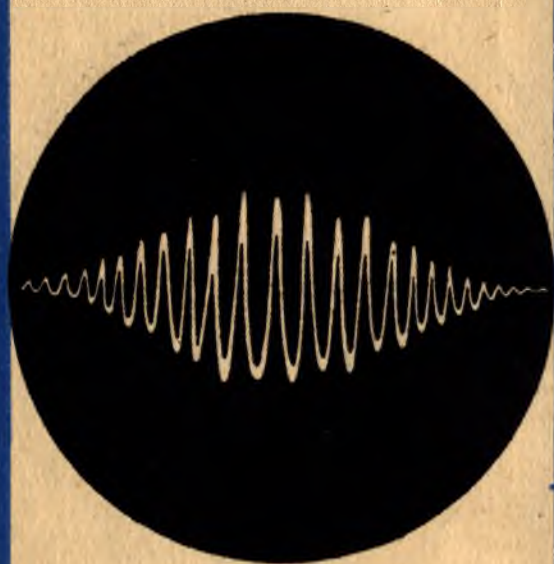
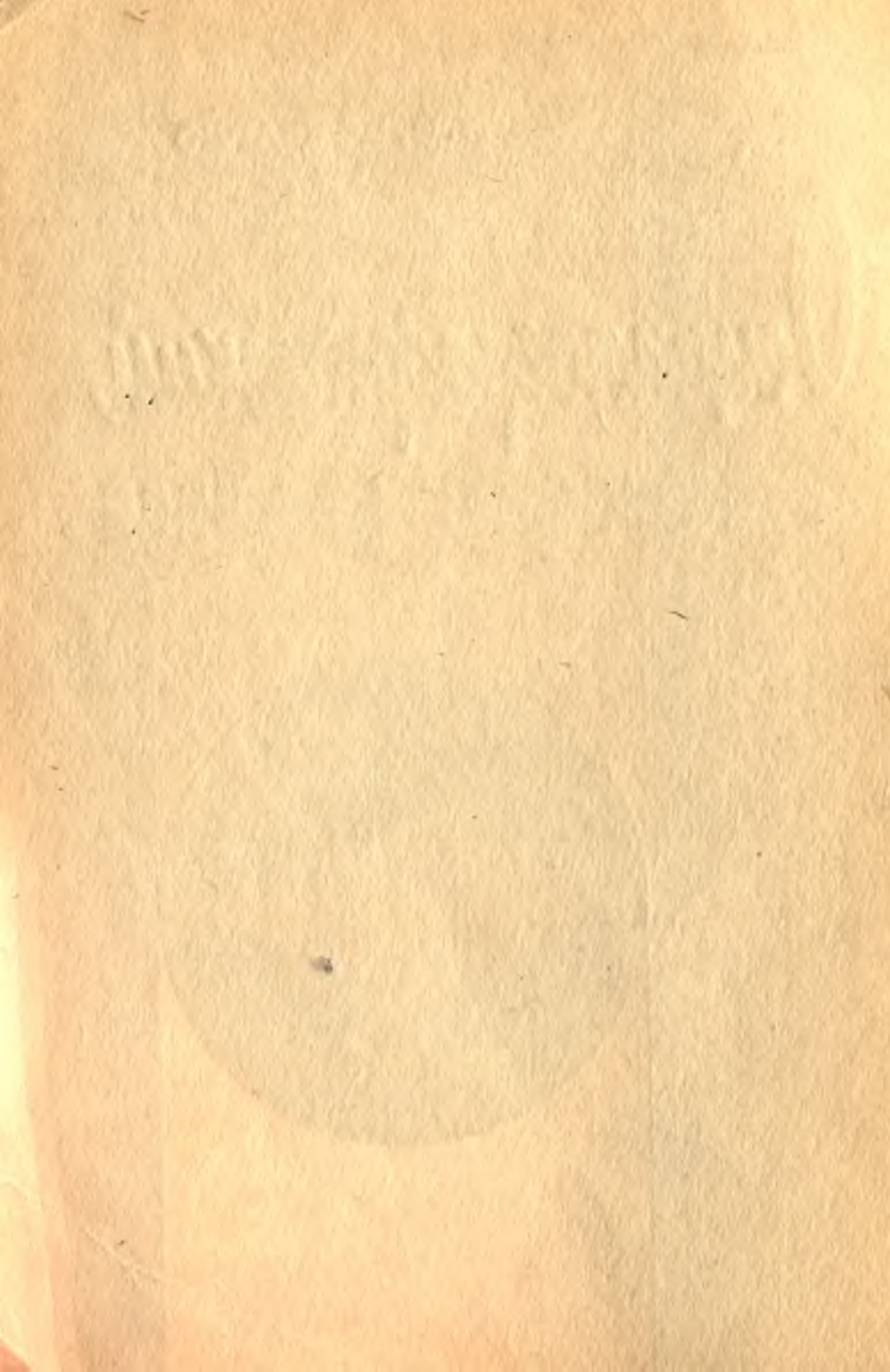


252

Л. В. БОНДАРКО

Осциллографический анализ речи





ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

Л. В. БОНДАРКО

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЧИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1965

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета*

Книга представляет собой сжатое изложение основных принципов и возможностей работы со шлейфным осциллографом в лаборатории экспериментальной фонетики. На примере русского языка демонстрируется, как фонетически интерпретируется материал, получаемый при осциллографировании речи.

Книга может быть полезна научным работникам, занимающимся экспериментально-фонетическими исследованиями различных языков, студентам и аспирантам, проходящим подготовку к таким исследованиям, а также специалистам по изучению речи в ее нелингвистических аспектах (акустика, физиология, патология).

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы лингвистика все больше приближается к точным наукам. Это особенно заметно в экспериментальной фонетике, предметом которой является звучащая речь. Уже с самого начала инструментального изучения звуков речи фонетисты ставили задачу не только обнаружить то или иное явление, но и определить его количественно. Такие требования еще более остро ставятся перед лингвистами, акустиками и инженерами связи, которые рассматривают речь как полезный сигнал, передаваемый на фоне помех. Для того, чтобы этот сигнал мог быть выделен, необходимо знать его точные количественные характеристики (интенсивность, спектральный состав, длительность и т. д.). Необходимость точного и объективного анализа речи возрастает в связи с проблемами устного ввода в переводные машины, а также и с более широкой проблемой автоматического распознавания речи.

В настоящее время имеются возможности для самого тщательного анализа речи при помощи современной и совершенной аппаратуры (спектрографы и полосные анализаторы, катодные и шлейфные осциллографы и т. д.). Однако спектрографы и анализаторы не всегда доступны для лабораторий экспериментальной фонетики в связи с их высокой стоимостью и необходимостью специального обслуживающего персонала. С другой стороны, регистрация звучащей речи пневматическим или электрическим кимографом в настоящее время уже не может считаться достаточно надежным и удобным методом.

В связи с этим встает вопрос о необходимости использовать для экспериментально-фонетических целей какой-либо другой прибор, который удовлетворял бы следующим условиям:

- а) давал бы необходимые сведения о записываемых звуках;
- б) был бы надежен в отношении показаний;
- в) был бы удобен в работе;

г) являлся бы доступным по цене и не требующим специального квалифицированного обслуживания.

Практика экспериментальной работы показывает, что такими приборами являются шлейфные осциллографы.

Назначение шлейфного осциллографа — преобразование электрических сигналов, поступающих на вход осциллографа, в колебания луча света, фиксирующиеся на фотопленке или фотобумаге.

Осциллографические записи речи служат материалом для фонетического анализа уже давно (Джемелли и Пастори, Флетчер и др.). В Советском Союзе в целом ряде лабораторий экспериментальной фонетики имеются шлейфные осциллографы. Наиболее подробно методика получения и обработки осциллограмм была разработана несколько лет тому назад И. П. Сунцовой и ее сотрудниками.¹

В наших лабораториях распространен восьмишлейфный осциллограф Н-102, выпускаемый ленинградским заводом «Вибратор» (или более ранняя модель этого же осциллографа — МПО-2).

Цель данной работы — дать в руки фонетиста-экспериментатора описание основных принципов работы с осциллографом, методы получения осциллографических записей и их анализа. До сих пор такого свода правил работы не существует. Эта книга основана на опыте осциллографирования фонетического материала в Лаборатории экспериментальной фонетики ЛГУ, проводившегося там начиная с 1958 года, на осциллографе Н-102.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ С ОСЦИЛЛОГРАФОМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РЕЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАММ

На вход осциллографа подается звуковой сигнал,² преобразованный в электрические колебания. При этом имеется две возможности: в первом случае звуковой сигнал подается на микрофон, служащий преобразователем, и затем через усилитель поступает на вход осциллографа; осциллографическая запись производится, так сказать, с голоса. Во втором случае звуковой сигнал, который должен быть зарегистрирован с помощью осциллографа, записывается предварительно на магнитную ленту, а дальнейшие съемки на осциллографе производятся уже с этой ленты, без участия диктора, речь которого должна быть исследована.

¹ И. П. Сунцова, Л. И. Проколова и В. А. Скворцов. К вопросу о применении шлейфного осциллографа в экспериментально-фонетических исследованиях. Тезисы докладов XII научной сессии. КГУ, 1955.

² Звуковым сигналом здесь и далее называется отрезок звучания любой длины — от части звука речи до целого набора фраз.

В Лаборатории экспериментальной фонетики Ленинградского университета используется именно последний способ получения осциллограмм. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с записью непосредственно с микрофона, а именно, дает возможность:

- 1) сопоставления осциллографических данных со звучанием;
- 2) сопоставления осциллограмм со спектрограммами, которые могут быть получены с этой же магнитной записи;
- 3) осциллографирования материала, полученного вне лаборатории (диалектологические записи и т. д.);
- 4) более тщательной отработки условий осциллографирования каждого конкретного случая;
- 5) экономного расхода киноплёнки, на которой фиксируется осциллограмма, посредством предварительного монтажа магнитофонной записи.

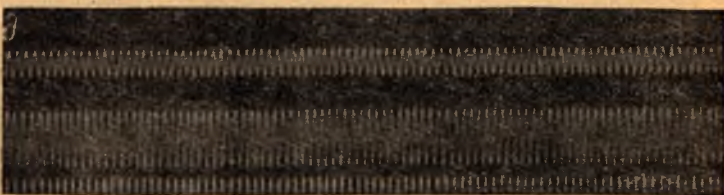
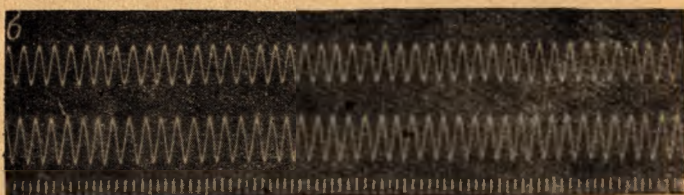
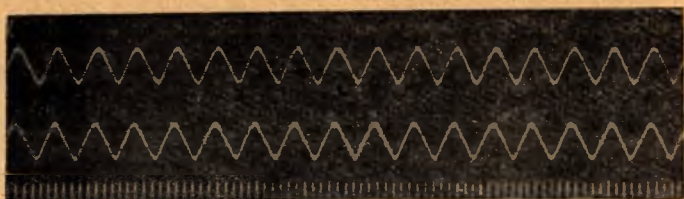
Поступивший на вход осциллографа звуковой сигнал, преобразованный тем или иным путем в электрические колебания, попадает на вибратор (шлейф) осциллографа, который является преобразователем электрических колебаний в колебания светового луча. Принцип его работы заключается в следующем.

Вибратор представляет из себя сосуд, наполненный маслом. В масле проходит металлическая петля, концы которой соединены с входом осциллографа; на них поступает регистрируемый сигнал. Вокруг петли существует постоянное магнитное поле. В этой петле закреплено зеркальце. Когда на вход вибратора не поступает сигнала, и петля и зеркальце находятся в покое. Когда же на вход поступает электрический сигнал, металлическая петля вместе с укрепленным в ней зеркальцем начинает колебаться; при этом частота и интенсивность колебаний зависит от частоты и интенсивности поступающего электрического сигнала, т. е. в конечном счете, от акустических характеристик записываемого звукового сигнала.

Зеркальце, укрепленное в петле, освещается источником света и отбрасывают луч на пленку, а также на экран осциллографа. Таким образом можно визуально наблюдать на экране осциллограмму, которая фиксируется в это время на пленке.³

При работе с осциллографом Н-102 (и МПО-2) звуковой сигнал может быть подан одновременно на 8 вибраторов, т. е. можно получить на киноплёнке изображение сразу восьми кривых. Однако практически эти возможности не используются, обычно на ленте пишутся 1—2 кривые и кривая отметчика времени.

³ Более подробное описание оптической схемы и принципов работы осциллографа прилагается заводом к каждому экземпляру прибора.



Качество осциллограммы, а также и количество сведений об исследуемом звуковом сигнале обусловлено целым рядом факторов. Чисто внешние характеристики (четкость изображения, чистота полученного негатива) зависят от ширины диафрагмы которая может регулироваться по желанию экспериментатора, и от чувствительности киноплёнки, на которую записывается осциллограмма. Обычно используется негативная киноплёнка чувствительностью от 90 единиц и выше. Качество же осциллограммы, с точки зрения содержащейся в ней информации, определяется двумя обстоятельствами: выбором вибратора и выбором скорости движения киноплёнки.

