

Из истории автоматике

УДК 534.6.08

Г. К. Зальцман, канд. техн. наук,

А. П. Пронин, канд. техн. наук

Кафедра «Техносферная и экологическая безопасность»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИЗ ИСТОРИИ ЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Звуковая информация по важности стоит на втором месте после визуальной. Через слух человек получает 9% информации об окружающем мире, однако если речь идет об оповещении об опасности, она имеет два существенных преимущества перед визуальной. Во-первых, она вызывает в человеке немедленную ответную реакцию, а во-вторых, воспринимается со всех сторон, даже если человек не видит источника сигнала. Все это в равной мере относится к звуковым предупредительным сигналам локомотивов, которые по-прежнему остаются подчас единственным способом предупредить людей, находящихся на путях, о приближающемся поезде. Однако если подвижной состав железных дорог за XX век претерпел существенные изменения, что привело к значительному возрастанию скоростей и, как следствие, увеличению тормозных путей, то звуковые сигнальные устройства локомотивов остались на уровне 20-х гг. В ЛИИЖТе по заданию Министерства путей сообщения были проведены масштабные исследования по определению оптимальных акустических характеристик локомотивных сигналов.

звуковые сигналы локомотивов; дальность распространения звуковых сигналов над земной поверхностью и железнодорожными путями; характерные транспортные шумы; маскировка звуковых сигналов характерными транспортными шумами; определение оптимальной частоты звуковых сигналов локомотивов

Введение

Необходимость в проведении описанных в статье исследований возникла в начале 70-х гг. по нескольким причинам.

Во-первых, в связи с увеличивающимися скоростями подвижного состава возросли тормозные пути поездов, что даже при хорошей видимости при экстренном торможении не позволяло избежать наездов на препятствие. Особенно остро проблема обозначилась в связи с разработкой в Советском Союзе первого высокоскоростного электропоезда ЭР-200, который должен

был курсировать между Ленинградом и Москвой со скоростью 200 км/ч. В большинстве ситуаций, особенно на перегоне, единственным способом предупредить о приближении поезда по-прежнему остается подача звукового сигнала локомотивом [1]. Однако если конструкция локомотивов претерпела за последние десятилетия существенные изменения, то звуковые сигнальные устройства локомотивов, так называемые тифоны, до сих пор изготавливаются по чертежам 30-х–40-х гг., а их акустические характеристики по дальности слышимости ни в коей мере не удовлетворяют современным требованиям.

Во-вторых, в связи с растущей урбанизацией вокзалы, которые ранее в большинстве городов находились на их границах, оказались внутри жилых кварталов и звуковые сигналы локомотивов, особенно в ночное время, стали беспокоить жителей близлежащих домов. Попытка снизить это воздействие применением сигналов малой громкости – свистков, мало помогла.

Все это привело к тому, что Министерство путей сообщения поручило отраслевой лаборатории по борьбе с производственными шумами ЛИИЖТа провести исследования с целью разработки звуковых сигнальных устройств локомотивов, соответствующих современным требованиям. Описанию этой работы и посвящена настоящая статья.

1 Распространение звуков различных частот над земной поверхностью

Звуковая сигнализация – одно из простейших и удобнейших средств связи; ценность ее определяется тем, что для приема сигнала не требуется никакого специального оборудования, поскольку звуковые сигналы легко улавливаются человеческим ухом. С давних времен звуковые сигналы использовались человеком для передачи информации на дальние расстояния. У индейцев Северной и Южной Америки, у африканских народов для этой цели служили барабаны, у европейских народов и славян – колокола. Для подачи сигналов на более близкие расстояния применялись духовые инструменты – рога, горны и т. п.

Количество информации, которое человек получает об окружающем мире, распределяется между органами чувств таким образом: 90% – визуальный канал, 9% – слуховой, на остальные органы чувств приходится 1% [2]. Несмотря на это, слуховой канал имеет ряд преимуществ перед визуальным, что привело к его широкому использованию в качестве средства предупреждения. Во-первых, звуки воспринимаются человеком, даже если человек и не видит источника, а во-вторых, ответная реакция человека на звуковой сигнал значительно быстрее, чем на визуальный.

В конце XIX – начале XX в. проводилось много работ с целью изучения дальности распространения звуковых сигналов над земной поверхностью.

Однако во второй половине XX в. эти работы почти полностью прекратились как утратившие свою актуальность. Между тем звуковые сигналы еще достаточно широко используются для предупреждения наездов транспортных средств на пешеходов, животных, другие транспортные средства, для предупреждения столкновений как на суше, так и на море.

Железнодорожный транспорт широко применяет звуковые предупредительные сигналы, главным образом это относится к звуковым сигналам локомотивов. Количество наездов подвижного состава на людей и другие транспортные средства можно было бы существенно сократить, если бы звуковой сигнал локомотива воспринимался четко и на значительном расстоянии.

Представлялась актуальной разработка такого сигнального устройства, звук которого был бы слышен на значительно большие расстояния и четко воспринимался как в тишине, так и на фоне характерных транспортных шумов. Для этого необходимо было исследовать законы распространения звуков над железнодорожным полотном, поскольку такие исследования никем никогда не проводились.

Звук, распространяющийся над земной поверхностью, подвержен затуханию в результате многих причин. Это естественное рассеяние звука в результате расширения фронта звуковой волны. Поскольку источник звука располагается, как правило, на поверхности земли, звуковое давление P в точке, находящейся на расстоянии r от источника, определяется из выражения [3]:

$$P \equiv \frac{1}{r} \sqrt{\frac{WZ}{2\pi}}, \quad (1)$$

где W – акустическая мощность источника; Z – акустическое сопротивление воздуха.

