

Автор
Б 73

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

УДК 62-758.34:664.71.05

БОГАТЫРЕВ БРОНИСЛАВ ПЕТРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ
УСТАНОВОК ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность 05.18.12 -- процессы и аппараты
пищевых производств

Специальность 05.26.01 -- техника безопасности и
противопожарная техника

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1988

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
пищевой промышленности имени М.В.Домоносова.

Научные руководители: доктор технических наук,
профессор А.М.Дзядзио ;
доктор технических наук,
профессор, заслуженный работник
Высшей школы УССР, Г.В.Дуганов

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Н.К.Наремский;
доктор технических наук,
профессор Е.Я.Юдин

Ведущая организация - Минский комбинат хлебопродуктов

Защита состоится " _____ " _____ 1988 г. в " _____ " ча-
сов на заседании специализированного совета К 068.35.02 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени
М.В.Домоносова; 270039, г.Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности имени М.В.
Домоносова.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1988 г.

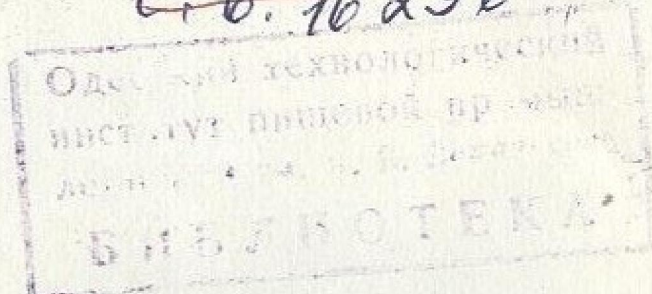
Ученый секретарь
специализированного совета
Д.Т.Н., доцент

Л.И.Каонаушенко

ОНАХТ 17.06.11
Совершенствование гл



v016296



~~В.В. 16296~~ v016296

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. XXУП съезд КПСС для ускорения научно-технического прогресса народного хозяйства поставил задачу увеличить производство машин и оборудования, обеспечивающих как механизацию и автоматизацию технологических процессов, так и высокий уровень санитарно-гигиенических условий труда.

На зерноперерабатывающих предприятиях наиболее совершенным средством механизации процессов перемещения сыпучих материалов является пневматический транспорт. Вместе с тем, практическое использование пневмотранспортных установок сделало очевидным не только их достоинства, но и недостатки, среди которых повышенный шум воздуходувных машин. Наличие шумового фактора способствует утомляемости, раздражительности, ослаблению памяти и внимания, затрудняет пользование предупредительной сигнализацией, что нередко является прямой или косвенной причиной травматизма. В этих условиях глушители шума относятся к технике, обеспечивающей безопасность обслуживающего персонала.

Актуальность совершенствования глушителей шума воздуходувных машин пневмотранспортных систем объясняется тем, что до настоящего времени отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования, посвященные конкретно рассматриваемой проблеме.

Целью работы является улучшение условий труда на зерноперерабатывающих предприятиях путем совершенствования глушителей шума воздуходувных машин пневмотранспортных установок.

Задачи работы:

исследование шума воздуходувных машин пневмотранспортных установок и оценка необходимого эффекта установки глушителей;

выбор акустических элементов для повышения эффективности облицованных каналов и их экспериментальные исследования;

теоретическое обоснование использования волноводных изоляторов в акустически широких трубах пневмотранспортных установок;

экспериментальная проверка теории волноводной изоляции;

установление взаимосвязи акустических и геометрических параметров волноводных изоляторов;

производственные испытания глушителей и оценка их влияния на акустический режим зерноперерабатывающих предприятий.

Научная новизна работы. Выявлено влияние внешних и внутренних покрытий (кожуха и мучной пыли) на акустические свойства облицовки каналов комбинированных глушителей.

Теоретически решена задача использования волноводных изоляторов в акустически широких трубах. Экспериментально проверена теория волноводной изоляции. При этом установлены: максимально допустимые значения волновых параметров; частота максимального эффекта установки; условие падения эффективности по длине глушителя; зависимость эффекта установки от геометрии расположения резонаторов и их отверстий; зависимость влияния потока на эффект установки от волновых параметров изолятора; способы получения широкополосной изоляции; условия разбиения диапазона изоляции на поддиапазоны.