Выбор вибратора. Имеющийся при каждом осциллографе набор вибраторов обеспечивает запись широкой полосы частот. Речевые частоты (т. е. частоты от 50 до 10 000 гц) входят полностью в эту полосу. Для того чтобы записываемый звуковой сигнал не искажался ни по частоте, ни по амплитуде, собственная частота вибратора должна быть в 3—4 раза выше записываемой.

Несоблюдение этого условия приводит к тому, что при повышении частоты звукового сигнала амплитуда его на осциллограмме уменьшается (рис. 1, *а, б, в, г, д, е*), когда исследуемая частота превышает собственную частоту вибратора, сигнал вообще не регистрируется (рис. 1, *ж, з*).

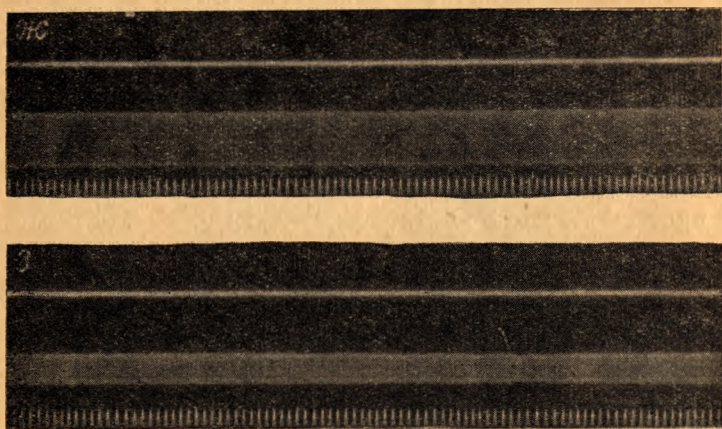


Рис. 1. Осциллограммы чистых тонов, записанных вибраторами с разными собственными частотами (верхняя кривая — собственная частота вибратора 1200 гц — тип VIII; средняя — собственная частота вибратора 10 000 гц — тип II; нижняя — отметчик времени 500 гц).

Частота чистого тона:

а — 100 гц; *б* — 250 гц; *в* — 300 гц; *г* — 400 гц; *д* — 500 гц; *е* — 1000 гц; *ж* — 25 000 гц; *з* — 6000 гц.

Из сказанного ясно, что в тех случаях, когда характеристики сигнала по амплитуде представляют интерес для исследователя, требования к собственной частоте вибратора должны быть жесткими; если же амплитудой сигнала можно пренебречь (т. е. когда нас интересует только наличие или отсутствие звука, а не его интенсивность), нужно, чтобы собственная частота вибратора была несколько выше частоты записываемого сигнала.

При анализе фонетического материала имеют значение три области частот:

1) низкие частоты (от 50 до 400 *гц*), охватывающие область частоты основного тона; естественно, что запись этих частот имеет особенное значение при изучении мелодики и вопросов, связанных с характеристиками звуков по признакам глухости — звонкости;

2) средние частоты (200—4000 *гц*), характерные для акустического состава гласных;

3) высокие частоты (1000—10000 *гц*), характеризующие согласные.

Выбор вибратора, естественно, обусловлен конкретными задачами исследования: для анализа мелодики очень удобны записи низкочастотного вибратора (до 1200 *гц*), при анализе отдельных фонетических явлений внутри звуков речи необходима точная регистрация всех составляющих частот, поэтому нужно вести регистрацию сигнала с вибратора, имеющего максимальную собственную частоту.

Естественно, что получение сигнала одновременно с того и другого вибратора делает осциллограмму более удобной для любого анализа.

Из рис. 2 видно,⁴ что вибратор типа VIII может быть легко использован при измерениях основного тона, так как он дает более простую по форме периодов кривую; однако разделить такую осциллограмму на отдельные участки, соответствующие входящим в состав фразы звукам, в частности, провести границу между *с* и *н'* — невозможно. Зато кривая с вибратора типа II, более сложная и подробная, дает достаточно сведений для членения фразы.

Выбор скорости движения киноплёнки при съёмке осциллограммы.

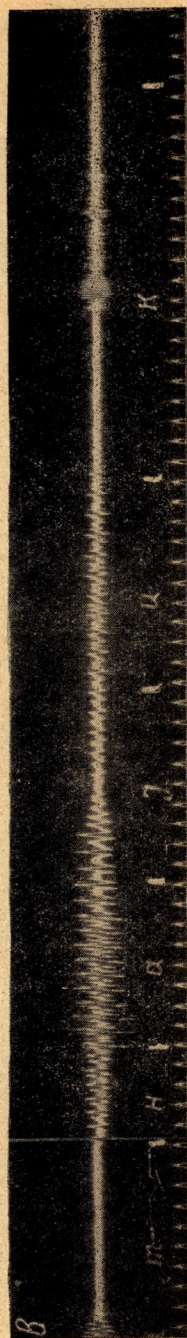
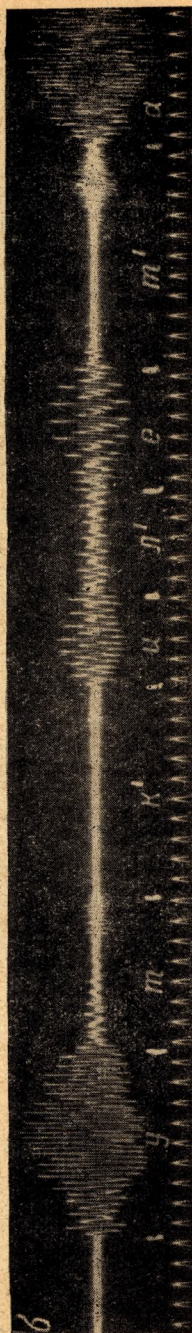
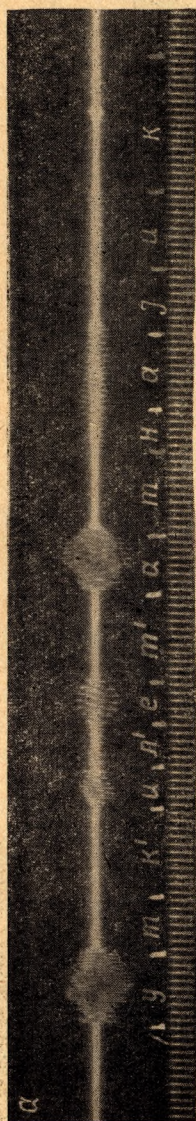
Осциллограф Н-102 может работать с различными скоростями движения киноплёнки — от 1 до 5000 *мм/сек*⁵. Чем больше

⁴ Почти на всех приводимых осциллограммах частота отметчика времени — 500 *гц*. В остальных случаях частота отметчика времени указывается в подписях к рисункам.

⁵ В этом диапазоне возможны следующие скорости: 1, 2, 4, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000, 5000 *мм/сек*.



Рис. 2. Осциллограмма предложения *Сама слышит*. Верхняя кривая с вибратора типа VIII (1200 гц), нижняя — с вибратора типа II (10 000 гц).



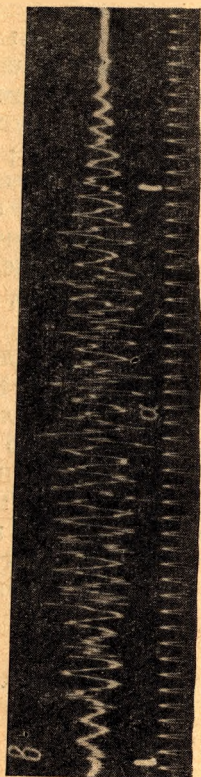


Рис. 3. Осциллограммы:
 а — предложения Утки летят на юг, скорость съемки 100 мм/сек; б — то же, скорость съемки 250 мм/сек; в — гласного а из слова летят, скорость съемки 1000 мм/сек; г — то же, скорость съемки 2000 мм/сек.

скорость движения пленки, тем более развернутым получается рисунок. Выбор скорости связан, конечно, с конкретной задачей исследования: для получения данных об общей длительности фраз, слов, пауз и других крупных отрезков звучания лучше брать маленькие скорости (50 и 100 мм/сек); для работы по исследованию мелодики и вообще интонации удобнее скорости 250 и 500 мм/сек; наконец, для анализа фонетических особенностей тех или иных звуков — большие скорости (1000 и 2000 мм/сек).

Особенности осциллограмм, полученных с разными скоростями движения пленки, видны хорошо (рис. 3). При скорости 100 и 250 мм/сек получается сжатая картина всей фразы (рис. 3а, б). По этим осциллограммам можно подсчитать и длительность ее целиком, и длительность отдельных звуков, а также судить об интенсивности разных гласных, входящих в ее состав. При больших скоростях съемки — 1000 и 2000 мм/сек (рис. 3 в, г) — достаточно отчетливо регистрируются особенности отдельных звуков — например, изменения формы периодов гласного, вызванные неоднородностью его звучания. Неоднородность гласного *а* может быть очень легко обнаружена на осциллограмме (рис. 3, в).

При различных скоростях съемки необходимо пользоваться разными отметчиками времени. На больших скоростях (500 мм/сек и выше) обычно записывают с отметчиком 500 гц, т. е. расстояние между двумя соседними вершинами колебаний отметчика соответствует времени 0,002 сек (1/500 сек); при малых скоростях съемки — 100 гц; в этом случае расстояние между двумя соседними колебаниями соответствует времени 0,01 сек. Можно записывать осциллограмму одновременно с двумя отметчиками. В таком случае счет сотых долей секунды ведется по отметчику времени 100 гц, а определение длительности, меньшей чем сотая доля секунды — по отметчику 500 гц.

После выбора вибратора и скорости записи осциллограммы остается установить амплитуду звукового сигнала. Величина амплитуды контролируется визуально, на экране осциллографа, по отклонению светового пятна от нулевой линии. Это отклонение не должно выходить за пределы экрана, а если записываются одновременно кривые с двух шлейфов, то амплитуды должны быть установлены так, чтобы эти кривые не пересекались. Амплитуда регулируется или путем изменения громкости воспроизведения на магнитофоне, или изменением сопротивления магазина шунтов и добавочных сопротивлений, через который подается сигнал с магнитофона на осциллограф.

Отметчик времени, как правило, располагается в нижней части экрана; на осциллограмме он будет находиться тогда внизу, если держать ее эмульсионной стороной к себе (начало записи — слева).

Различные группы звуков речи имеют определенные и постоянные характеристики, которые и фиксируются на осциллограмме. Но некоторые характеристики могут меняться как от звука к звуку, так и от диктора к диктору.

Гласные. Гласные с акустической точки зрения представляются собой периодические (точнее, квазипериодические) колебания, вызванные действием голосовых связок и осложненные характерными частотами, создающими специфику звучания каждого гласного. На осциллографической кривой гласные изображаются как последовательность более или менее одинаковых по рисунку участков, соответствующих периоду основного тона.

Осциллограммы русских гласных, произнесенных изолированно (мужское и женское произношение — рис. 4 и 5), достаточно отчетливо демонстрируют некоторые важные акустические свойства гласных. Прежде всего это касается частотной характеристики, т. е. того, какие именно гармонические составляющие усилены в спектре каждого гласного и создают его собственное качество, отличающее его от других гласных. Гласный *у* в произношении обоих дикторов имеет наиболее простую кривую, так как в спектре *у* усилены преимущественно низкие частоты; в результате сложения частоты основного тона со сравнительно низкими характерными частотами общий рисунок периода и получается таким простым.

Осциллограмма гласного *и*, с одной стороны, приближается к осциллограмме гласного *у*, так как в спектре *и* также имеется низкая частота (так называемая первая форманта гласного *и*), которая, складываясь с частотой основного тона голоса, создает характерный «двугорбый» рисунок периода. Однако, в отличие от *у*, в спектре гласного *и* содержатся также и довольно высокие составляющие частоты, которые, правда, гораздо слабее, чем низкие. О присутствии высоких частот свидетельствуют слабые колебания, которые в виде своеобразной «щеточки» накладываются на рисунок периода основного тона.

В принципе такую же картину представляет и осциллограмма гласного *ы*, частотные характеристики которого очень близки к характеристикам *и*.

Наиболее сложный рисунок имеет гласный *а*; это связано с особенностями его спектральных характеристик: в спектре *а* значительно усилены частоты вплоть до 1000 *гц*. На осциллограмме специфика гласного *а*, отличающая его от *у*, *и*, *ы* видна очень хорошо.