Однако затухание звука в атмосфере происходит не только вследствие рассеяния энергии, но и из-за поглощения, обусловленного вязкостью и теплопроводностью воздуха. Хотя это затухание частотно-зависимое и пропорционально квадрату частоты излучаемого звука, экспериментально доказано, что оно довольно незначительно и практически не влияет на дальность распространения звука.

Как показывают исследования, основное влияние на дальность распространения звука оказывают, в первую очередь, метеорологические условия. Уже давно было замечено, что при прочих равных условиях звук в Англии распространяется лучше, чем в Италии, и это, конечно, обусловлено разными погодными условиями в этих странах [4]. Основными факторами погодных условий, влияющих на распространение звука, являются ветер, туман и турбулентность атмосферы.

Влияние ветра. Ветер, безусловно, является наиболее важным фактором, определяющим затухание звука. Дальность слышимости звуковых сигналов в направлении ветра и против него значительно различаются. Если рассматривать ход звукового луча, направление которого совпадает с направлением ветра, то за счет разности скоростей движения слоев воздуха он будет изгибаться по направлению к земле, а в случае встречного ветра будет загибаться вверх. Эффект направленности звуковых лучей кверху нельзя преодолеть только за счет увеличения мощности источника звука, так как он зависит только от ветрового градиента. Поскольку ветровой градиент всегда уменьшается с увеличением расстояния от поверхности земли, звуковой луч, проходящий выше, изгибается меньше, чем распространяющийся непосредственно над землей.

Учесть влияние ветра на дальность слышимости очень сложно, так как направление и скорость ветра величины переменные и не зависящие друг от друга.

Влияние тумана и атмосферных осадков. Еще в конце XX в. было замечено, что туман и атмосферные осадки не препятствуют распространению звука, а, скорее, способствуют ему, поскольку в этих случаях атмосфера более однородна. Позднейшие исследования подтвердили это [5]. На опыте моряков установлено, что если наблюдатель и источник находятся в одной полосе тумана, то туман благоприятствует распространению звука, если же один из них находится вне тумана, то слышимость ухудшается, что объясняется частичным отражением звука от границы тумана.

В настоящее время нет достоверных исследований влияния дальности распространения звука от плотности тумана, однако замечено, что в тумане звуки приобретают «ватный» оттенок, т. е. теряются высокие частоты, что еще раз подтверждает вышесказанное о зависимости затухания от вязкости и теплопроводности среды, которые в тумане выше, чем в сухом воздухе.

Влияние тумана на дальность слышимости звуковых локомотивных сигналов чрезвычайно важно, так как в условиях тумана локомотивный сигнал остается единственным средством предупреждения о приближающемся поезде.

Влияние турбулентности атмосферы. В реальных условиях в атмосфере, наряду с медленным изменением ее состояния от одного слоя к другому, происходит беспорядочное турбулентное (вихревое) движение воздуха, которое обуславливается такими явлениями, как перенос водяного пара, процесс теплообмена между различными слоями атмосферы, изменение скорости ветра с высотой, распространение периодических колебаний температуры и т. п. Для турбулентных процессов в атмосфере характерно наличие восходящих и нисходящих потоков воздуха и связанное с этим его перемешивание.

Вихреобразование в атмосфере связано с кинетической энергией ветра и растет вместе с ней. Чем больше скорость ветра, тем интенсивней турбулентное перемешивание. Этот динамический процесс обусловлен преимущественно горизонтальными потоками воздуха. Кроме динамического источника энергии турбулентного перемешивания, существует термический источник, способствующий перемещению вихрей в вертикальном направлении и связанный главным образом с нагреванием подстилающей поверхности и распределением температуры по высоте. В дневные часы теплого времени года неодинаковое нагревание теневой и солнечной сторон подстилающей поверхности способствует образованию вихрей термического происхождения. В результате совместного действия термического и динамического факторов турбулентный обмен в дневные часы резко возрастает, что обуславливает худшую слышимость звуковых сигналов днем по сравнению с ночным временем.

Установлено, что в интервале частот 250–4000 Гц при слабом ветре или штиле затухание, обусловленное турбулентностью атмосферы, равно 1,5–2,2 дБ на 100 м. При более сильном ветре затухание увеличивается до 5–9 дБ на 100 м, становится более заметной зависимость от частоты: для частоты 250 Гц оно равно 5 дБ, 2000 Гц – 8 дБ, 4000 Гц – 9 дБ на 100 м.

Таким образом, ясно, что основное влияние на дальность слышимости звуковых сигналов оказывают метеорологические условия и главным образом турбулентность атмосферы, которая является функцией многих факторов и часто не поддается прогнозированию [5].

2 Исследования по распространению звуков над железнодорожными путями

Ввиду отсутствия достоверных данных об особенностях распространения звуков над железнодорожными путями были проведены экспериментальные исследования этого процесса [6, 7].

Своеобразие плана и профиля железнодорожного пути позволяет рассматривать его как некий акустический волновод, имеющий специфические характеристики затухания. Для исследований был выбран ровный участок пути с типовым щебеночным балластом.

Поскольку специфика восприятия звуковых предупредительных сигналов, в основном сигналов локомотивов, предполагает некий субъективный фактор, т. е. их слышимость, для исследования был выбран способ сравнения громкостей двух источников [8, 9].

