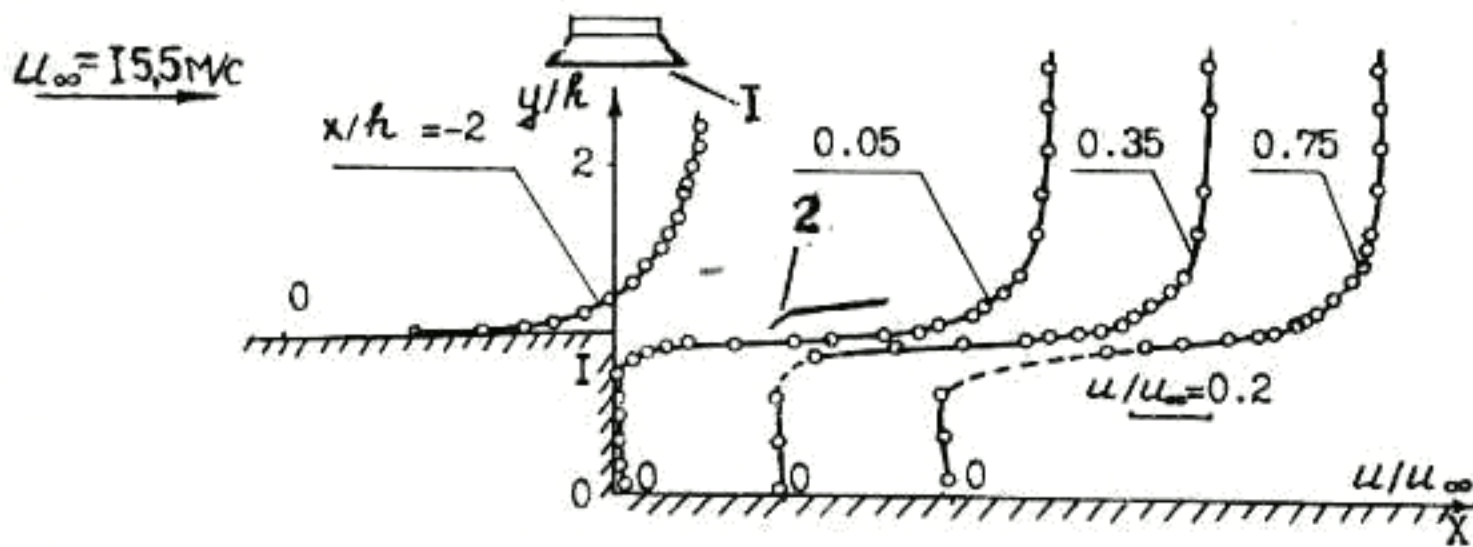


Рис. 4. Распределение средней скорости в отрывном течении за уступом. 1-громкоговоритель, 2-датчик термоанемометра.