Похожий осциллографический рисунок имеет и гласный *е*, однако, как правило, осциллограммы гласного *е* содержат и высокочастотные составляющие (как у гласного *и*, например), чего нет в гласном *а*. В рассматриваемом случае приводится осциллограмма открытого *е*, произнесенного изолированно. В словах, в



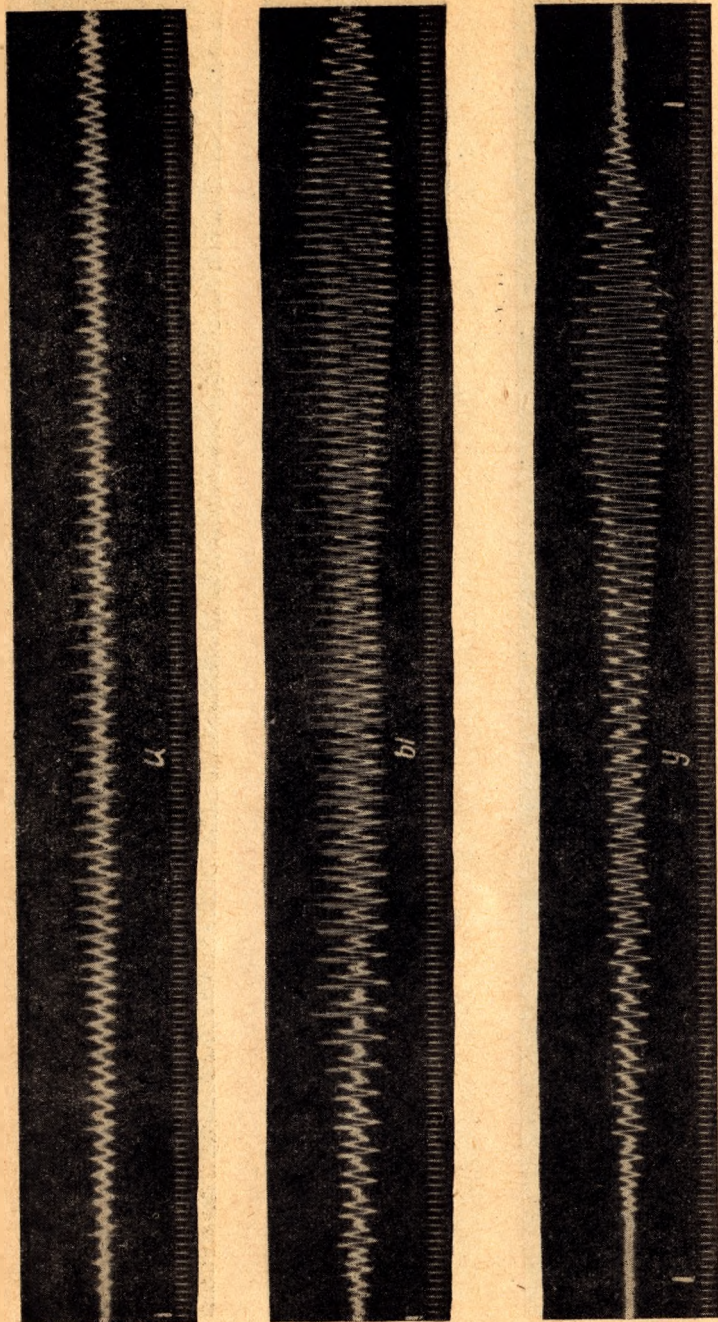
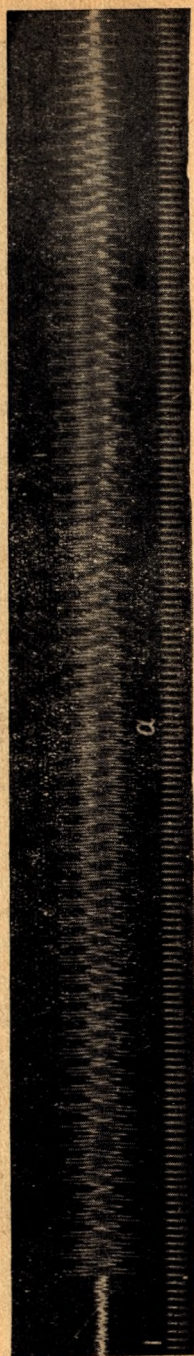


Рис. 4. Осциллограммы гласных (мужской голос).



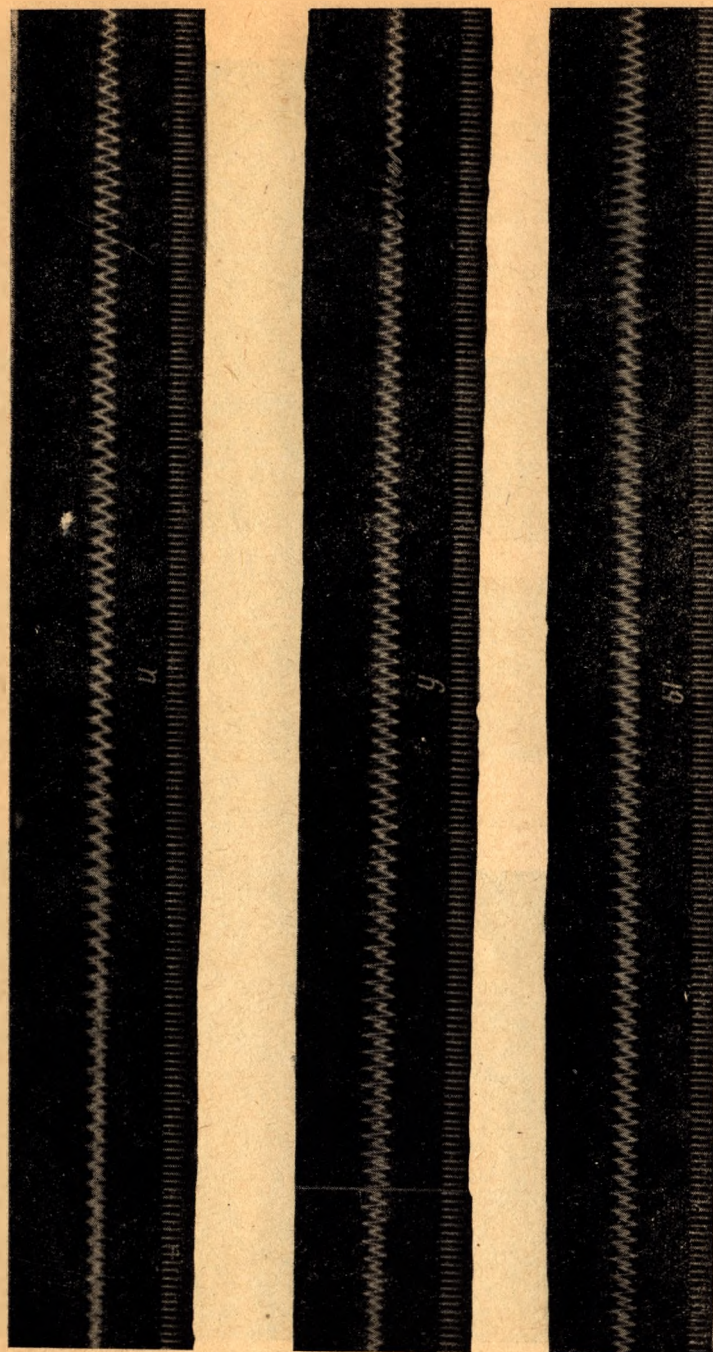
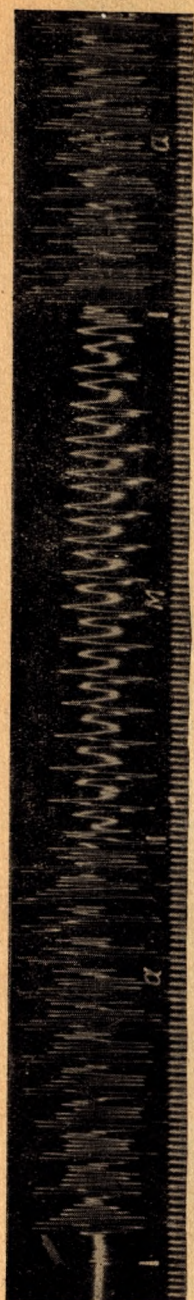


Рис. 5. Осциллограммы согласных (женский голос)



соседстве с мягкими согласными (что для русского *е* наиболее характерно), он становится более закрытым, и рисунок его приближается к рисунку гласного *и*.

Осциллограмма гласного *о* свидетельствует о том, что в его спектре обнаруживается большое количество усиливаемых частот, но рисунок периода проще, чем у *а*.

От диктора к диктору рисунок гласных может значительно меняться, однако перечисленные признаки сохраняются постоянно, так как они отражают объективные характеристики спектра гласных.⁶

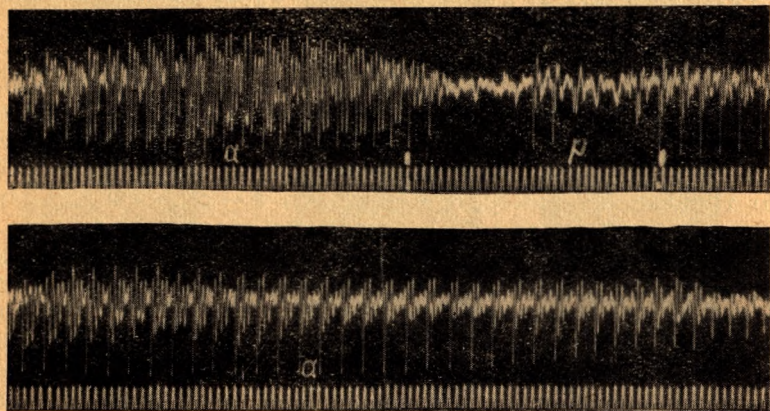


Рис. 6. Осциллограммы сочетаний *амă*, *алă*, *арă*
(скорость съемки 250 м/сек).

Осциллограммы гласных, поскольку они свидетельствуют об определенных свойствах спектра гласных, могут содержать интересные сведения и о временных изменениях гласных.

Осциллограмма гласного *о*, произнесенного диктором-женщиной, идеально иллюстрирует неоднородность звучания русского *о*, которое начинается с *у*-образного элемента (простые периоды в начале гласного), затем переходит собственно в *о*, а в конце сильно открывается, приближаясь по звучанию к *а* (сравните конец осциллограммы *о* с осциллограммой *а*).

Так же хорошо видна и неоднородность гласного *ы*, конец которого по осциллографическому рисунку совпадает с гласным *и* (женское произношение). При сравнении осциллограмм *ы* и *у* в мужском произношении видно, что в конце рисунки этих гласных совпадают; в данном случае причиной такого совпадения является то, что для этого диктора характерна делабиализация.

⁶ Вопрос о спектральных характеристиках звуков речи, и в частности гласных, очень широко освещен в специальной литературе.

зация гласного *у* к концу его; тем самым по звучанию конец *у* приближается к *ы*, о чем и свидетельствует осциллограмма.

1, p, m, n, k
Сонанты. Сонанты *л, л' р, р', м, м', н, н'* имеют на осциллограммах рисунок, очень похожий на рисунок гласных. Эта общность не только в периодичности кривой, но и в том, что основной тон осложнен довольно большим количеством составляющих.

Из рис. 6 видно, что несмотря на большое сходство рисунков сонорных и гласных их можно отличать как по самому характеру, так и по относительной амплитуде: сонорные чаще всего имеют амплитуду значительно меньшую, чем гласные.

3, ж
Звонкие щелевые согласные характеризуются рисунком, содержащим колебания основного тона, осложненные высокими частотами шума согласных. Шум этот может быть и довольно сильным (см., например, осциллограмму слога *жа* на рис. 7), тогда своеобразная «щеточка», о которой мы уже говорили при описании осциллограммы гласного *и*, будет заметна очень хорошо. Если же шум согласного сравнительно слабый (что типично, например, для русского *в* — см. осциллограмму слога *ва* на том же рисунке), то рисунок звонкого щелевого может приближаться к рисунку сонантов или даже к рисунку гласных, что и будет свидетельствовать о явлении вокализации всего согласного. Осциллограммы слов *за, ва, жа* (рис. 7) говорят лишь о частичной вокализации согласных: в начале звучания каждого из них наблюдается участок, не содержащий высокочастотных составляющих (т. е. не шумный) и имеющий большую амплитуду колебаний, и только за этим участком следует собственно шумная фаза звонкого щелевого согласного. В тех случаях, когда согласный характеризуется сильным шумом, на осциллограмме шумовые составляющие бывают настолько сильны, что выделить период основного тона очень трудно (см., например, рис. 19 — сочетание *зв* из слова *звонят*). В случаях, когда важно установить наличие или отсутствие основного тона, необходимо регистрировать сигнал и с низкочастотного вибратора, который не будет фиксировать высокочастотный шум, маскирующий на осциллограмме низкочастотные колебания основного тона голоса.

9, 5
Смычные звонкие согласные имеют рисунок, состоящий из двух частей, соответствующих разным фазам артикуляции: во время звонкой смычки регистрируется основной тон, а в конце звучания, в момент взрыва — и высокие составляющие (шум взрыва) (рис. 8).

с, ш
Глухие щелевые согласные отличаются от звонких щелевых прежде всего отсутствием периода основного тона. Это хорошо видно на осциллограмме слова *шоссе* (рис. 9). Однако различие по основному тону не является единственным, глухие щелевые согласные обладают, как правило, гораздо более сильным шумом, чем звонкие, в которых, как уже говорилось,



Рис. 7. Осциллограммы слогов за, ва, жа.