На рис. 1 представлена схема эксперимента. В качестве источника звуковых сигналов использовался как обычный генератор звуковой частоты 1, так и магнитофон 3, на ленту которого были записаны звуки, издаваемые

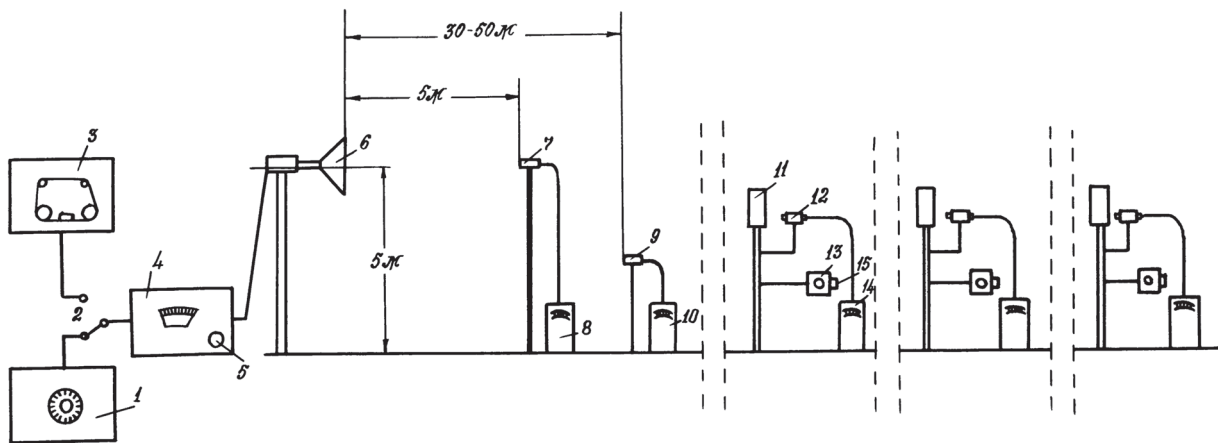


Рис. 1. Схема эксперимента

реальными сигнальными устройствами локомотивов. С выхода генератора или магнитофона через переключатель 2 сигнал, уровень которого устанавливается регулятором 5, поступал на мощный усилитель 4, а с него – на громкоговоритель 6, предназначенный для озвучивания больших пространств. С помощью этой установки легко создавались звуки, по громкости соответствующие громкости реальных звуковых сигнальных устройств локомотивов (рис. 2).

Для контроля излучаемой громкоговорителем мощности на расстоянии 5 м по его оси устанавливался микрофон 7 стандартного объективного



Рис. 2. Расположение излучателя звука при эксперименте

шумомера 8. Второй контрольный микрофон 9, также связанный с шумомером 10, устанавливался на расстоянии от 30 до 50 м, т. е. там, где уровни ветровых помех еще не превосходят уровней полезного сигнала. Далее вдоль железнодорожного пути были установлены три субъективных фонометра. Использование субъективного способа измерения громкости воспринимаемых сигналов объясняется, кроме причин, изложенных выше, еще и тем, что на расстоянии более 100 м от источника уже невозможно объективными способами измерить уровень полезного сигнала, так как он становится ниже уровня помех [8].

Фонометр состоял из портативного звукового генератора с излучателем 11, на некотором расстоянии от которого был установлен микрофон 12, связанный с объективным шумомером 14, регулятора уровня звукового сигнала 13 и кнопочного прерывателя 15. Каждый из фонометров обслуживался одним фонометристом, которые располагались на расстоянии 200, 500 и 1500 м от излучателя (рис. 3). Фонометрист с расположенным слева от него фонометром показан на рис. 4.

В процессе эксперимента фонометристы регулятором устанавливали громкость излучаемого фонометром звука так, чтобы она равнялась громкости прослушиваемого сигнала, и фиксировали показания объективного шумомера. Кнопочный прерыватель служил для удобства сравнения звуков. Генератор фонометра вырабатывал одну фиксированную частоту – 1000 Гц, которая во всех субъективных измерениях служит стандартным тоном сравнения.



Рис. 3. Фонометристы на дистанции

Полное ослабление звука β_r в децибеллах на расстоянии r определялось так [8]:

$$\beta_r = N_0 - N - 20 \lg r / r_0, \quad (2)$$

где N_0 – уровень интенсивности звука на малом расстоянии от источника (в данном случае 5 м); N – уровень интенсивности на фиксированном расстоянии от источника, т. е. в месте нахождения фонометриста; $20 \lg r / r_0$ – естественное рассеяние звука.



Рис. 4. Фонометрист за работой. Слева от него – фонометр, у ног – объективный шумомер

Кроме того, учитывалось молекулярное ослабление звука, вызванное вязкостью среды, которое принималось по известной номограмме Кнезера.

Как следует из вышеизложенного, фонометристами определялось не затухание уровня звукового давления, а затухание уровня громкости звука. Поскольку именно громкость звукового сигнала характеризует четкость его восприятия, полученные данные позволяют лучше проследить ухудшение его слышимости, чем общепринятая величина затухания звука (дБ/км).

Во второй серии экспериментов определялось затухание громкости звука реальных звуковых сигнальных устройств локомотивов, звуки которых

воспроизводились магнитофоном 3 через усилитель, причем для каждого сигнального устройства устанавливалась реальная громкость звука.