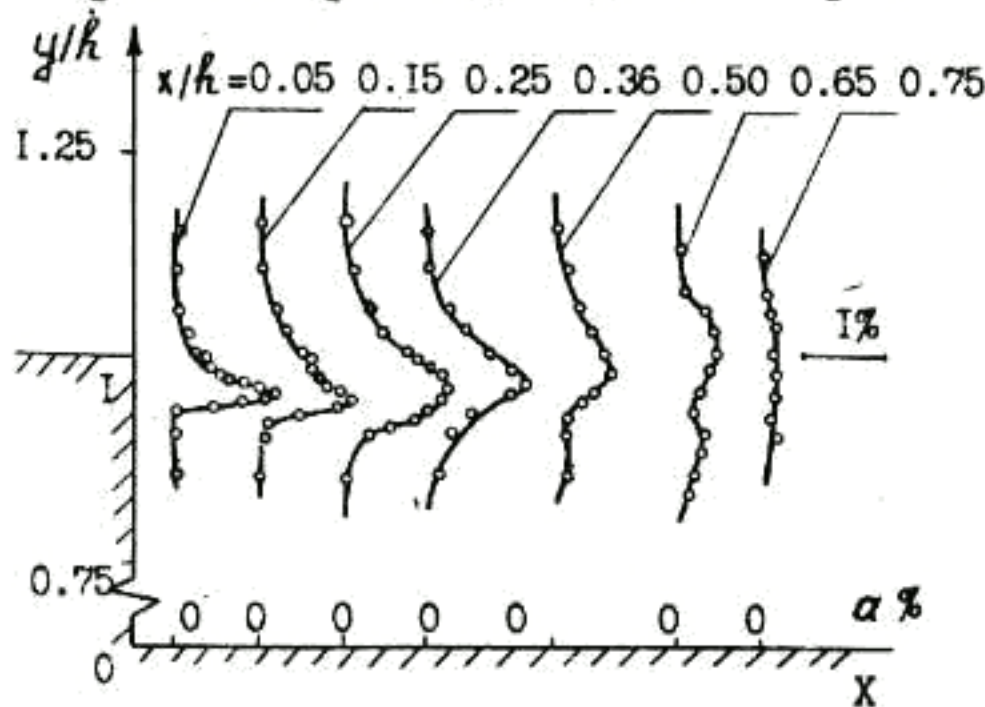


Рис. 5. Распределение интенсивности когерентной структуры за уступом.  $f=1072$  Гц,  $A_{3B}=116$  дБ.