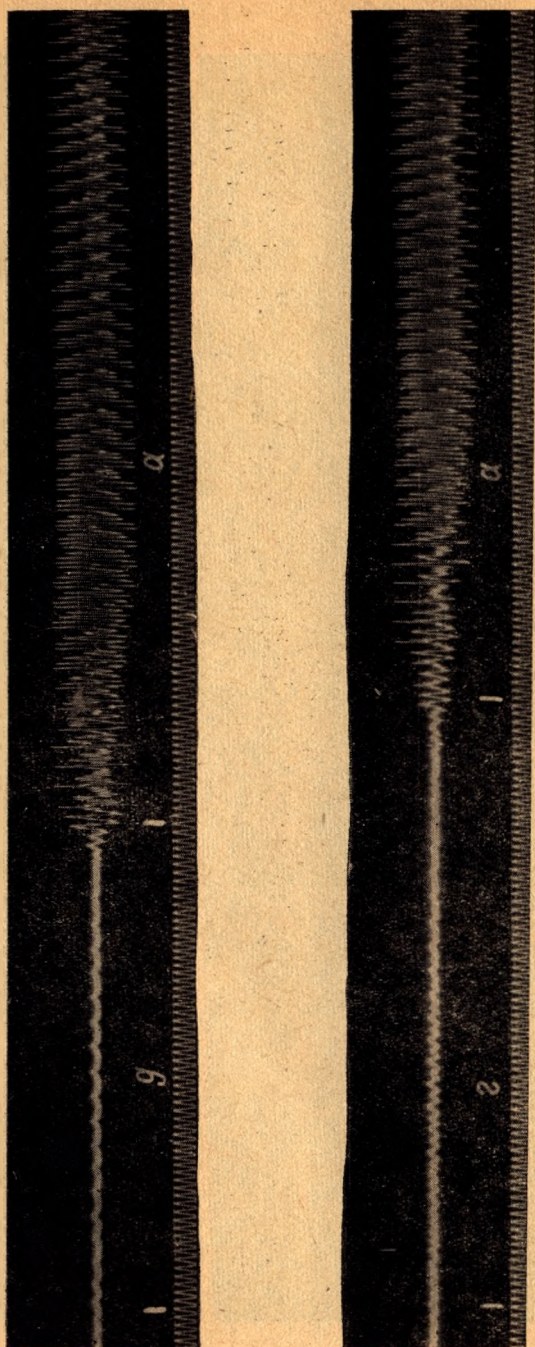


Рис. 8. Осциллограммы слогов со звонкими взрывными согласными.

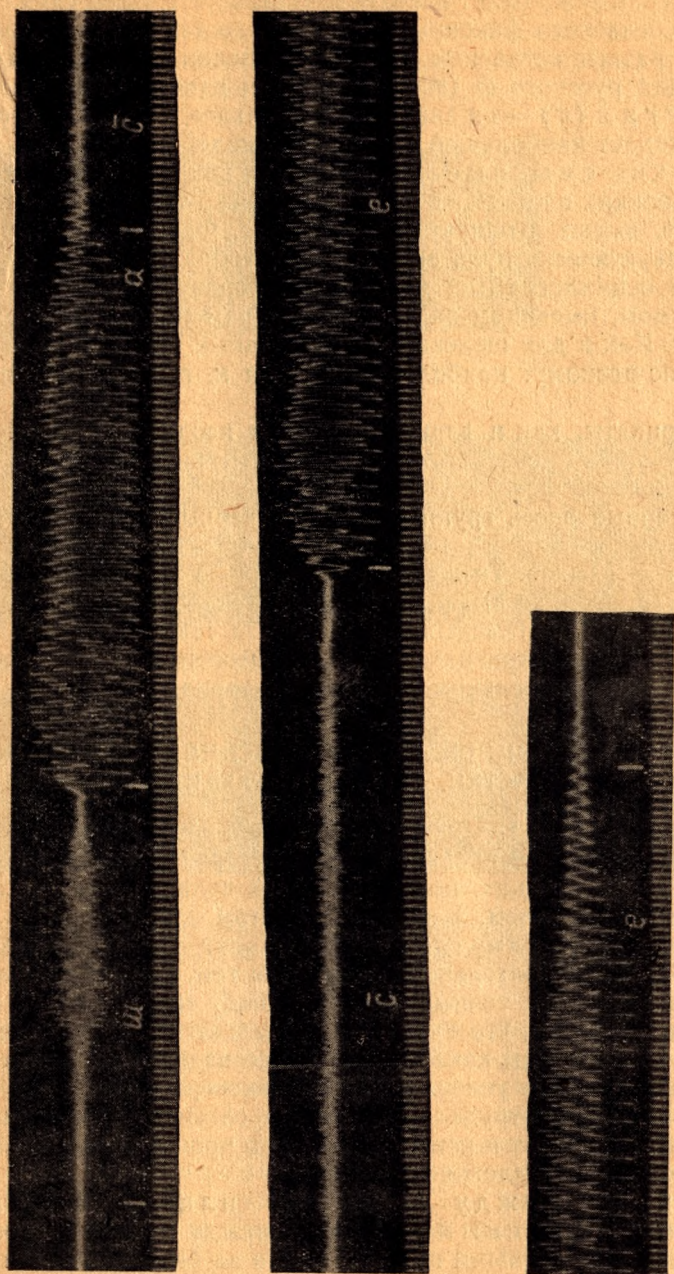


Рис. 9. Осциллограмма слова *шоссе*. Глухие щелевые *ш* и *с* фиксируются в виде высокочастотного шума.

шумовые составляющие могут быть настолько слабыми, что на осциллограмме их будет невозможно выделить. Шум глухого щелевого согласного фиксируется всегда достаточно определенно. Однако разные согласные в этом отношении ведут себя по-разному: для русского *ф* (*ф'*) характерен наиболее слабый шум, для *с* (*с'*) и *х* (*х'*) — он значительно сильнее, *ш* на осциллограммах обладает наибольшей амплитудой колебаний.

m, n
Глухие смычные согласные, как и щелевые, в отличие от звонких не имеют периода основного тона, и, как звонкие смычные, имеют неоднородный рисунок. Фазе смычки соответствует акустически нуль звука, что и отображается нулевой линией на осциллограмме; взрыв характеризуется высокочастотным шумом, имеющим знакомый уже нам по глухим щелевым рисунок. Как и для щелевых, для взрывных шум взрыва фиксируется по-разному: наиболее четко для *к*, *т*, и менее четко — для *п*.

Аффрикаты, как и взрывные, имеют неоднородный рисунок: нулевая линия соответствует фазе смычки, высокочастотный шум — щелевой фазе.

Описанные здесь группы звуков исчерпывают фонетический состав русского языка и могут оказаться достаточными для многих других языков. Те же группы, которые здесь не приведены (например, звонкие аффрикаты, придыхательные глухие и звонкие, разные типы гласных, дифтонги), в такой же мере имеют свои характерные признаки, выявить которые можно достаточно точно на любом реальном языковом материале.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЧЛЕНЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ КРИВОЙ НА УЧАСТКИ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ЗВУКАМ РЕЧИ

В фонетических исследованиях обычно исходным материалом служит не отдельно произнесенный звук речи, а более крупный отрезок высказывания, поэтому первый вопрос, который встает перед исследователем, заключается в том, как разделить полученную осциллограмму слова, предложения и т. д. на отдельные звуки. Задача значительно усложняется тем, что реально, в процессе произнесения, точные границы между звуками часто отсутствуют в силу того, что артикуляция является непрерывной. Эту сложность в каждом конкретном случае необходимо разрешать, учитывая реальные условия и задачи эксперимента.

Вторая группа трудностей связана со спецификой осциллографических кривых и решается гораздо проще, на основе имеющегося опыта осциллографирования.

Границы между гласными или сонантами и глухими согласными. Граница между глухими щелевыми и смычными согласными и следующими за ними гласными устанавливается там, где начинаются периоды основного тона, наличием которых в данной комбинации характеризуется только глас-

ный. Разумеется, это относится к русским сочетаниям или вообще к таким сочетаниям, где конец глухого согласного не озвончается перед следующим гласным. По тому же принципу устанавливается граница между глухими согласными и следующими за ним сонантами (рис. 10).

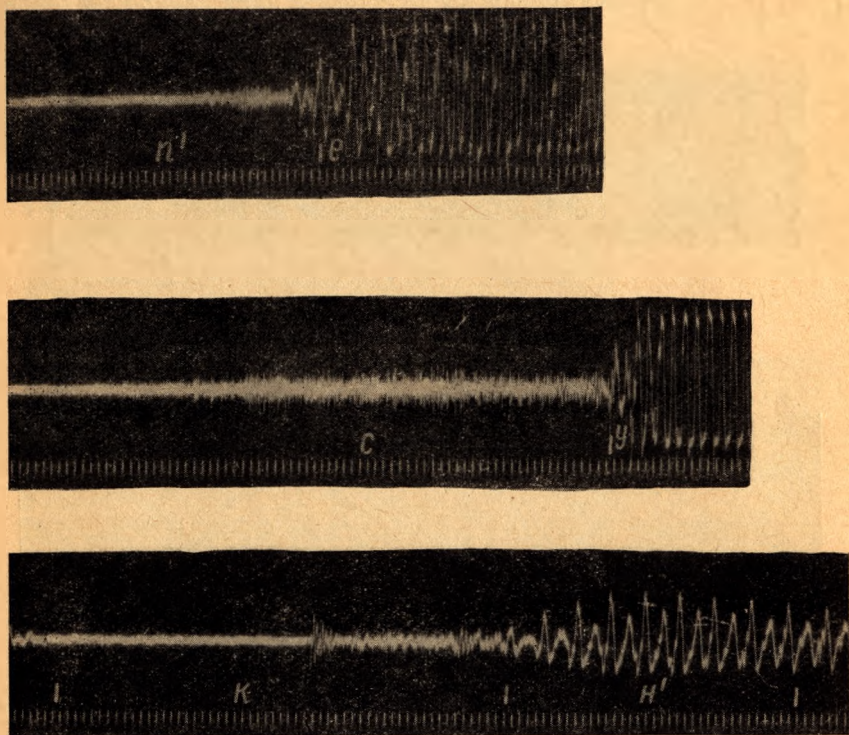


Рис. 10. Осциллограммы сочетаний: *n'e* из слова *Петя*, *су* — из слова *судно* и *кн'* из слова *книга*.

Проведение границы между обратными сочетаниями, т. е. определение конца гласного и начала следующего глухого согласного, осложняется тем, что после гласного начало глухого согласного, как правило, несколько озвончается. В таких случаях критерий наличия или отсутствия периодов основного тона уже не может считаться решающим. Границу между гласным и следующим глухим согласным проводят там, где период основного тона теряет рисунок, характерный для гласного и значительно упрощается (рис. 11).

Сочетания сонантов с последующими глухими согласными в русском языке часто существенно отличаются от только что рас-

смотренных сочетаний. Отличие состоит в том, что перед глухими согласными конец сонанта также оглушается и становится шумным. На осциллограмме поэтому исчезают периоды основного тона (оглушение), а во-вторых — появляется высокочастотный шум. Граница в таком случае устанавливается там, где кончается этот шум и начинается глухая смычка согласного (рис. 12). В случаях, когда после сонанта идет глухой щелевой,

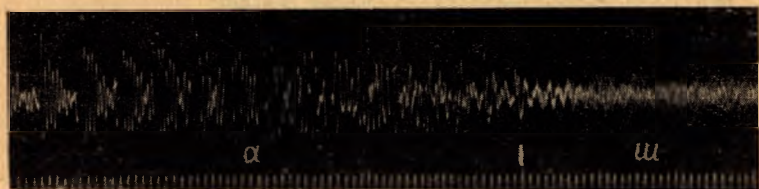


Рис. 11. Осциллограмма сочетания *аш* из слова *Маша*.

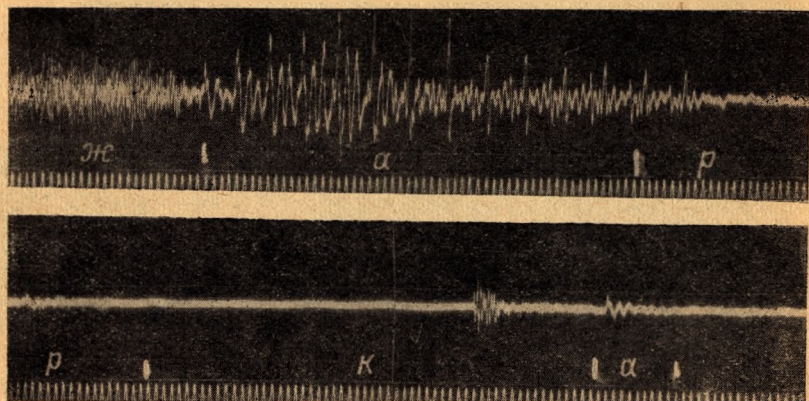


Рис. 12. Осциллограмма сочетания *рк* из слова *жарко*.

граница между ними определяется так же, как между двумя глухими щелевыми.

Граница между гласными или сонантами и соседними звонкими согласными. Граница между гласным и предшествующим ему звонким согласным легче всего определяется в сочетаниях звонких смычных с гласными. В этом случае начало гласного заметно не только по изменению самого рисунка периода, но и по резкому усилению амплитуды (рис. 13).

Определение границы между звонким согласным и следующим за ним сонантом проводится по тем же признакам (рис. 14).

Граница между гласным и следующим за ним звонким согласным определяется по изменению рисунка периода основного тона (рис. 15).

Обычно в таких сочетаниях начало звонкого согласного характеризуется большой амплитудой колебаний; это явление вызвано тем, что в начале артикуляции согласного смычка еще неполная, и согласный, по существу, еще не является смычным.