В третьей серии экспериментов изучалось влияние высоты расположения сигнального устройства на интенсивность затухания его звука с увеличением расстояния, так как на разных локомотивах звуковые сигнальные устройства располагаются на различной высоте от железнодорожного полотна.

Эксперименты, как уже было сказано выше, проводились на ровном участке пути, по обе стороны от которого находилось травяное поле, ограниченное на расстоянии 50–80 м от пути молодым смешанным лесом (средняя высота деревьев – 3–4 м). На расстоянии от источника сигналов 700 м и далее лес прилегал уже непосредственно к железнодорожному полотну.

Полученные в ходе эксперимента значения избыточного затухания звука, дБ/км, в зависимости от частоты излучаемого звука показаны на рис. 5. Из него следует, что, по сравнению со стандартным затуханием (кривая 1), затухание звуков над железнодорожным полотном (кривая 2) меньше, особенно в области низких и высоких частот.

Результаты экспериментов в дальнейшем были использованы для выбора оптимальных акустических характеристик звуковых сигнальных устройств локомотивов.

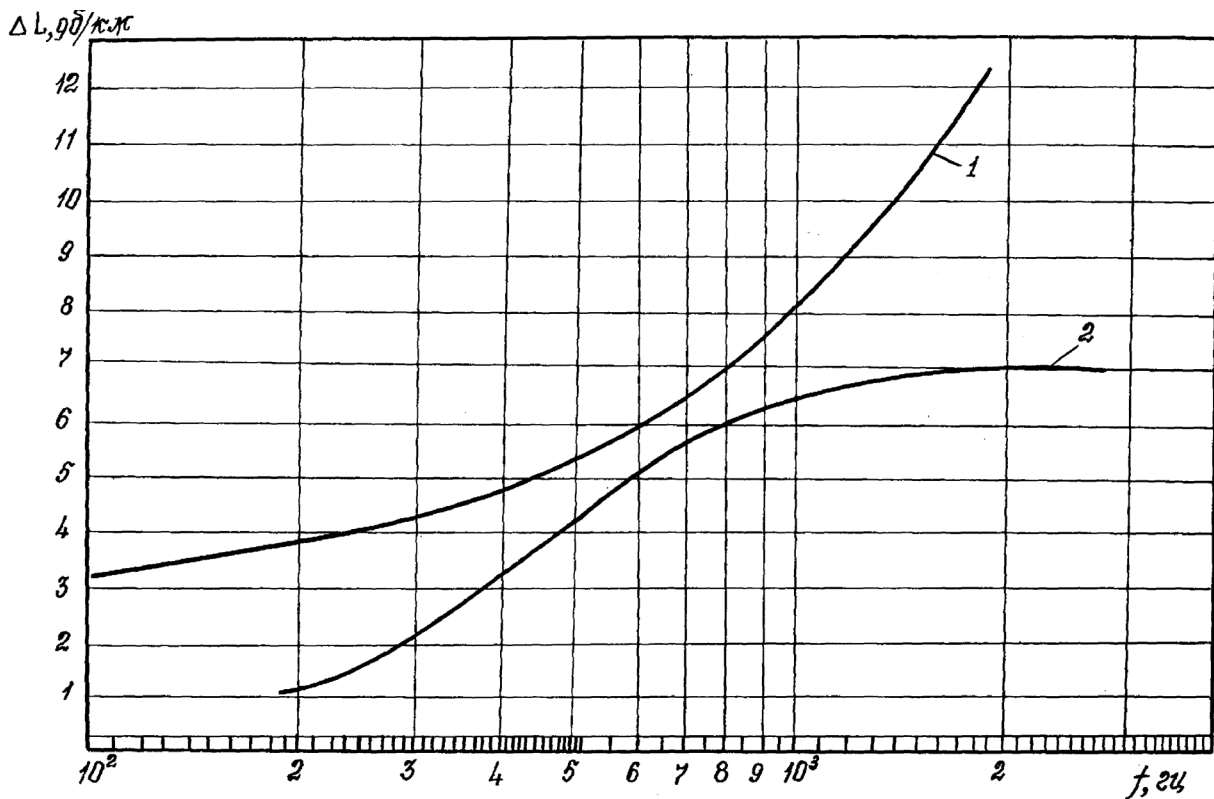


Рис. 5. Затухание звука, дБ/км:

1 – в среднем над поверхностью земли; 2 – над железнодорожными путями

3 Исследования по маскировке звуков различных частот шумами, характерными для работ в зоне движения поездов

В следующей серии экспериментов исследовалось влияние маскирующего действия характерных транспортных шумов на дальность слышимости и четкость восприятия. Для этой цели был сконструирован специальный имитатор, позволяющий имитировать шумы наиболее часто используемых механизмов, работающих на железнодорожных путях и вблизи них.

Имитатор состоял из набора третьоктавных фильтров, через которые пропусклся белый шум. Каждый фильтр снабжался индивидуальным регулятором выхода, после этих регуляторов сигнал поступал на смеситель и оконечный усилитель. Меняя уровень выходного сигнала каждого из фильтров, можно было получить имитацию любого шума.