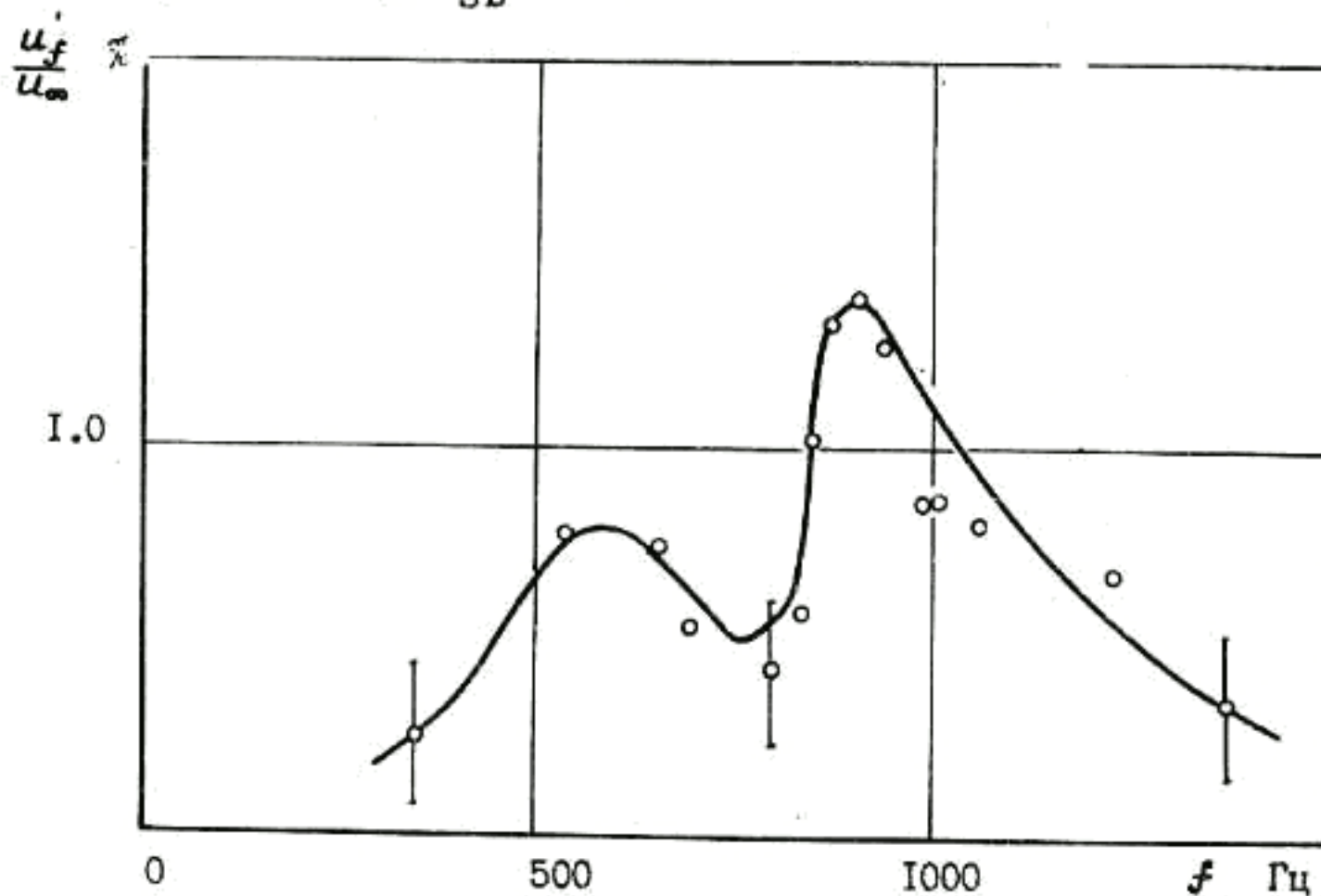


Рис. 6. Диапазон восприимчивости.  $x/h=0,35$ ,  $y \approx y_{\text{макс}}$ .

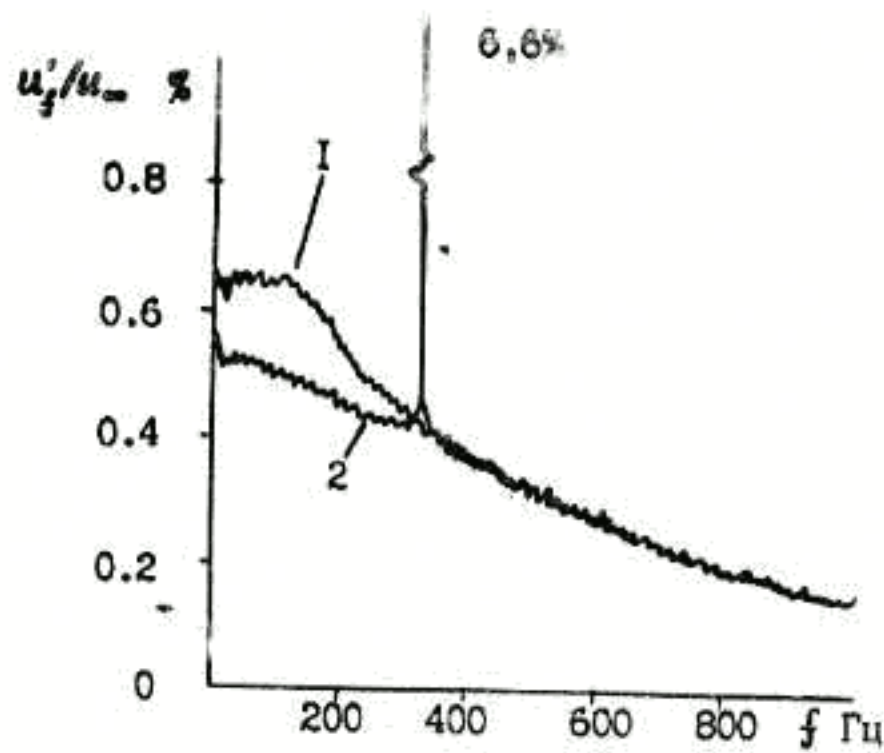


Рис. 7. Спектр пульсаций скорости в следе за пластинкой.  $X=15$  мм,  $Y=1,5$  мм. 1-без акустического воздействия, 2-с акустическим воздействием  $f=318$  Гц,  $A_{ЗВ}=116,5$  дБ.