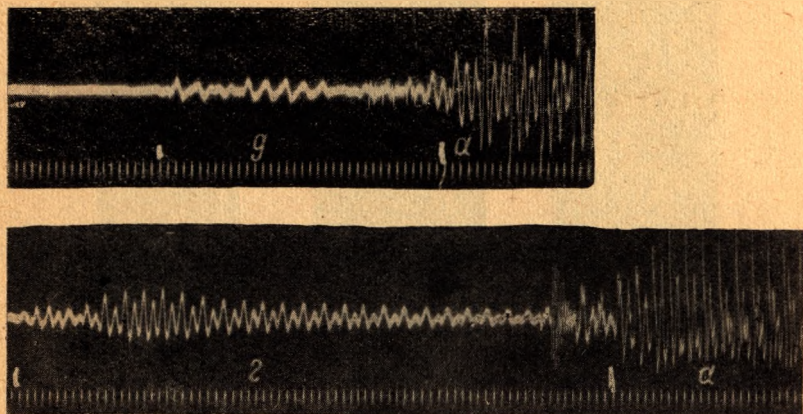
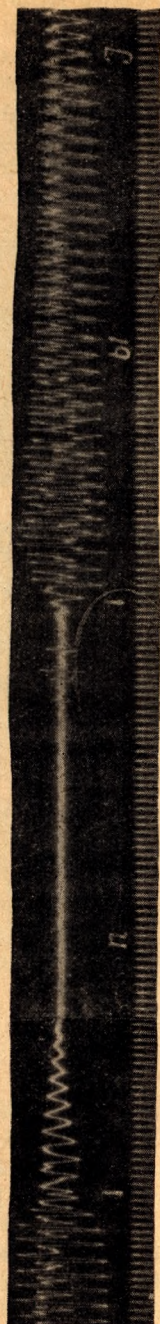


Рис. 18. Осциллограммы сочетаний: *да* из слова *давно* и слога *га*.

Граница между гласными и соседними сонантами. Определение границ между начальными сонантами и следующими за ними гласными не представляет особенных трудностей и производится в соответствии с изменением рисунка и с увеличением интенсивности (рис. 16).

Особенные трудности возникают при членении сочетаний гласных с последующими сонорными. В таких сочетаниях переход от артикуляции гласного к артикуляции сонанта очень растянут, и с произносительной стороны нельзя говорить о какой-либо границе между этими двумя звуками. Например, в сочетаниях гласных с последующим *j* имеется целая последовательность переходов, характеризующихся и начальным гласным, и качеством самого *j* (см. напр., осциллограмму слова *глупый* — рис. 14). Вопрос о границе между гласным и последующим сонантом должен решаться в каждом конкретном случае на основании как характеристик осциллограмм начального гласного, так и характеристик самого сонанта в различных окружениях.



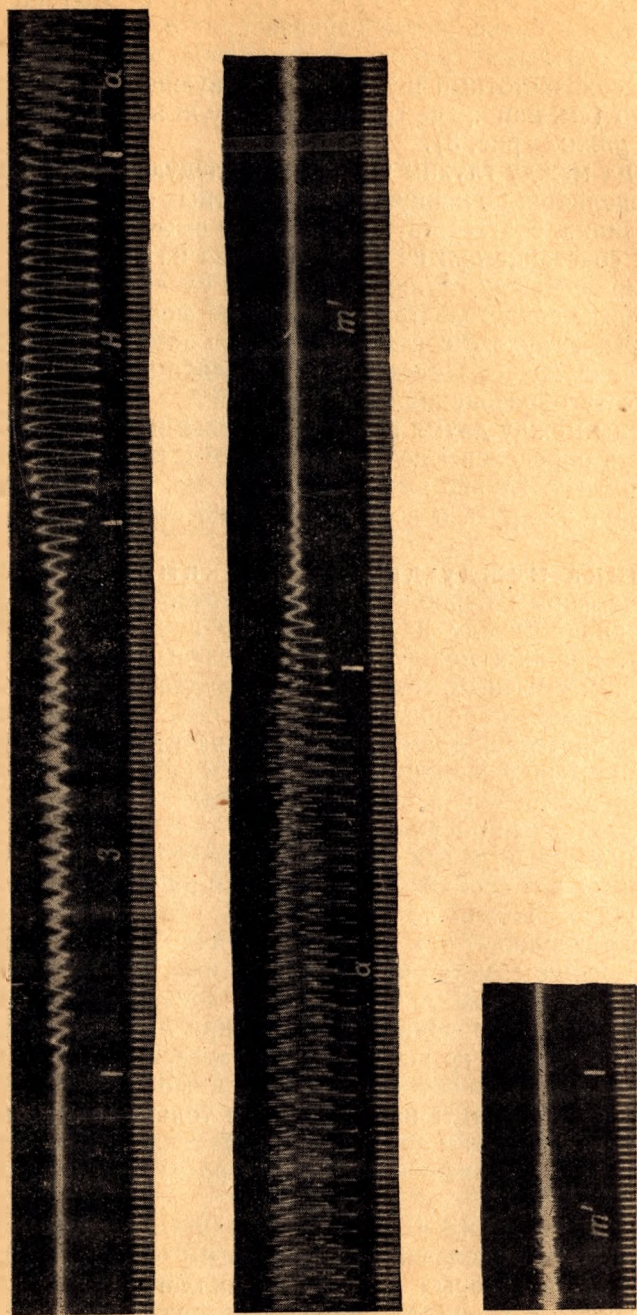


Рис. 14. Осциллограммы слов *глупый* и *знать*.

Граница между двумя глухими согласными определяется в большинстве случаев просто. Так, между двумя глухими взрывными граница устанавливается там, где кончается высокочастотный шум, соответствующий взрыву первого согласного (см. напр., где граница между *т* и *к* на осциллограмме слова *утки* — рис. 3).

Граница между глухим щелевым и следующим за ним смычным определяется по концу высокочастотных колебаний и началу нулевой линии, соответствующей началу смычки глухого согласного (см. сочетание *шт* из слова *штанга* на рис. 15).

О границе между глухим смычным и следующим за ним глухим щелевым свидетельствует изменение формы колебаний: рисунок взрыва глухого согласного обычно заметно отличается от рисунка следующего щелевого, если только это согласные, разные по месту образования (рис. 17).

Границы между двумя глухими щелевыми согласными также могут быть определены достаточно четко в целом ряде случаев, так как разные глухие щелевые согласные, как правило, отличаются друг от друга и по рисунку, и по амплитуде колебаний (рис. 18).

Граница между двумя звонкими согласными. Изменение формы периода дает достаточно точное представление о границе между двумя звонкими щелевыми согласными (рис. 19). Граница между звонким щелевым и следующим за ним звонким смычным также легко определяется по форме периода: к моменту образования звонкой смычки период приобретает очень простой вид, амплитуда его значительно уменьшается.

Граница между звонкими смычными и следующими звонкими щелевыми всегда очень определена, так как взрыв смычного имеет характерный рисунок.

Граница между двумя смычными может быть найдена на осциллограмме без особенных осложнений на основе уже описанных признаков. Нужно только заметить, что в таких сочетаниях чаще всего возникает так называемый паразитический гласный, который хорошо заметен на осциллограмме.

Здесь перечислены лишь основные сочетания, между которыми приходится проводить границы при анализе записанного материала. Все, что не вошло в этот перечень, подчиняется тем же правилам. Нужно особенно заметить, что для безошибочного членения осциллограмм необходимо не только познакомиться с изложенным здесь, но и приобрести достаточно большой опыт самостоятельной расшифровки осциллограмм на том или ином языке.

В заключение этого раздела необходимо сказать, что приведенные правила членения осциллограмм основаны на целом ряде опытов, в которых членение осциллограммы сопоставлялось со звуковой характеристикой выделенных отрезков (опыты с сепаратором и магнитофоном с вращающейся головкой, позво-

ляющими выделять из магнитофонной записи отдельные звуки). Таким образом установленные границы не являются произвольными и основаны не только на анализе формы осциллограммы, но учитывают также реальное звучание получаемых при таком членении отрезков.

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОНЕТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

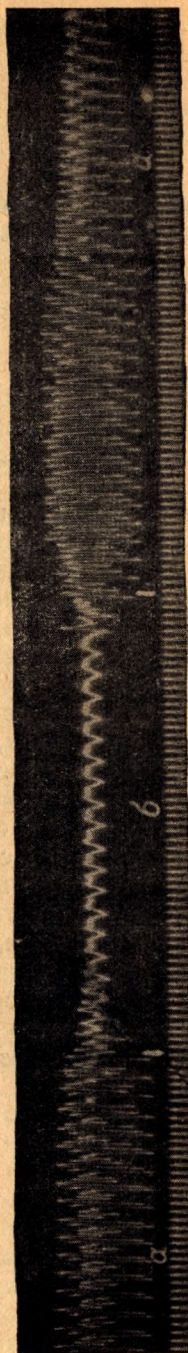
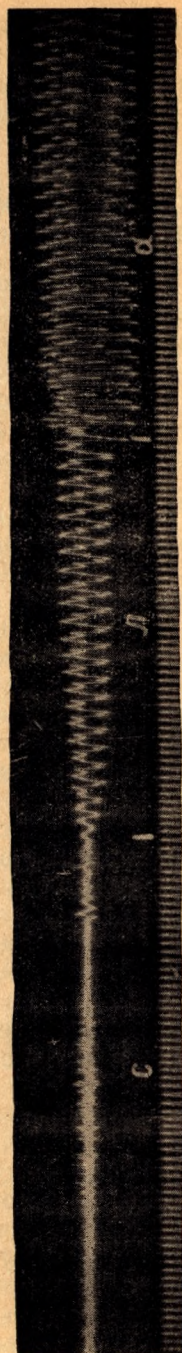
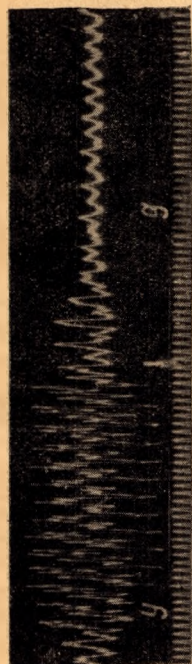
Так как каждая группа звуков речи имеет определенные и довольно постоянные соответствия в осциллографической картине, естественно предположить, что изменение тех или иных признаков влечет за собой и изменение осциллографической кривой. По изменениям этой кривой можно судить и о характере соответствующего фонетического изменения.

Приведем основные случаи фонетических модификаций, фиксируемых на осциллограммах.

Озвончение и оглушение согласных. Наличие основного тона голоса фиксируется на осциллограмме, как уже было сказано, низкочастотными колебаниями (от 50 до 400 *гц*). При озвончении глухого согласного в одной из фаз этого согласного появляются колебания, соответствующие частоте основного тона. В русском языке озвончение закономерно происходит в сочетаниях гласного с последующим глухим согласным; в этом случае начало глухого согласного бывает озвонченным (см. рис. 11). Оглушение согласных, соответственно, выражается на осциллограмме полным исчезновением колебаний основной частоты. Значительным оглушением характеризуются русские конечные сонанты (см. напр., *р* в слове *сбор* — рис. 19).

Аффрикатизация и аспирация согласных. Как уже известно, взрывные, щелевые и аффрикаты различаются отчетливо по длительности участка, характерного для высокочастотного шума. Таким образом, аффрикатизация взрывных согласных на осциллограмме выражается в увеличении длительности высокочастотного шума (ср. напр., *т'* из слова *знать* — рис. 14, и *т* из слова *Ашхабад* — рис. 18). Длительность взрыва в *т* — 60 *мсек*, а длительность взрыва и щелевой части в *т'* — 100 *мсек*.

Осциллограммы дают возможность наблюдать и аспирацию согласных; в случае аспирации также увеличивается длительность участка от начала взрыва до начала следующего гласного, однако характер рисунка будет несколько иной, что соответствует и разной фонетической природе этих явлений: если при аффрикатизации согласных возникает шум в результате образования щели в том же месте артикуляции, где произошел взрыв, то аспирация — это некий шум, создаваемый трением воздуха при прохождении его вдоль всей надгортанной части артикуляторного аппарата, так что акустически он может значительно отли-