Затем были проанализированы спектры наиболее характерных транспортных шумов, которые могут мешать восприятию предупредительных звуковых сигналов при работах на путях. Некоторые из них представлены на рис. 6. Здесь 1–6 – шумы наиболее характерных источников, таких

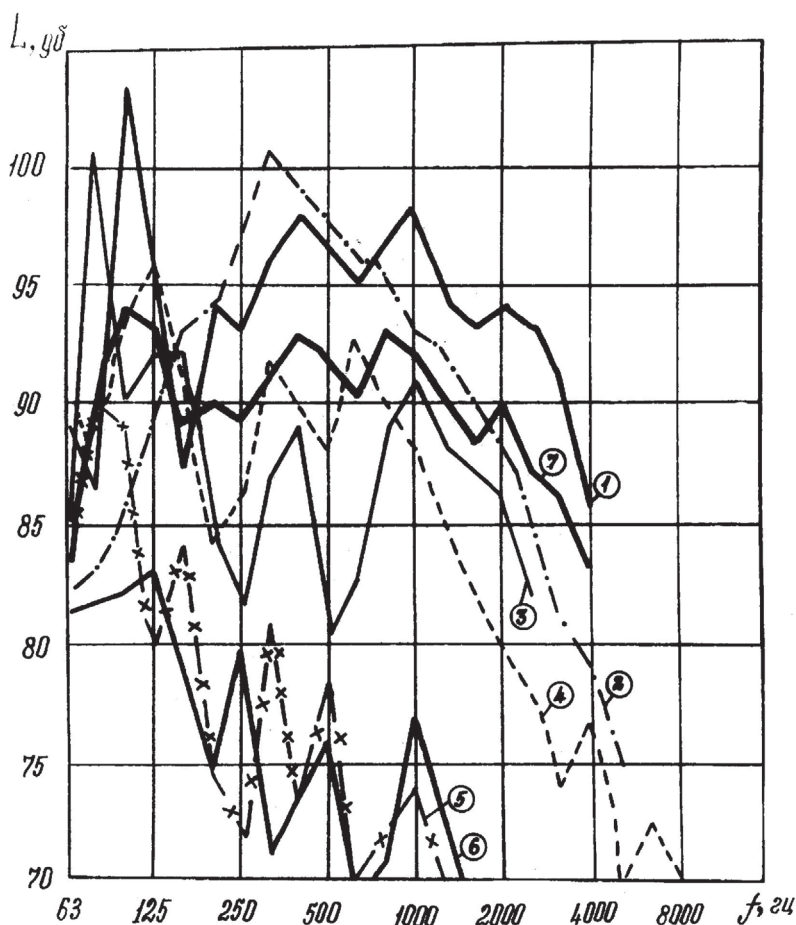


Рис. 6. Спектры наиболее характерных транспортных шумов

как, например, виброшпалоподбойка, выправочно-подбивочная машина, проходящий по соседнему пути поезд и т. п. Всего было проанализировано более 20 характерных источников и на основе их анализа смоделирован некий среднестатистический шум, характерный для работ на железнодорожных путях и маскирующий предупредительный сигнал локомотива. Этот шум показан на рис. 6 в виде кривой 7.

В целях эксперимента по оценке четкости восприятия звуковых сигналов на фоне смоделированного шума этот шум, созданный с помощью описанного выше имитатора, подавался в помещение, в котором было установлено кресло для испытуемых [10]. Кресло было снабжено специальным оголовником, который позволял фиксировать голову испытуемого в строго определенном положении, что давало возможность добиться идентичности условий при большой группе участвующих в эксперименте лиц (рис. 7).