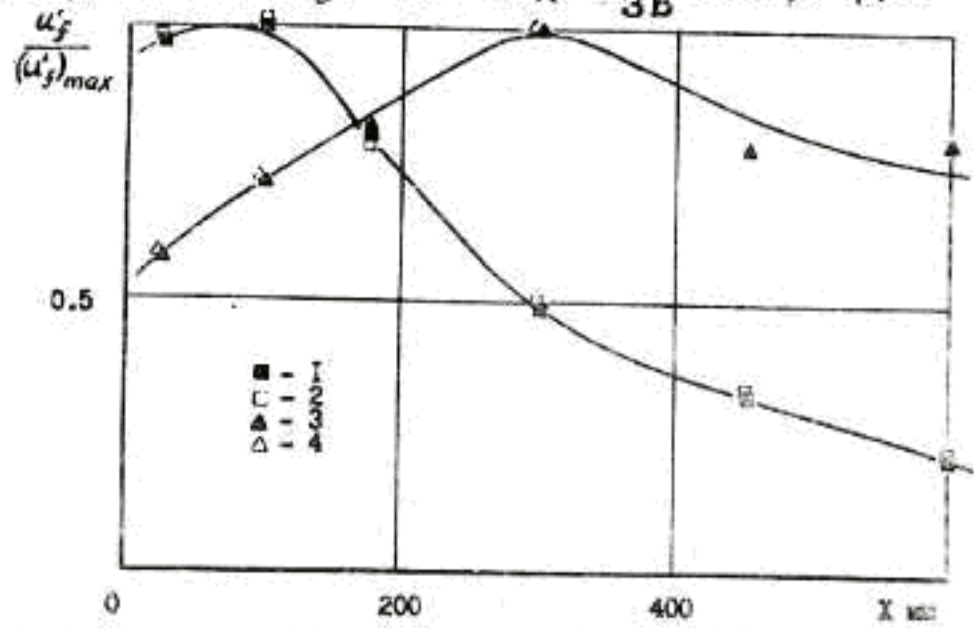


Рис. 8. Зависимость амплитуды когерентной структуры от продольной координаты. 1,3-при раздельном наложении звукового поля с частотами 318 Гц и 89 Гц соответственно, 2,4-при одновременном наложении звукового поля с частотами 318 и 89 Гц.

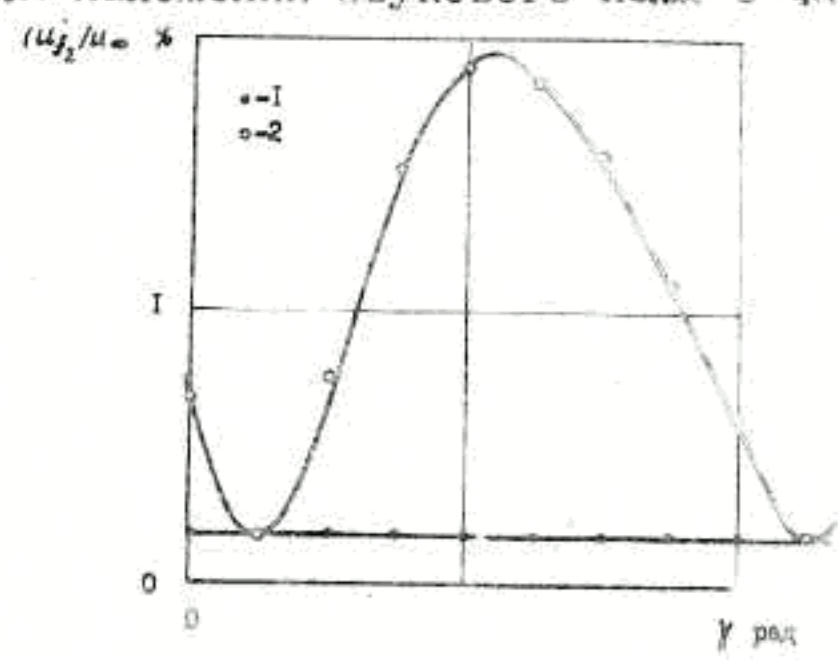


Рис. 9. Зависимость амплитуды пульсаций скорости в следе от разности фаз между акустическим и вибрационным воздействиями. 1-интенсивность турбулентного фона, 2-интенсивность пульсаций скорости при совместном воздействии звука и вибрации.