Практическая ценность работы. На глушители комбинированного типа ЦНИИПромзернспроект Министерства хлебопродуктов СССР разработал технические условия и конструкторскую документацию, а СПКИ Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения - стандарт предприятия. Подготовлена методика расчета глушителей без ЗПМ.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на Всесоюзных и межотраслевых научно-технических конференциях по охране труда, Севастополь, 1981...1987; республиканских конференциях "Борьба с вредными воздействиями шума и вибрации", Донецк, 1978 г. и Кривой Рог, 1982 г.; Всесоюзной конференции по авиационной акустике, Звенигород, 1978 г.; научно-технической конференции по виброакустике автомобиля, Тольятти, 1982 г.; отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им. М.В.Ломоносова, Одесса, 1985, 1987 г.г.

На защиту выносятся теоретическое и экспериментальное обоснование закономерности выбора акустических и геометрических параметров глушителей для установки в воздуховодах пневмотранспортных установок: с ЗПМ - комбинированного типа, без ЗПМ - волноводных изоляторов с прямоугольным и кольцевым поперечным сечением.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений.

Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 13 таблиц и 19 приложений. Список литературы включает 72 наименования, в том числе 13 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе содержится анализ факторов, обуславливающих санитарно-гигиенические условия труда на зерноперерабатывающих предприятиях, оценена эффективность мероприятий по уменьшению аэродинамического шума воздуходушных машин пневмотранспортных систем, приведен обзор конструктивных решений глушителей шума.

Суммируя результаты работ, проведенных ВНИИЗ, ЦНИИПромэнергопроект, ВЗИП, МТИП, ВНИЭКИПродмаш и ОТИП, можно сделать вывод о том, что самым опасным фактором является взрывоопасная концентрация пыли внутри оборудования, а самым вредным — шум воздуходувных машин пневмотранспортных установок. Уменьшение шума, распространяющегося в воздуховодах, основано, в основном, на реализации двух физических принципов: поглощении звука облицовкой канала и отражении его обратно к источнику реактивными или резонансными элементами. Ключевая проблема при этом заключается в нейтрализации плоской или нулевой нормальной волны.

Обзор литературных данных и практики эксплуатации на мельзаводах страны трубчатых и пластинчатых глушителей шума, заимствованных из строительных норм и правил, позволил определить основную схему глушителя со звукопоглощающим материалом (ЗПМ) — щелевой облицовочный канал как конструкцию не содержащую ЗПМ внутри запыленного потока. Ввиду того, что литературные источники и проектная документация содержат противоречивые сведения об эффективности глушителей с ЗПМ (в том числе и со щелевыми каналами) обоснована необходимость постановки дополнительных экспериментальных исследований.

Внедрение В/О "Спецэлеватормельмонтаж" четвертьволнового изолятора для уменьшения шума на мельнице в г. Орше показало, что приемлемыми для работы в запыленном воздухе пневмотранспортных систем могут стать резонансные глушители. Практический опыт использования таких конструкций для уменьшения вентиляционного шума не велик (Е.Я.Юдин, А.С.Терехин, В.А.Терк), а теоретические разработки, например, теория волноводной изоляции М.А.Исаковича, охватывает только акустически узкие грубы при условии неподвижности среды в них. Тем не менее, теория М.А.Исаковича дает возможность оптимизировать геометрические и акустические параметры конструкции, и в силу этого была использована как базовая теория совершенствования глушителей без ЗПМ.

Во второй главе определены исходные данные для совершенствования глушителей шума: эффект установки; частотный диапазон изоляции звука; акустические характеристики воздуходувных машин — вентиляторов высокого давления типа ВВД и ЦЕ, турбовоздуховодов типа ТВ; условия испытаний (аэроакустические характеристики экспериментальных стендов).