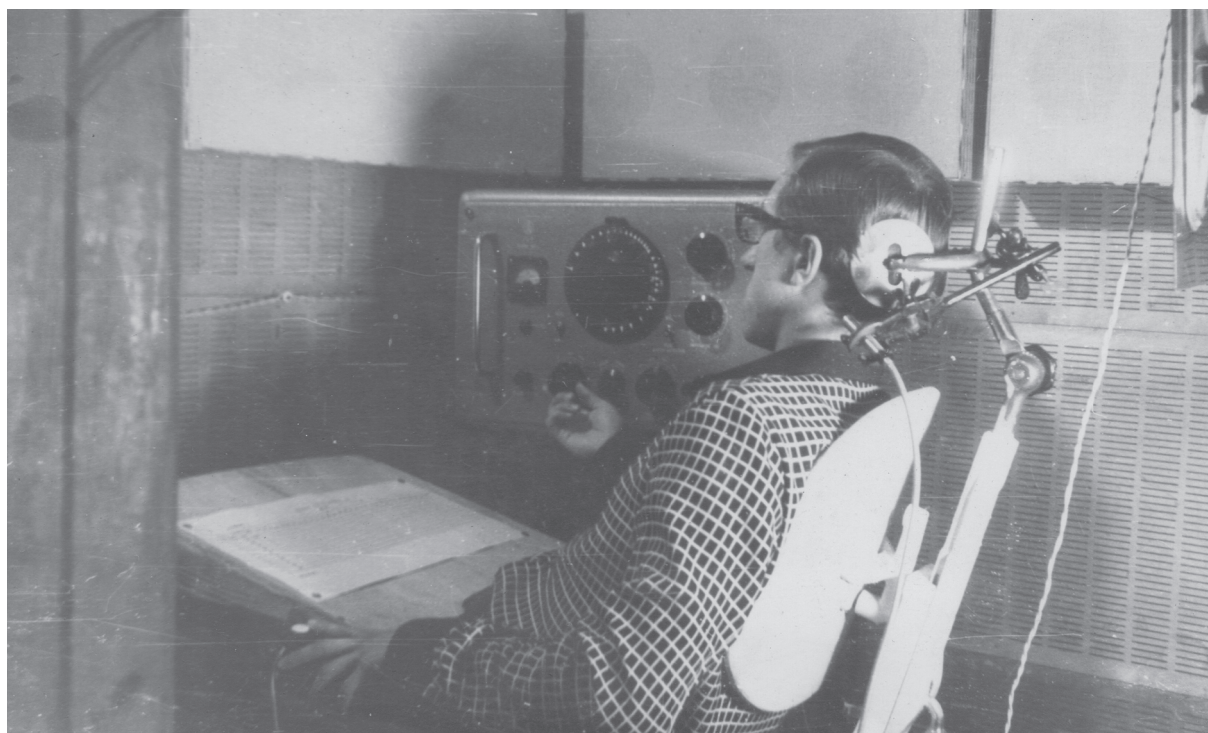


Рис. 7. Испытуемый при проведении эксперимента

В процессе выполнения данной работы появилась необходимость дать определение новым пороговым величинам [11]. Так, для своевременного восприятия звукового предупредительного сигнала определяющим является не порог слышимости, а уровень минимального различения (УМР) и уровень четкого восприятия (УЧВ), определяемые как некий динамический стереотип, вырабатываемый у индивида в процессе повседневной деятельности.

При проведении эксперимента испытуемый в течение минуты вслушивался в среднестатистический шум, воспроизводимый имитатором, после

чего подавался полезный синусоидальный сигнал. Вначале уровень синусоидального сигнала был настолько высок, что воспринимался безупречно. Затем уровень этого сигнала постепенно уменьшался вплоть до полного его исчезновения на фоне маскирующего шума. Момент полного исчезновения сигнала регистрировался как $УМР_1$. Затем эксперимент производился в обратной последовательности, т. е. при установленном уровне мешающего шума подавался звуковой сигнал намного меньших уровней. Вслед за этим уровень сигнала плавно повышался до момента, когда испытуемый регистрировал его восприятие ($УМР_2$). $УМР$ устанавливался как среднее значение этих двух величин.

После регистрации $УМР$ уровень синусоидального сигнала продолжал повышаться до момента, когда испытуемый четко воспринимал сигнал на фоне шума. В процессе тренировки испытуемые подготавливались таким образом, что за $УЧВ$ они принимали такой звуковой сигнал, который безошибочно воспринимался и регистрировался как приказ к действию. Испытания проводились при уровнях шумов, измеренных возле уха испытуемых, от 75 до 90 дБ с интервалами в 5 дБ. Звуковой синусоидальный сигнал подавался в диапазоне частот от 100 до 500 Гц с интервалом 20 Гц, в диапазоне 500–800 Гц с интервалом 50 Гц, а также на частотах 900, 1000, 1500, 2000 и 3000 Гц.

Для отработки методики эксперимента сначала была отобрана контрольная группа из четырех человек. Основные испытания проводились с группой из 25 человек, в которую входили в основном работники службы пути, постоянно выполняющие работы в условиях шума. Поскольку полученные в этой группе значения $УМР$ и $УЧВ$ имели небольшой разброс, то не было необходимости увеличивать количество испытуемых. К испытаниям привлекались только лица с нормальным слухом, поэтому перед экспериментом снималась контрольная аудиограмма каждого испытуемого.

Полученные значения $УМР$ и $УЧВ$ подвергались статистической обработке с целью получения некоего среднего значения для всех испытуемых. Было установлено, что ухо человека в условиях маскировки характерным транспортным шумом наиболее чувствительно к звукам в диапазоне 1000–2000 Гц. Исходя из этого, казалось бы, что для сигнализации целесообразно использовать звуки высоких частот. Однако такие звуки при распространении над железнодорожными путями сильно затухают и, что особенно важно, плохо огибают препятствия. По данным некоторых исследователей, даже при распространении звука над открытым ровным пространством, коим является железнодорожный путь, в 30% случаев наблюдается явление акустической тени, т. е. звук доходит в точку приема за счет явления дифракции.

Таким образом, очевидно, что оба фактора – зависимость дальности слышимости от частоты звука и ослабление его при распространении над

железнодорожными путями – действуют в противоположных направлениях. Следовательно, можно найти оптимальную частоту, при которой ослабление сигнала будет минимальным, а чувствительность уха при маскировке характерным транспортным шумом – максимальной. Взаимный учет этих двух составляющих позволил получить зависимости, представленные на рис. 8. Здесь по оси ординат отложены дальности слышимости в метрах от источника звука в тишине (сплошные линии) и при маскировке характерным транспортным