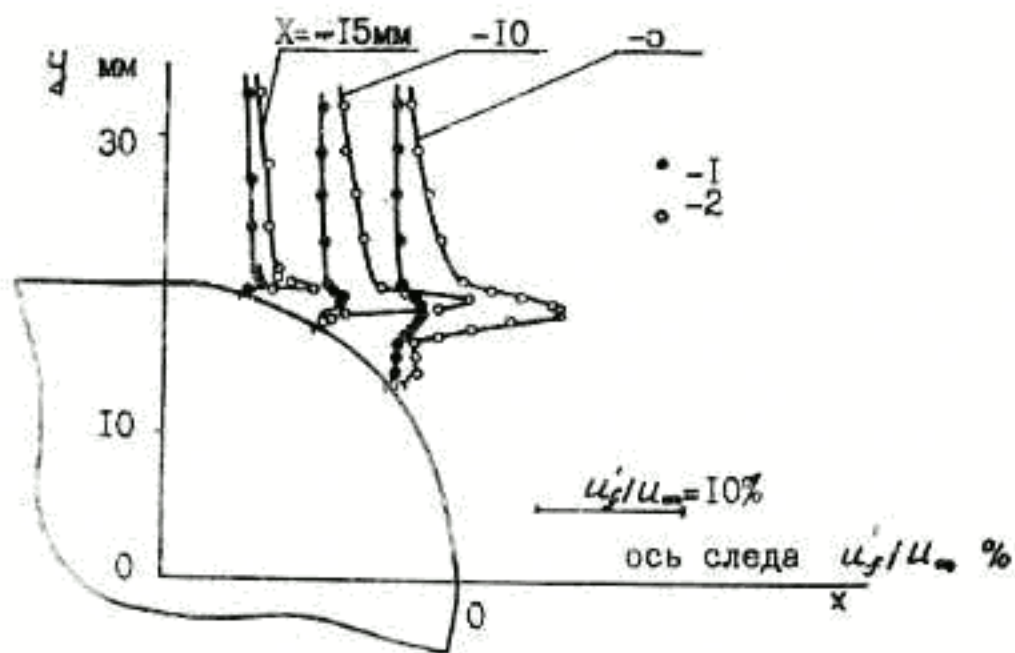


Рис. 10. Распределение интенсивности основной структуры в области отрыва. 1-без акустики, 2-с акустикой  $f=255$  Гц,  $A_{ЗВ}=125$  дБ.