Если в нагнетательных воздуховодах вентиляторов и турбовозду-

ходувки не используются специальные аппараты очистки воздуха от пыли (центробежные или матерчатые), установка глушителей в соответствии с требованиями отраслевых правил по технике безопасности обязательна. Показано, что основными факторами при расчете глушителей шума являются уровни звукового давления нагнетания и ширина санитарно-защитной зоны. Сравнение измеренных уровней звукового давления с предельно допустимыми значениями позволило установить, что наименьшим необходимым эффектом установки (6, 17, 18, 7 дБ соответственно на частотах 250, 500, 1000 и 2000 Гц) обладают глушители, монтируемые на турбовоздуховодах. Поэтому с акустической точки зрения применение последних на предприятиях отрасли предпочтительно.

Исследование глушителей как в акустически широких, так и в акустически узких трубах проводилось на экспериментальных стендах, построенных по общепринятому принципу разделения шума нагнетания и всасывания воздуходувных машин. Методически испытания базировались на работах Д.З.Лопашева, Г.Л.Осипова, которые устанавливают требования к шуму помех, к типу измерительной аппаратуры (у нас - комплекту фирмы "PFT", к точности измерений.

В третьей главе исследованы способы совершенствования традиционно используемых на зерноперерабатывающих предприятиях глушителей со звукопоглощающим материалом.

Совершенствование глушителей с ЗПМ основывалось на теоретических предпосылках, которые определяли выбор ширины канала h , устанавливающей критическую частоту $f_{кр}$ выше пиковой частоты f_n заглушаемого диапазона, и толщины ЗПМ, настроенной на пиковую частоту. Поскольку последнего условия для гарантированного уменьшения пиковой составляющей спектра частот (630 Гц) недостаточно, в конструкцию типа "облицованный щелевой канал" были введены расширительные камеры, длина которых l_k определилась из расчета $l_k = 0,25 c f_n^{-1}$. Так, ширина прямоугольного канала 210 мм, рассчитанная для глушителей, устанавливаемых в воздуховодах 500 и 700 мм, обеспечивает критическую частоту 800 Гц ($f_{кр} = 0,5 c h^{-1}$), ниже которой распространение волн высших порядков прекращается. На частотах же выше 800 Гц достаточно эффективно акустические облицовки из пенополиуретана ППУ-ЭТ, выбранного в качестве основного ЗПМ.

Расположение облицовки ограничено с внутренней стороны перфорированной стенкой канала, с внешней - стенкой кожуха. Показано, что наличие или отсутствие стенки кожуха сказывается на эффекте

установки глушителя (ΔL) только при тонких слоях облицовки (20 мм), причем с увеличением скорости потока эффект отсутствия кожуха ΔL_k уменьшается (рис.1). Таким образом, экранирующие покрытия (стенки канала из мельничных сит и кожух) при рекомендованной толщине ЗПМ, равной 100 мм, выполняют функции только его механической защиты от повреждений и выдувания потоком воздуха.

Мучная пыль, оседающая на облицовку, уменьшает коэффициент звукопоглощения ЗПМ (α) и, в конечном счете, эффективность глушителя (рис.2). Поэтому глушитель комбинированного типа, предлагаемый для использования в системах пневмотранспорта, выполнен секционным с боковыми съемными крышками (рис.3), позволяющими производить профилактическую очистку аппарата от пыли. Экспериментальные исследования показали, что камеры этого глушителя обеспечивают примерно 40% эффекта установки на пиковой частоте, при этом наибольшее затухание вносит первая камера. Увеличение их числа не повышает прямопропорционально эффект установки, как и удлинение конструкции в сборе (рис.4). Ввиду этого длина глушителя ограничена тремя секциями.

Комбинированные глушители длительное время эксплуатируются на мельничных предприятиях в Одессе, Киеве, Николаеве, Алма-Ате, и других городах страны, обеспечивая нормальные акустические условия работы и отдыха (рис.5). На глушители ЦНИИПромэнергопроект разработал конструкторскую документацию. В технических условиях в табличной форме представлены аэроакустические характеристики конструкций лосекционно на длине 0,5 ... 1,5 м. После сравнительных, стендовых и приемочных испытаний, проведенных с участием Харьковской МИС, Московского НИО, ЦНИИПромэнергопроект, Курского завода "Элеватор-мельмаш", глушители комбинированного типа рекомендованы к производству.