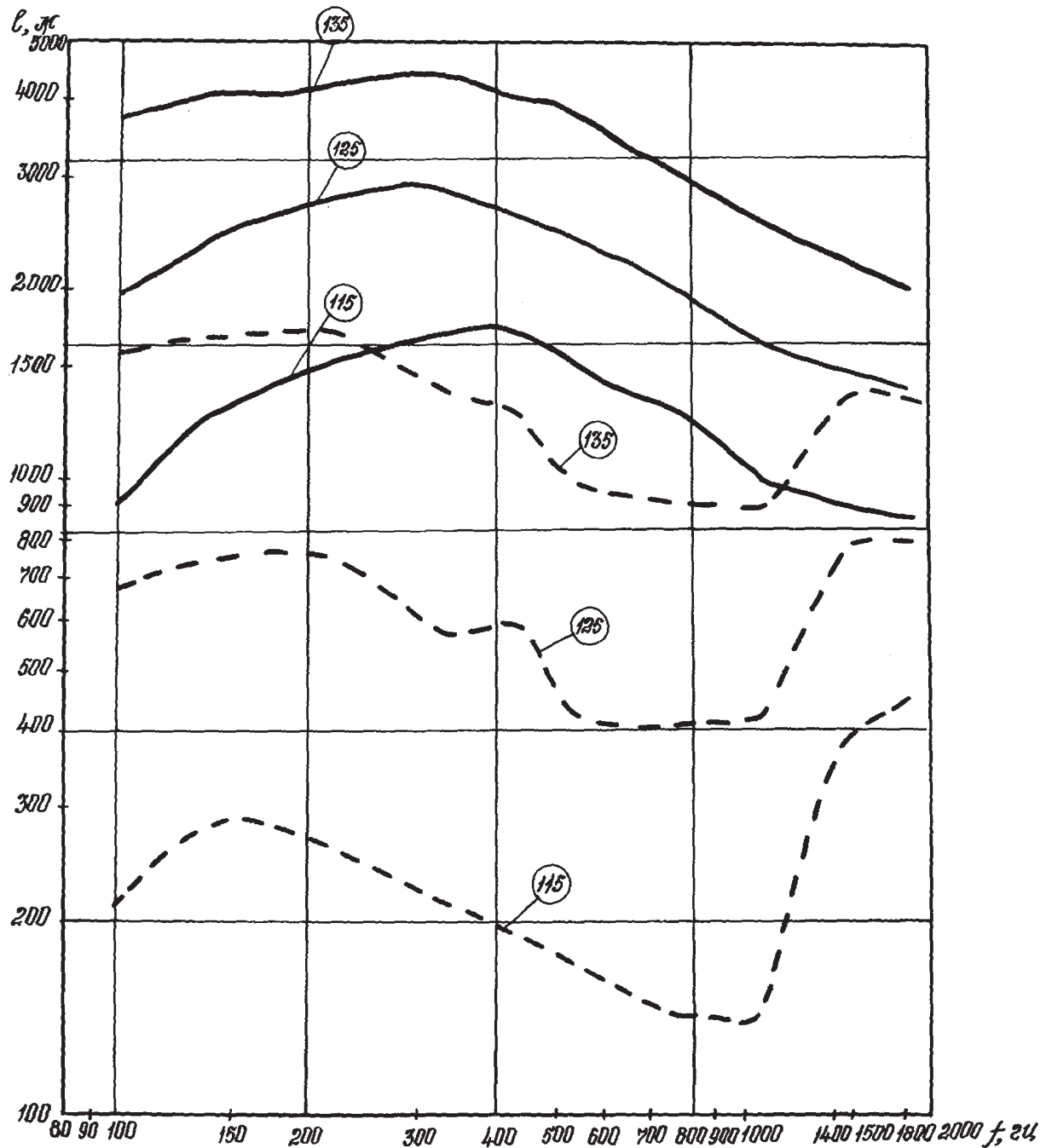


Рис. 8. Дальность слышимости звуковых сигналов

шумом (пунктир). Параметром кривых является уровень звукового давления, создаваемый источником на расстоянии 5 м от его оси.

Полученные кривые позволяют выбрать оптимальную частоту звукового предупредительного сигнала в зависимости от поставленных требований к дальности его восприятия. Совместное рассмотрение кривых на рис. 8 показывает, что оптимальными частотами для восприятия сигнала большой громкости являются частоты 100–400 Гц, а для малой громкости – выше 1200 Гц. Они и послужили базовыми для разработки конструкции звуковых сигнальных устройств локомотивов [12,13].

Заключение

Несовершенство существующих локомотивных сигналов привело к тому, что в условиях, с одной стороны, возросших скоростей движения поездов, а с другой – высокой шумности путевых механизмов они уже не отвечают требованиям безопасности людей, находящихся в зоне интенсивного движения.

С целью повышения безопасности, Министерство путей сообщения поручило в начале 70-х гг. XX в. отраслевой лаборатории по борьбе с производственными шумами кафедры «Охрана труда» ЛИИЖТа разработать конструкции звуковых локомотивных сигнальных устройств, отвечающих современным требованиям.

Прежде чем разрабатывать конструкции самих звуковых сигнальных устройств, необходимо было определить требования к их акустическим характеристикам, отвечающим современным условиям, а именно к частоте основного тона и громкости звучания. Для этого были выполнены две серии экспериментов.

В первой серии экспериментов исследовалось распространение звуковых волн над железнодорожными путями с целью определить частоты, обладающие наименьшим затуханием и в то же время наиболее четко воспринимаемыми на слух. При этом использовался субъективный способ оценки. Для этого был создан субъективный фонометр оригинальной конструкции, подробно описанный в статье. Фонометристы с фонометрами располагались на железнодорожных путях на различных расстояниях от источника сигнала. В результате были получены графики, показавшие, что распространение звуков над железнодорожными путями значительно отличается от такового над обычной земной поверхностью.

Во второй серии экспериментов исследовалась маскировка характерными транспортными шумами звуков различных частот с целью определить те диапазоны частот, которые наиболее слышны на фоне этих шумов. Для этого были проанализированы шумы наиболее распространенных путевых механизмов и создан среднестатистический шум. Далее с помощью специального

имитатора, состоящего из источника «белого» шума и набора третьоктавных фильтров, этот шум подавался в специальную камеру, в которой испытуемые, в качестве которых выступали работники службы пути, определяли, какие частоты наиболее слышны на фоне этого шума.