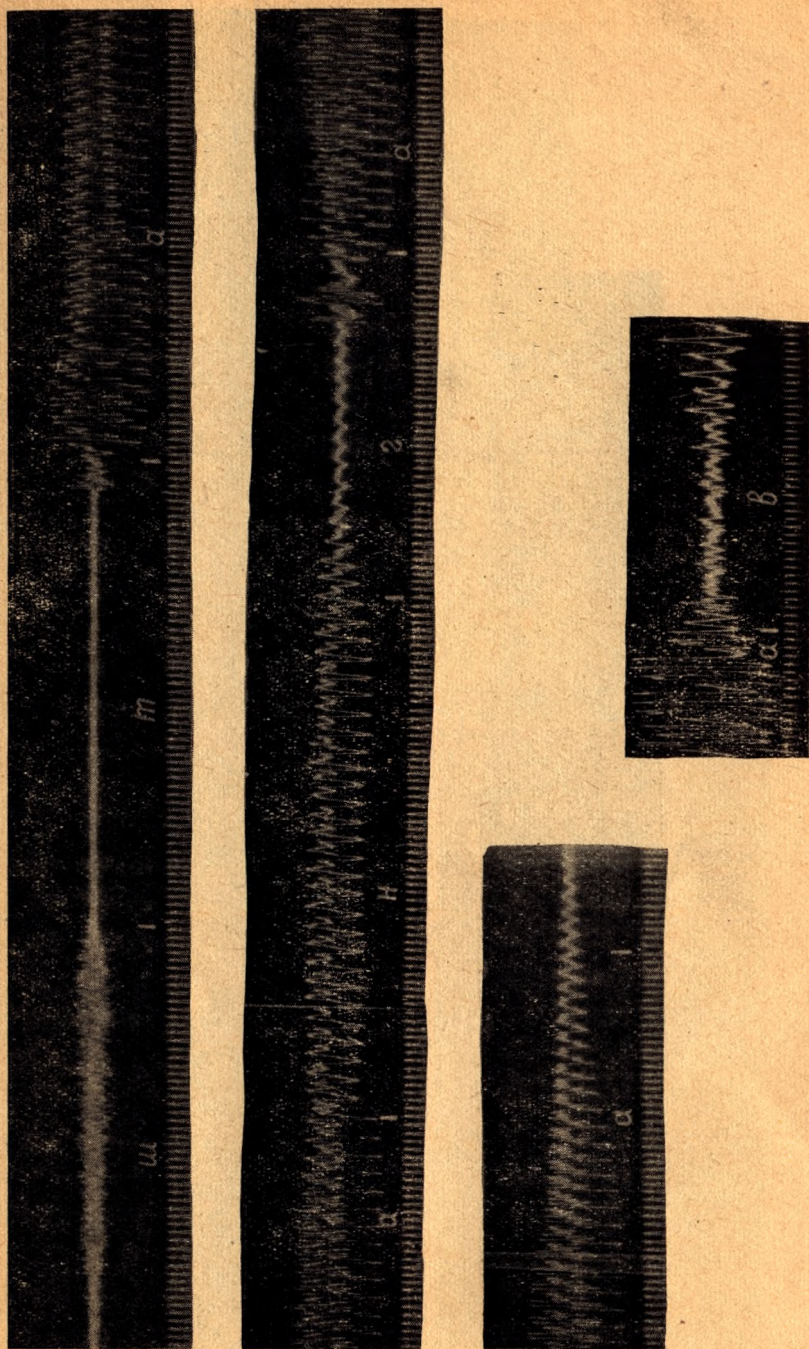


Рис. 15. Осциллограммы слова *штанга* и сочетаний: *уд* из слова *судно*, *аб* из слова *слабо*, *ав* из слова *давно*.

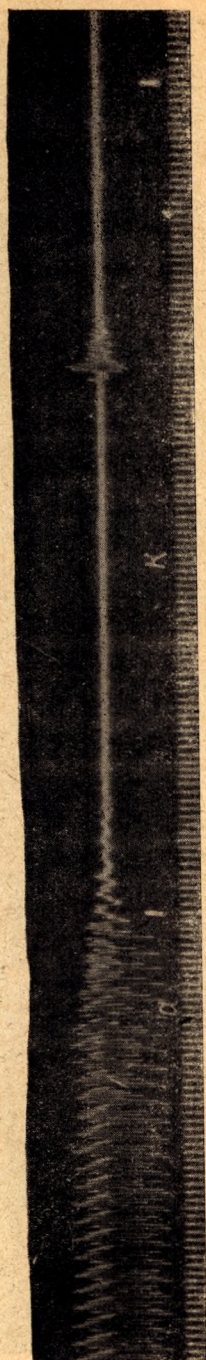
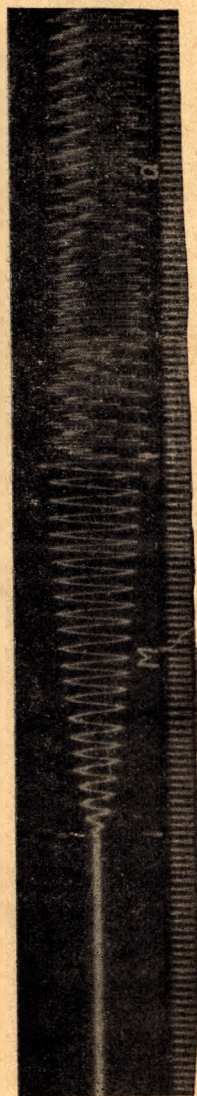


Рис. 16. Осциллограмма слова мак.

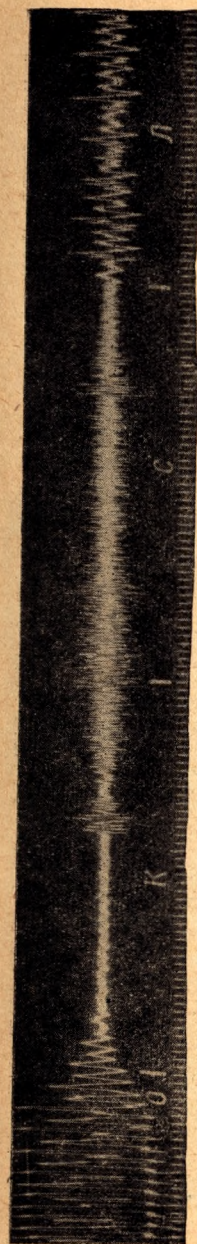


Рис. 17. Осциллограмма сочетаний *к* из фразы *пирог сладкий* и сочетания *тх* из слова *отходить*.

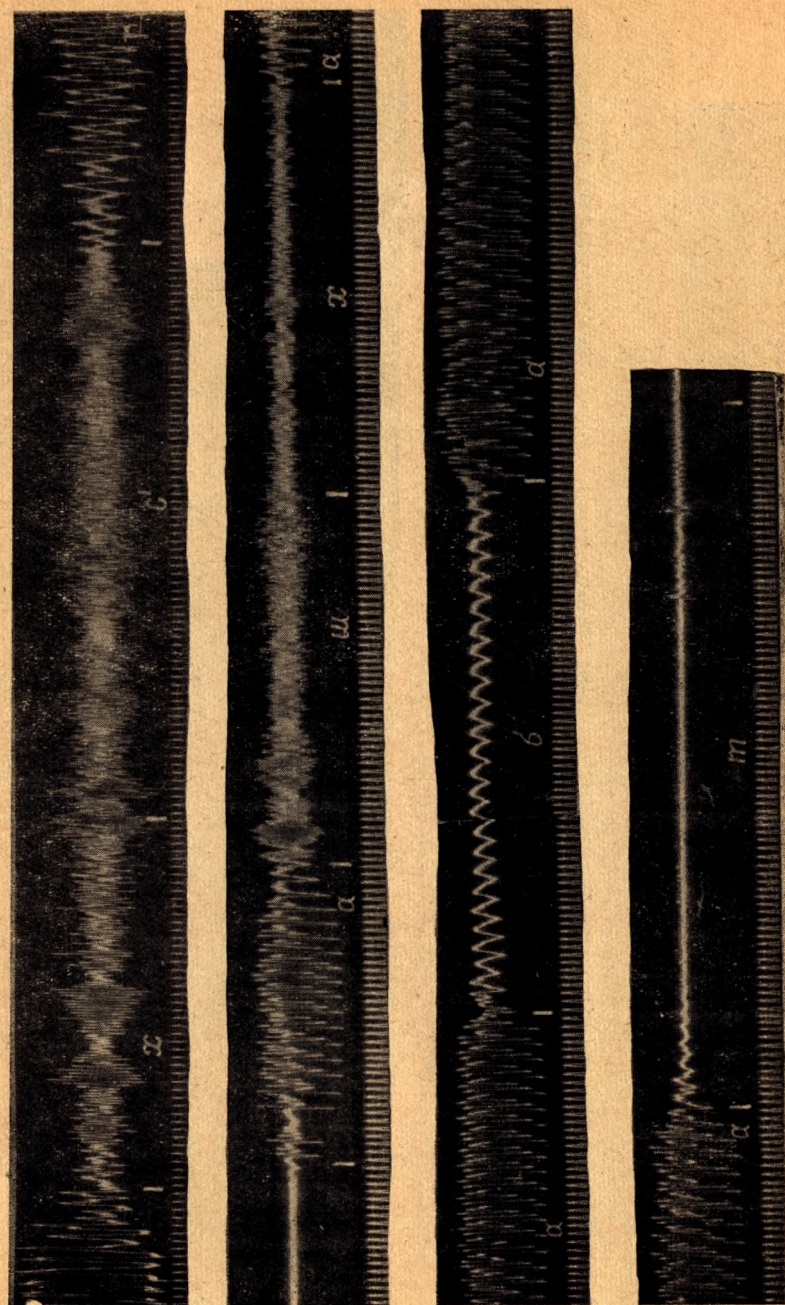


Рис. 18. Осциллограмма сочетания *шх* из фразы *запах сеңа* и сочетания *шх* из слова *Ашхабад*.

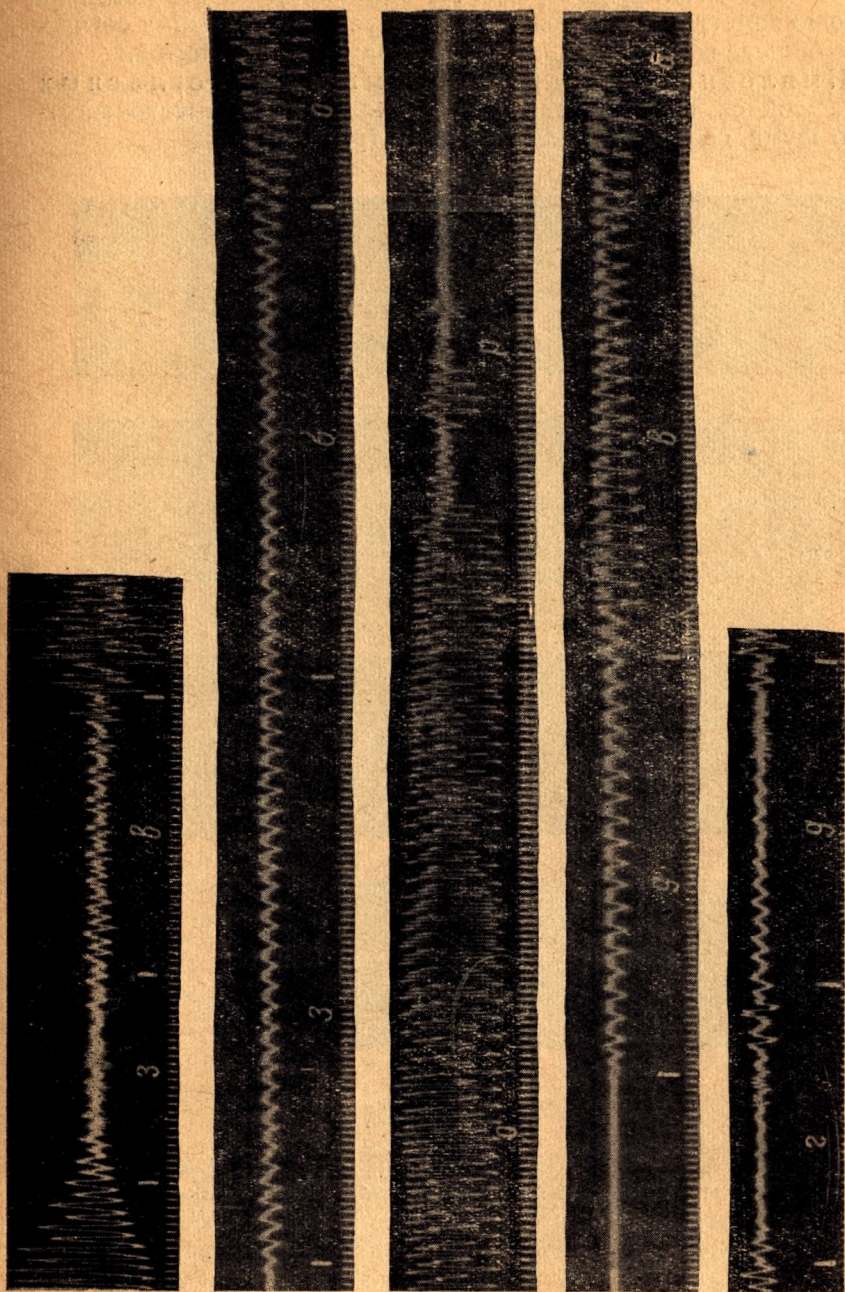


Рис. 19. Осциллограммы сочетаний зв из слова звонят, да из слова даа, гд из слова гд, гд из слова гд, гд из слова гд, гд из слова гд.

чаться от самого шума взрыва. На осциллограмме это различие хорошо заметно. Грубо говоря, аспирированный участок согласного больше всего похож на осциллограмму согласного *х*.

Имплозивный характер смычных согласных определяется по отсутствию на осциллограмме высокочастотного шума, соответствующего взрыву (рис. 20).