При работе с сыпучими, склонными к пылению, продуктами представляют интерес устройства, сочетающие пылеулавливание и шумоподавление. В качестве такой простейшей конструкции исследовался глушитель-фильтр, в котором наряду с расширительной камерой использовалась фильтрующая поверхность для уменьшения энергии звука за счет его "просачивания" сквозь поры материала. - пенополиуретана. Однако, в ходе производственной проверки выявились серьезные недостатки, ставящие под сомнение перспективу разработки таких глушителей. Объясняется это несколькими причинами: во-первых, тем, что пенополиуретановый лист, поставленный поперек потока, создает значительное аэродинамическое сопротивление (~ 1000 Па); во-вторых,

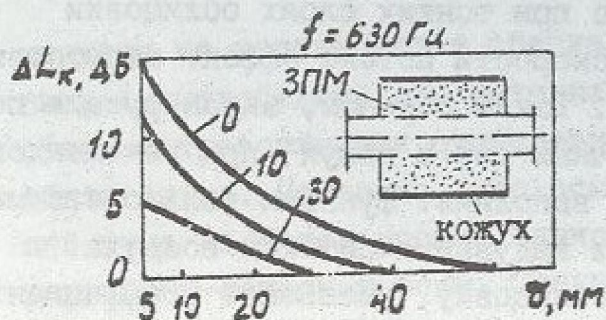


Рис. 1

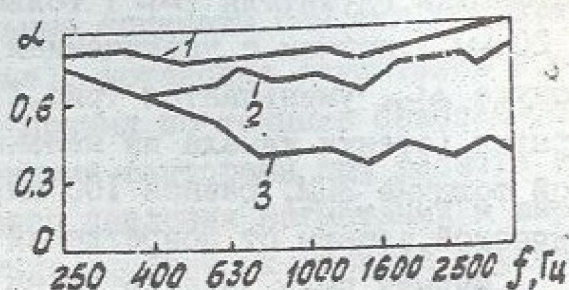


Рис. 2



Рис. 3

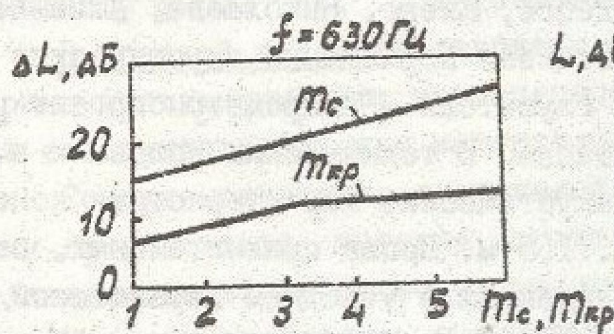


Рис. 4

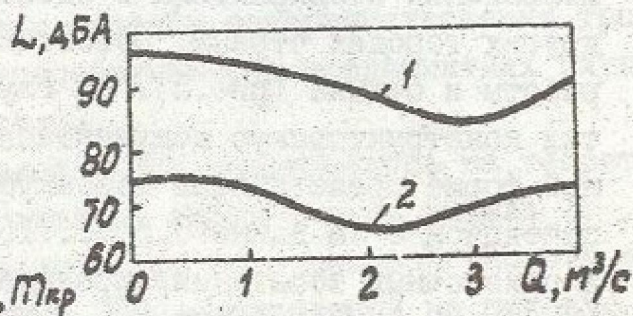


Рис. 5

Рис. 1. Эффект отсутствия кожуха: 0, 10, 30 - скорость потока воздуха, м/с.

Рис. 2. Влияние покрытий на коэффициент звукопоглощения ЗПМ: 1 - ЗПМ без покрытий; 2 - ЗПК (ЗПМ + стеклоткань + мельничное сито); 3 - ЗПК + мучная пыль, $\delta = 1$ мм.

Рис. 3. Схема глушителя комбинированного типа.

Рис. 4. Зависимость эффекта установки комбинированного глушителя от числа камер $m_{кр}$ и секций $m_{с}$.

Рис. 5. Аэроакустические характеристики турбовоздуходувки ТВ-150-1, 12: 1 - без глушителя, 2 - с глушителем ОТИ-700 (У2-БПШ-700.3).

пропуск большого количества продукта через вентилятор, а значит и через глушитель, приводит к разрыву перегородки.

В четвертой главе проведен теоретический анализ новых конструкций волноводных изоляторов (ВИ) с прямоугольным и кольцевым поперечным сечением.