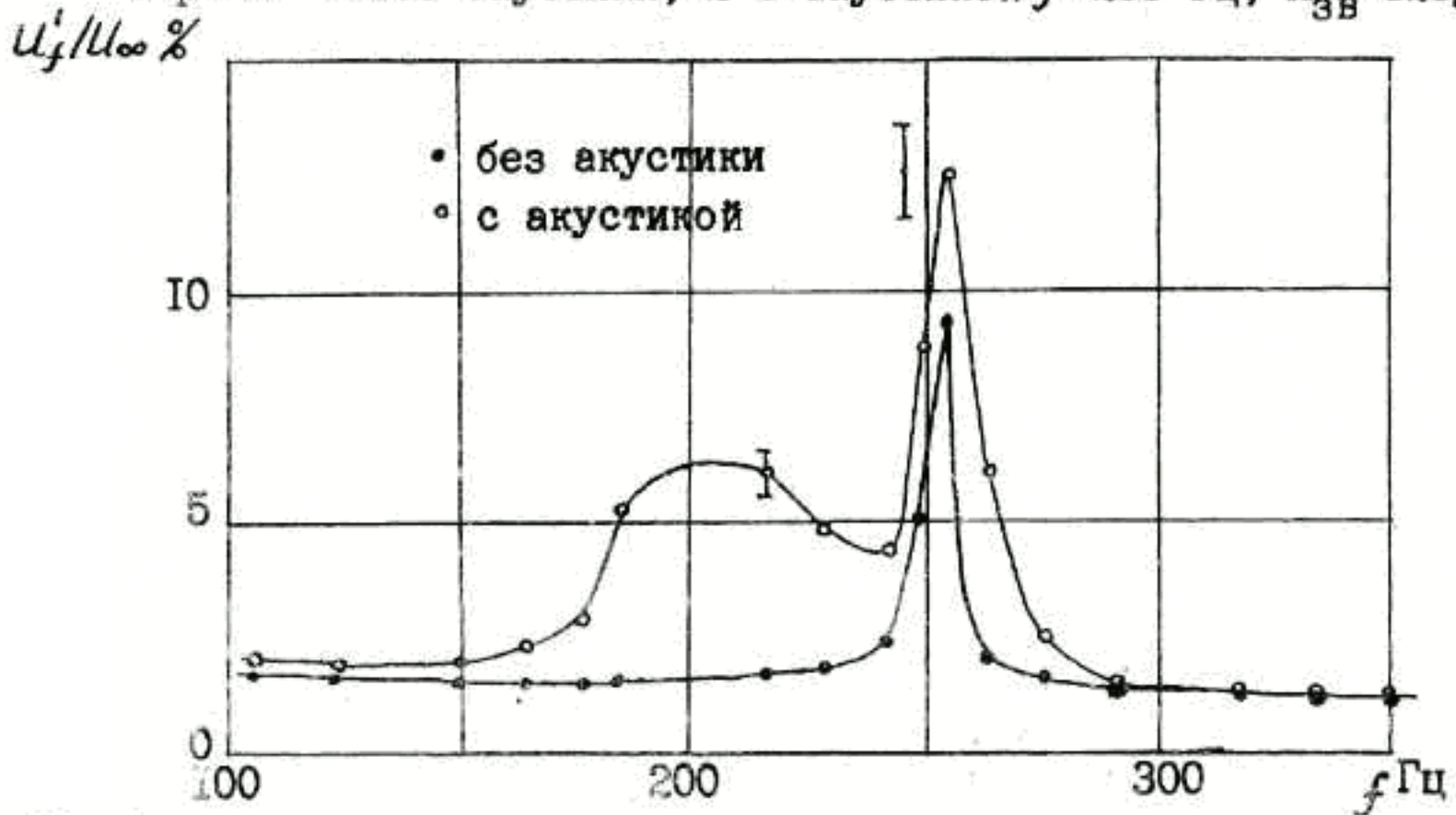


Рис. 11. Диапазон восприимчивости.  $X/D=0,5$ ,  $Y \approx Y_{\max}$ ,  $A_{ЗВ}=120$  дБ.

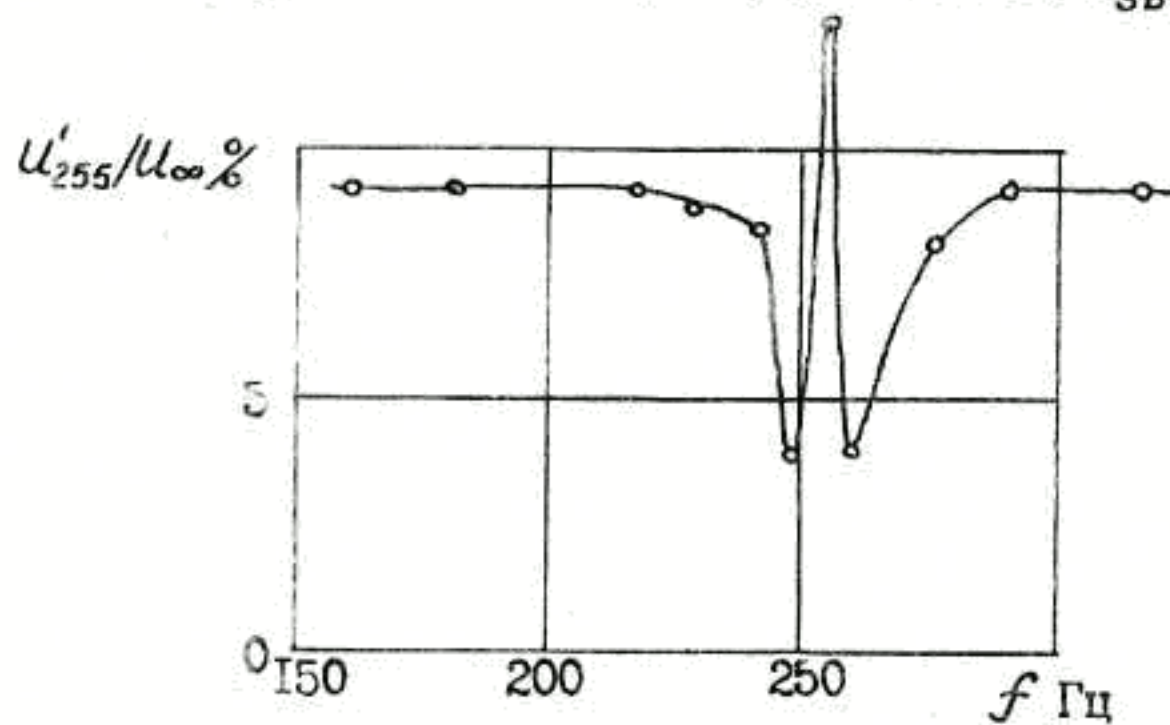


Рис. 12. Зависимость амплитуды основной структуры от частоты внешнего акустического воздействия.



Ответственный за выпуск

Бардаханов С.П.

---

Подписано к печати 2.II.84г.

МН 05412

Формат бумаги 60 x 84/16, Тираж 100, Уч.изд.л. 1,0.

Заказ № 52 , Бесплатно

---

Отпечатано на ротапинтере ИТПМ СО АН СССР,  
630090, Новосибирск, 90, Институтская, 4/1.