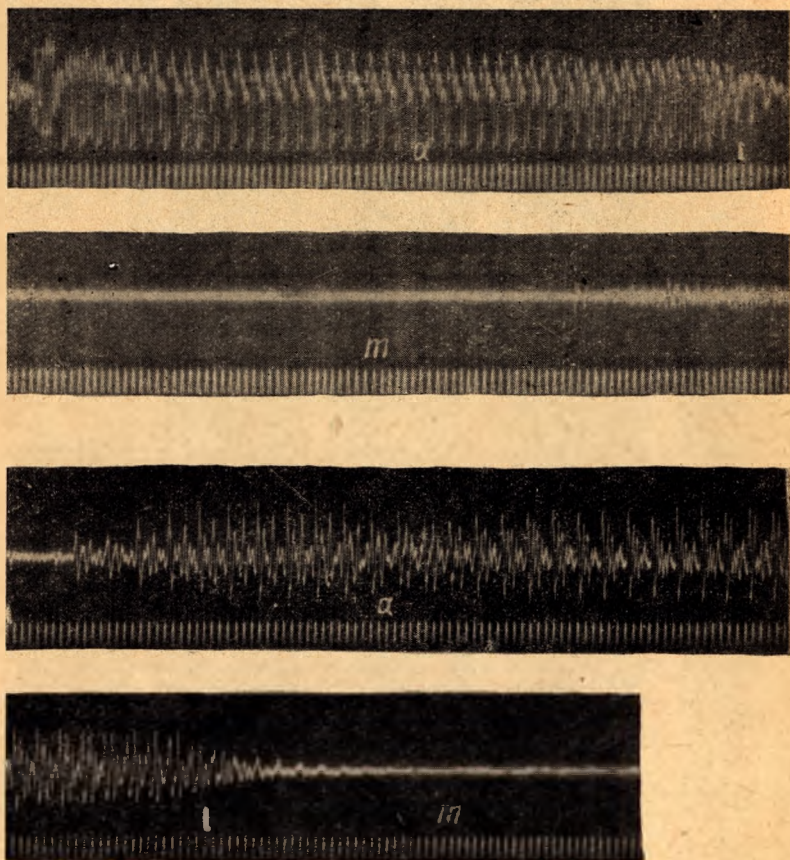


Рис. 20. Осциллограммы взрывного и имплозивного *t* в слове *at*.

Вокализация начальной фазы звонких щелевых шумных и плавных сонантов может быть наблюдаема на осциллограмме: как правило, этой фазе соответствует осциллографическая кривая, с большей амплитудой и более сложным рисунком, близким к рисунку гласного (см. рис. 7).

Дрожащий или щелевой характер согласного также фиксируется на осциллограмме: неоднократное повторе-

ние гармонических колебаний и негармонических составляющих свидетельствует об ударном характере звука, отсутствие такой периодичности — о щелевом (рис. 21).

Таким образом, большой круг вопросов, связанных с артикуляционными и акустическими особенностями согласных, может быть решен на основании анализа осциллографических кривых.

Осциллографический анализ гласных может дать много сведений, дополняющих и расширяющих данные слухового анализа. Осциллографическая кривая без специальной ее математической обработки (так называемого разложения по ряду Фурье) не

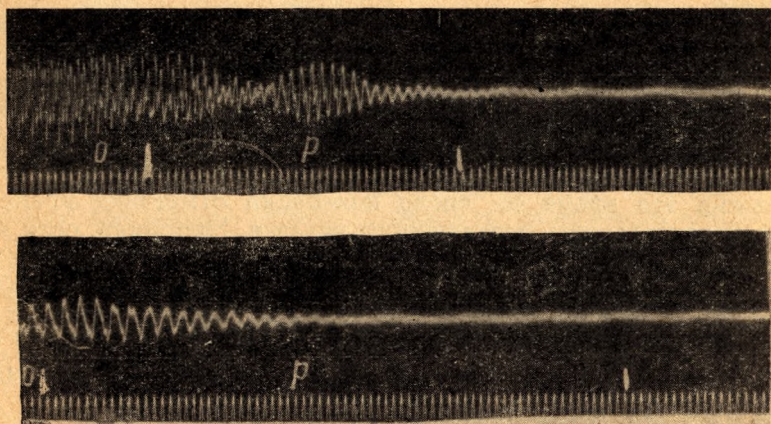


Рис. 21. Осциллограммы дрожащего и щелевого *p* из слова *хор*.

дает точного представления о спектральном составе гласных, которым и определяются их тембральные характеристики. Однако более или менее точное представление о составе гласных можно получить путем визуального анализа осциллограмм. Осциллографический рисунок наглядно демонстрирует неоднородность звучания гласных в различных фонетических положениях. Изменение тембральной характеристики сопровождается и изменением вида осциллограммы (см. напр., *a* из *летят* — рис. 3, 2). Возникающий в соседстве с мягкими согласными и-образный переходный участок имеют в своем спектре высокие составляющие, что отчетливо видно на осциллограмме.

Естественно, что изучение дифтонгов и трифтонгов по осциллографическим записям необходимо для объективного представления о длительности составляющих их элементов.

Осциллографические записи отражают такое интересное явление как кнаклаут при произнесении гласных. Гортанный взрыв четко фиксируется на кривой (см. рис. 4 и 5, где даются осциллограммы гласных *a*, *o*, *e* с кнаклаутом *и*, *ы*, *у* и без него).

Разумеется, что гортанная смычка внутри гласного также четко фиксируется на осциллограмме.

Назализация гласных, в результате которой значительно усиливаются низкие частоты в спектре, прямо или косвенно может быть зафиксирована на осциллограмме и проанализирована. Осциллограмма содержит почти исчерпывающую информацию о количественных характеристиках отдельных звуков и более крупных отрезков. Основные количественные характеристики — это длительность, сила и высота основного тона (для гласных и звонких согласных). Рассмотрим, каким образом извлекаются сведения об этих характеристиках из осциллографических данных.

Длительность. Измерение длительности исследуемого отрезка (звука, слога, слова) производится следующим образом: определяются границы этого отрезка и подсчитывается количество колебаний отметчика времени, укладывающихся в пределах этих границ. Зная частоту отметчика времени, можно определить время, за которое происходит одно колебание, а затем, умножив это время на число колебаний отметчика времени, узнать длительность исследуемого участка. Например, если нам нужно измерить длительность гласного в каком-нибудь слове, отметим сначала его границы; определим, что на этом отрезке уместится n колебаний отметчика времени, определим время, занимаемое одним периодом колебаний отметчика времени: если частота отметчика времени 500 гц, то одно колебание занимает $\frac{1}{500} = 0,002$ сек; тогда длительность гласного $n \cdot 0,002$ сек. Если запись ведется с двумя отметчиками времени, то сначала подсчитывается длительность по более низкому отметчику — целое число колебаний, а остаток — по более высокому отметчику. Например, если в длительность гласного укладывается 12 целых колебаний отметчика времени с частотой 100 гц и 3 колебания отметчика времени с частотой 500 гц, то длительность гласного складывается из:

$$\begin{array}{rcl} 1) & 12 \cdot 0,01 \text{ сек} & = 0,12 \text{ сек} \\ 2) & 3 \cdot 0,002 \text{ сек} & = 0,006 \text{ сек} \\ \hline & & 0,126 \text{ сек} = 126 \text{ мсек}^7 \end{array}$$

Заметим, что осциллограмма дает наглядное представление об относительной длительности звуков без вычисления абсолютной длительности. По рисункам, например, без всяких предварительных подсчетов можно судить о сравнительной длительности ударного и безударных гласных.

Сила звуков. Осциллографическая кривая не дает непосредственного представления о громкости звуков, которая яв-

⁷ мсек=миллисекунда=0,001 секунды.

ляется не физической, а психологической величиной. Зато на осциллограмме четко фиксируется интенсивность каждого конкретного звука; так как между интенсивностью и громкостью существуют однозначные отношения, мы по интенсивности можем судить и о громкости звуков. Интенсивность на осциллографической кривой выражается амплитудой колебаний, т. е. степенью удаления кривой от нулевой линии. При этом амплитудой принято называть половину общей высоты кривой (отклонение от средней линии только в одну сторону); общую высоту кривой называют двойной амплитудой. Как правило, осциллограммы расположены симметрично по отношению к нулевой линии (максимальные отклонения в ту и в другую сторону одинаковы). Однако в ряде случаев возникает асимметричность осциллограммы, причины которой в достаточной степени еще не ясны. Если в первом случае интенсивность можно считать прямо пропорциональной амплитуде колебаний, то во втором случае дело осложняется. Лучше всего измерять двойную амплитуду; для соотношения же амплитуды с силой звука необходимо брать квадрат двойной амплитуды, чтобы устранить полярность амплитуд: физически обе амплитуды имеют противоположные знаки (+ и —).

Нужно сказать, что и без точных подсчетов реальные соотношения силы разных звуков видны на осциллограмме довольно отчетливо.

Осциллограмма дает наглядное представление об изменении силы звука во времени (ослаблении или усилении его). При этом видно не только направление изменения, но и его реальное распределение во времени.

Как уже было сказано, для получения достоверной осциллограммы необходимо, чтобы частота записываемого звука была в 3—4 раза ниже собственной частоты вибратора. Это имеет особенное значение при изучении интенсивности, так как при несоблюдении такого условия в первую очередь ослабляется амплитуда записываемого звука (см. рис. 1), т. е. нарушаются реальные соотношения, имеющие место в речи.

Сложность изучения силы звуков заключается в том, что, во-первых, разные звуки могут иметь разную амплитуду в зависимости от их собственных качественных характеристик. Так, например, известно, что открытые звуки типа *а, е, о* имеют большую амплитуду, чем закрытые звуки типа *и, ы, у*. Такое различие, конечно, связано не с тем, что одни «специально» произносятся громче, а другие — тише, а с тем, что в первом случае возникают более благоприятные условия для усиления звука, чем во втором.

Таким образом нельзя, сравнивая амплитуды разных гласных — например, *а* и *и*, судить об их относительной интенсивности; ударный *и*, явно более интенсивный, чем безударный *а*, может иметь меньшую амплитуду. Строго говоря, описанное явле-

ние требует, чтобы изучалась относительная интенсивность только гласных одного и того же качества.

Вторая трудность общего характера, возникающая при изучении интенсивности, заключается в том, что реальная громкость звука, которая в конечном счете и воспринимается, зависит не только от амплитуды колебания, т. е. от силы звука, но и от его частоты. Это также приводит к мысли, что определение относительной интенсивности должно проводиться только на однотипных звуках.

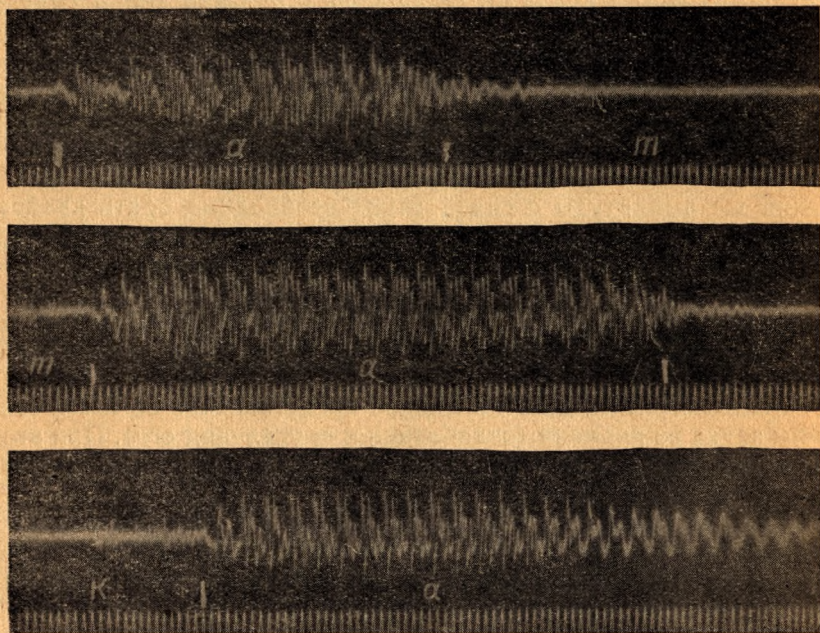


Рис. 22. Осциллограмма слова *атака*.
Скорость съемки 2000 мм/сек. Отметчик времени 500 мс.

Основной тон. Осциллографическая кривая может быть использована при изучении высоты основного тона и ее изменения как в отдельных словах, так и во фразах. Техника измерения должна быть различной в зависимости от конкретных задач исследования.

1. В целом ряде случаев достаточно определения средней высоты основного тона в гласном. Для этого нужно подсчитать количество периодов основного тона в исследуемом гласном и определить его длительность. Так, если в слове *атака* (рис. 22) длительность ударного *а* = 140 мсек, а число периодов основного тона в этом гласном = 21, то средняя высота основного тона оп-

ределяется следующим образом: если за 0,140 сек происходит 21 колебание, то за 1 сек произойдет x колебаний $x = \frac{21 \cdot 1}{0,140} = 150 \text{ колеб./сек.}$, т. е. 150 *гц*.

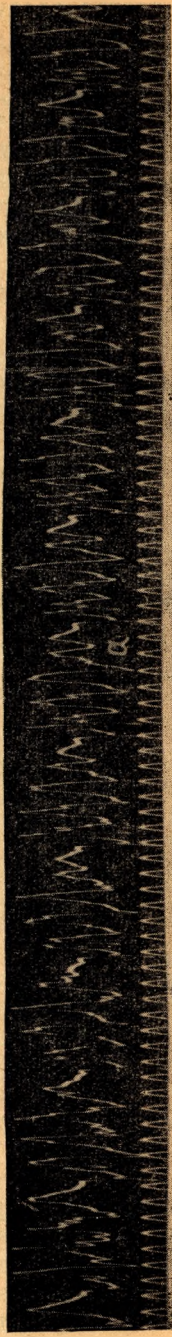
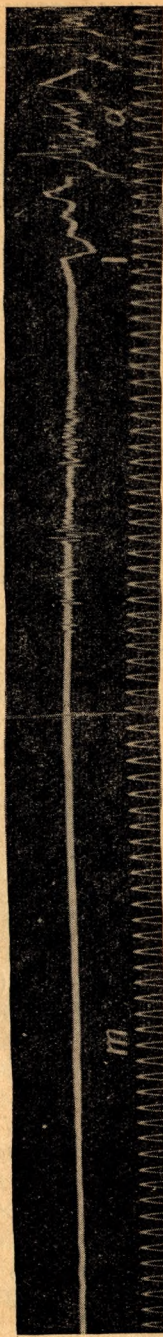
Разумеется, таким образом мы получаем только приближительное представление о средней высоте и не знаем, какова высота тона в разные моменты произнесения этого гласного. Такой метод можно применять для определения соотношения основной частоты в словах или фразах, но о движении частоты мы ничего не знаем.