Совместное исследование результатов первого и второго экспериментов позволило выработать требования к акустическим характеристикам звуковых сигнальных устройств локомотивов.

Библиографический список

1. Зальцман Г. К. Звуковые локомотивные сигналы и безопасность производства путевых работ / Г. К. Зальцман // XXII научно-техническая конференция. – Л. : ЛИИЖТ, 1970. – С. 99–100.
2. Справочник по акустике / В. К. Иофе, В. Г. Корольков, М. А. Сапожков ; под ред. М. А. Сапожкова. – М. : Связь, 1979. – 312 с.
3. Morse P. M. Linear acoustic theory / P. M. Morse, U. Ingard // Handbook der Physik. Springer Verlag, Berlin. – 1962. – Vol. XI/7. – Pp. 1–127.
4. Тиндаль Дж. Звук / Дж. Тиндаль. – СПб. : Изд-во Сытина, 1903. – 377 с.
5. Miller N. B. Reflections from gradual transition sound absorbers / N. B. Miller // Journal Acoustic Society of America. – 1958. – Vol. 30. – Pp. 967–975.
6. Зальцман Г. К. О слышимости звуковых сигналов на местности / Г. К. Зальцман, А. П. Пронин // Вопросы охраны труда на железнодорожном транспорте : сб. тр. ЛИИЖТа. – 1971. – Вып. 327. – С. 41–46.
7. Зальцман Г. К. Некоторые эксперименты по определению слышимости звуковой сигнализации / Г. К. Зальцман, А. П. Пронин // VIII Всесоюзная акустическая конференция. Рефераты докладов. – М., 1972. – С. 42–43.
8. Zwicker E. Das Ohr als Nachrichtenempfänger / E. Zwicker, R. Feldtkeller. – Stuttgart : S. Hirzel Verlag, 1967. – 262 p.
9. Beranek L. L. Acoustic measurements / L. L. Beranek. – N. Y. : Wiley, 1949. – 527 p.
10. Зальцман Г. К. Исследование слышимости звуковой локомотивной сигнализации на фоне характерных транспортных шумов / Г. К. Зальцман // Вопросы охраны труда на железнодорожном транспорте : сб. тр. ЛИИЖТа. – 1971. – Вып. 327. – С. 46–51.
11. Гольдбурт С. Н. Нейродинамика слуховой системы человека / С. Н. Гольдбурт. – Л. : Изд-во Ленинградского университета. 1964. – 211 с.
12. Зальцман Г. К. К вопросу о выборе звуковых сигналов для локомотивов / Г. К. Зальцман, Г. Е. Скородумов, А. П. Пронин // Труды Всесоюзной межвузовской конференции по проблемам охраны труда. – Иваново, 1969. – С. 110–111.
13. Зальцман Г. К. Акустические параметры звуковых сигнальных устройств локомотивов / Г. К. Зальцман, А. П. Пронин // Транспортное машиностроение : сб. – М., 1971. – С. 37–41.

- transport. Leningrad Institute of Railway Engineers collection of scientific papers [Voprosy ohrany truda na zheleznodorozhnom transporte. Sb. trudov LIIZHTa], issue 327. – Pp. 41–46.
7. Zal'cman G. K., Pronin A. P. (1972). Some experiments to determine the audibility of audible alarms [Nekotorye ehksperimenty po opredeleniyu slyshimosti zvukovoj signalizacii]. VIII All-Union Acoustic Conference. Reports [VIII Vsesoyuznaya akusticheskaya konferenciya. Referaty dokladov]. Moscow. – Pp. 42–43.
 8. Zwicker E., Feldtkeller R. (1967). Das Ohr als Nachrichtenempfänger. S. Hirzel Verlag. Stuttgart. – 262 p.
 9. Beranek L. L. (1949). Acoustic measurements. New York, Wiley. – 527 p.
 10. Zal'cman G. K. (1971). Research of locomotive cub signals audibility against the background of traffic noise [Issledovanie slyshimosti zvukovoj lokomotivnoj signalizacii na fone harakternyh transportnyh шумов]. Issues of labor protection in railway transport. Collection of Works Leningrad Institute of Railway Engineers [Voprosy ohrany truda na zheleznodorozhnom transporte. Sb. trudov LIIZHTa], issue 327. – Pp. 46–51.
 11. Gol'dburt S. N. (1964). Neurodynamics of the human auditory system [Nejrodinamika sluhovoj sistemy cheloveka]. Publishing house of the Leningrad University [Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta]. – 211 p.
 12. Zal'cman G. K., Skorodumov G. E., Pronin A. P. (1969). On the choice of train signals for locomotives [K voprosu o vybore zvukovyh signalov dlya lokomotivov]. Proceedings of the All-Union Interuniversity Conference on Occupational Safety and Health [Trudy Vsesoyuznoj mezhvuzovskoj konferencii po problemam ohrany truda]. Ivanovo. – Pp. 110–111.
 13. Zal'cman G. K., Pronin A. P. (1971). Acoustic parameters of sound signal devices of locomotives [Akusticheskie parametry zvukovyh signal'nyh ustrojstv lokomotivov]. Collection of scientific papers. Transport engineering [Sb. Transportnoe mashinostroenie]. Moscow. – Pp. 37–41.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 23.03.2018, принята к публикации 19.04.2018*

ЗАЛЬЦМАН Геннадий Константинович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.

ПРОНИН Анатолий Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: pronin56@yandex.ru