2. Для получения более подробного рисунка движения основного тона можно определять высоту для отдельных участков гласного. Если тот же ударный гласный в слове *атака* разбить на три части по 7 периодов, то окажется, что первые семь периодов имеют длительность 0,046 сек, вторая группа периодов имеет длительность 0,048 сек, третья — также 0,046 сек; отсюда высота основного тона на первом и третьем отрезке $\frac{7,1}{0,046} = 152 \text{ гц}$, а на остальной части гласного $\frac{7,1}{0,050} = 145 \text{ гц}$. Таким образом обнаруживается, что в середине гласного *а* в слове *атака* основной тон понижается.

3. Наиболее подробный рисунок движения основного тона можно получить, определяя частоту каждого периода. Для этого практически необходимо измерять длительность каждого периода; для таких измерений годятся только осциллограммы, снятые с большой скоростью движения киноленты, так как в этом случае получается достаточно развернутый рисунок основного тона. Естественно, что для точного измерения длительности каждого периода нужно записывать осциллограмму с отметчиком времени высокой частоты. В этом случае можно измерять длительность каждого периода с точностью до 0,001 сек (рис. 23).

При сравнении графиков, полученных на основании описанных измерений (рис. 24), видно, что все три содержат сведения об общем мелодическом диапазоне (около 150 *гц*) и о средней высоте основного тона на протяжении всего гласного; кроме того, графики 2 и 3 содержат информацию о характере изменения основной частоты (понижение к концу гласного). График 3, естественно, дает наиболее полные сведения о характере изменения основного тона во времени.

Возможности анализа осциллографических записей речи далеко не исчерпываются теми примерами, которые приведены здесь. Равным образом нельзя предвидеть и всех трудностей, которые могут встретиться при расшифровке и интерпретации этих записей. Как уже говорилось, наибольшими трудностями являются те, которые вызваны спецификой самого объекта исследования — звучащей речи. Одна из важнейших проблем — проблема членения речевого потока на дискретные единицы, соответ-



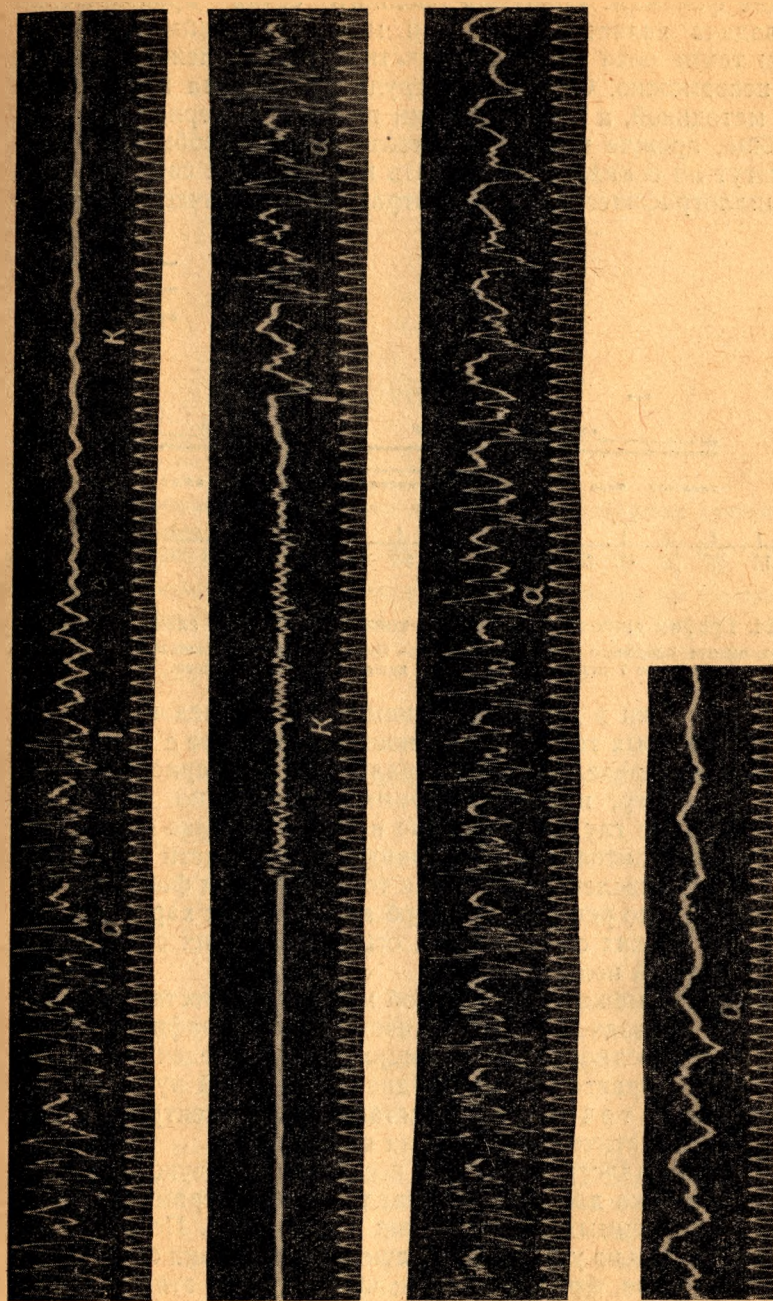


Рис. 23. Осциллограмма слова *атака*.
Скорость съемки 2000 мм/сек. Отметчик времени 1000 гц.

ствующие фонемам. Если для полного стиля произношения такая задача является более или менее разрешимой, то при быстром темпе речи нахождение четких границ между звуками просто невозможно. Однако эта трудность связана не с описываемой методикой, а особенностями речевого материала.

Вообще, прежде чем начать исследование, необходимо уяснить, могут ли осциллограммы дать необходимые сведения. Так как осциллографические кривые отражают акустические особен-

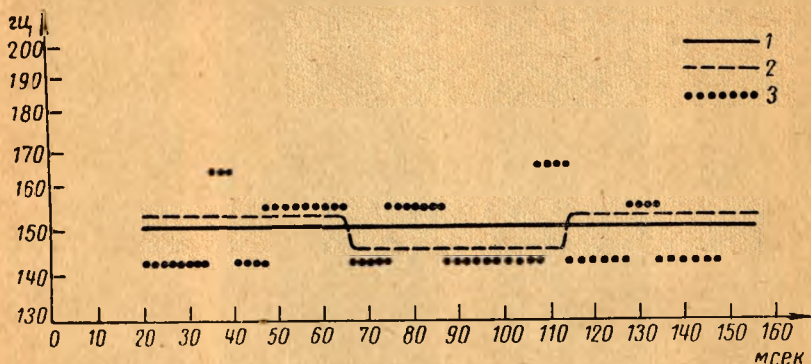


Рис. 24. График движения основного тона гласного *а* в слове *атака*:

1 — средняя высота основного тона гласного; 2 — средняя высота основного тона каждой из групп по 7 периодов; 3 — высота каждого периода гласного.

ности звуков речи в довольно общем плане, исследование этим методом некоторых тонких особенностей, связанное с точным количественным определением спектральных характеристик, невозможно. Например, на осциллограммах прекрасно видно, что мягкие взрывные глухие согласные в русском языке сильно аффрицируются. Длительность аффрицированной части согласного может быть определена достаточно точно в любом фонетическом контексте. Однако решить вопрос об акустических характеристиках русских мягких согласных на основании одних осциллографических записей нельзя.

То же самое можно сказать и об изучении качества гласных. Выше было показано, каким образом осциллографические рисунки гласных соотносятся с имеющимися уже сведениями об их спектральных характеристиках. Однако обратный путь — от осциллограммы к точному представлению о спектре без специального математического анализа невозможен.

Началом осциллографического исследования звукового строя конкретного языка должен быть анализ осциллограмм звуков в наиболее независимых фонетических положениях. После такого анализа значительно упрощается решение о членении более крупных отрезков (слов, фраз) на звуки; кроме того, с этого анализа начинается и исследование характера изменения этих звуков в потоке речи.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Основные принципы работы с осциллографом при получении речевых осциллограмм	4
Звуки речи на осциллограмме	13
Основные принципы членения осциллографической кривой на участки, соответствующие звукам речи	24
Основные возможности фонетической интерпретации осциллографиче- ских данных	31

Лия Васильевна Бондарко

Осциллографический анализ речи

Редактор *И. С. Яворская*

Техн. редактор *Т. В. Кожина* и *Г. В. Лещенко* Корректор *А. В. Ратькова*

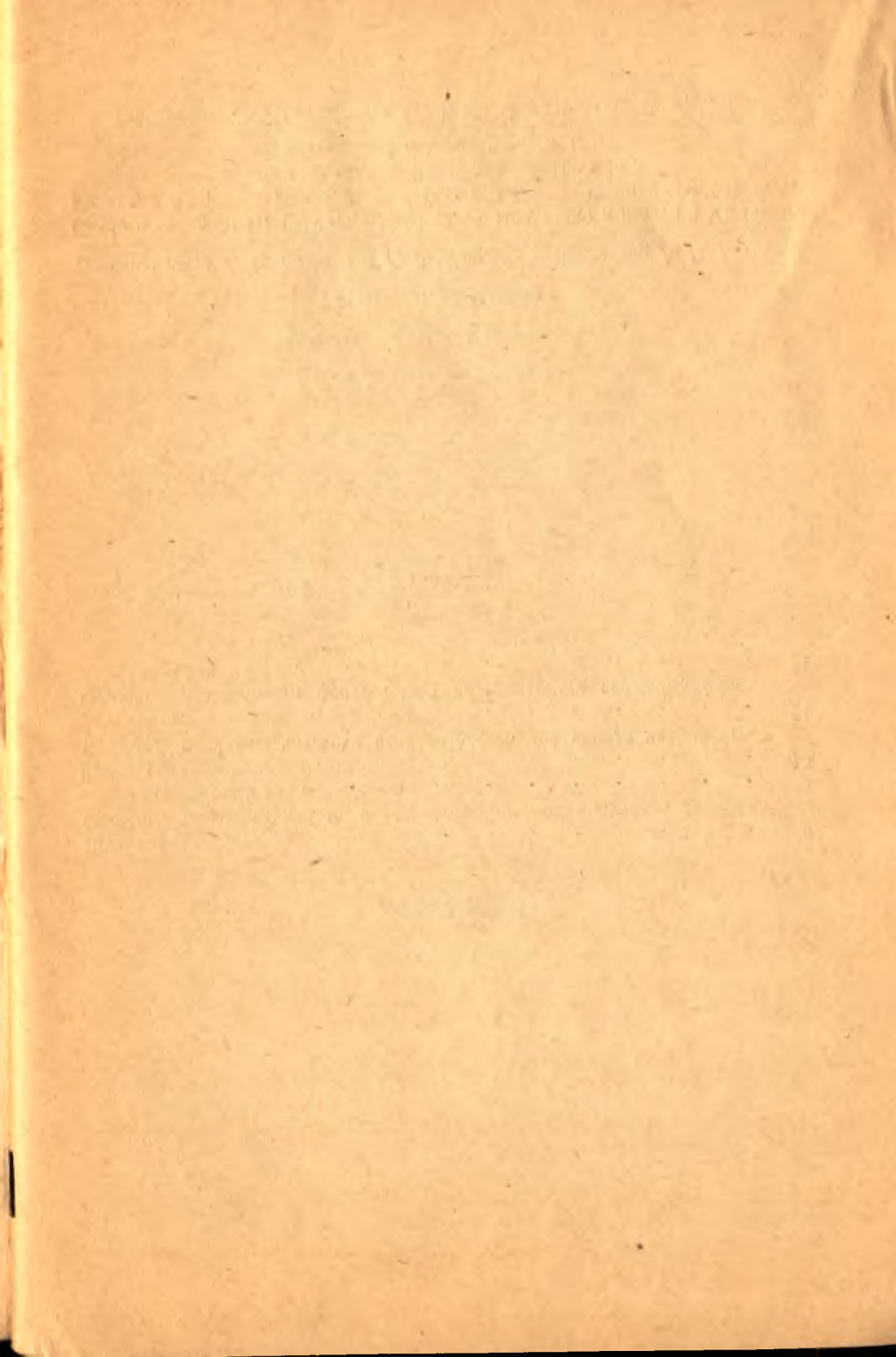
Сдано в набор 30 III 1965 г. М 24247. Подписано к печати 3 VI 1965 г.

Уч.-изд. л. 2,97. Печ. л. 3. Бум. л. 1,5. Формат бум. 60×90¹/₁₆.

Тираж 1450 экз. Заказ 328. Цена 18 к.

Тематический план 1965 г., № 125.

Типография ЛОЛГУ. Ленинград, В-164, Университетская наб., 7/9.



18 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАДСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
1965 г.