Поскольку все конструкции типа "облицованный канал" принципиально чувствительны к пыли, вследствие чего невозможно обеспечить стабильные во времени акустические характеристики, проблема создания глушителей без ЗПМ связана с теоретическим обоснованием возможности использования ВИ в акустически широких трубах пневмотранспортных установок ($\varnothing$ 315 ... 710 мм).

В теории волноводной изоляции указывается, что изолятор, рассчитанный по формулам для акустически узкой трубы ($\kappa R < 1$; κ - волновое число, R - радиус трубы), при $\kappa R = 2,4$ имеет нулевую полосу запирания. Если за верхнюю границу допустимых значений принять $\kappa R = 1$, то в воздуховоде диаметром 500 мм ВИ должен работать без значительных отступлений от расчета только на частотах до 250 Гц, а в воздуховоде диаметром 710 мм - до 160 Гц. Это ограничение можно, однако, обойти и построить для любого радиуса трубы ВИ, рассчитанный на заданный диапазон запирания, если изолятор выполнить не в виде отрезка круглой трубы, но как прямоугольный канал малой ширины, снабженный резонаторами Гельмгольца по боковым стенкам. Того, что один из размеров поперечного сечения канала мал по сравнению с длиной волны звука, оказывается достаточно, чтобы он вел себя подобно узкой трубе: т.е. распределение давления по ширине канала κ будет постоянным, несмотря на то, что второй размер поперечного сечения - его высота - ничем не ограничен и может даже превышать длину волны изолируемого звука.

Обозначим плотность и сжимаемость среды в канале через ρ и $\beta = (\rho c^2)^{-1}$ соответственно, а входной импеданс стенок, снабженных резонаторами, через $Z_c = \rho V^{-1}$, где нормальная компонента скорости частиц на стенках V связана со смещением χ соотношением $V = -i\omega\chi$. Поскольку давление p по высоте канала постоянно, можно ввести эффективную сжимаемость среды, полагая ее равной $\beta + \beta'$, где β' - добавка к сжимаемости среды, обусловленная смещением на стенке. Тогда для волнового числа ξ плоской волны в канале имеем

$$\xi^2 = \omega^2 \rho (\beta + \beta'). \quad (1)$$

Выразим β' через эффективный импеданс стенки, получаемый в результате "размазывания" входных импедансов горлышек резонаторов по всей поверхности стенки. Относительное изменение объема среды в

результате ее перетекания внутрь резонаторов при приложении единичного давления равно $\chi \hbar^{-1}$. Значит, $\beta = \chi (\hbar p)^{-1} = (-i\omega \hbar Z_c)^{-1}$. Подставляя это выражение в (1) и учитывая, что волновое число $\kappa^2 = \omega^2 \beta p$, получим

$$\xi^2 = \kappa^2 [1 + p c (-i\kappa \hbar Z_c)^{-1}]. \quad (2)$$

Входной импеданс горлышка отдельного резонатора равен

$$Z = -i\omega \mu F^{-1} (1 - \kappa_0^2 \kappa^{-2}),$$

где μ - эффективная масса среды в горлышке, F - площадь отверстия горлышка, а волновое число κ_0 на собственной частоте резонатора объемом Ω определяется из соотношения $\kappa_0^2 = pF(\mu\Omega)^{-1}$.

"Метод размазывания" дает усредненный импеданс для стенки канала $Z_c = Z E^{-1}$, где концентрация отверстий горлышек $E = F \Sigma^{-1}$ есть

отношение площади отверстия к площади стенки, приходящейся на один резонатор Σ . Таким образом, $Z_c = -i\omega \mu \Sigma F^{-2} (1 - \kappa_0^2 \kappa^{-2})$. Под-

ставляя это выражение в (2) и пользуясь значением κ_0^2 , получим

$$\xi^2 = -\kappa^2 [q (\kappa^2 \kappa_0^{-2} - 1)^{-1} - 1], \quad (3)$$

где $q = \Omega (\hbar \Sigma)^{-1}$ - отношение объемов резонатора и канала. При $q (\kappa^2 \kappa_0^{-2} - 1)^{-1} > 1$ волновое число ξ^2 - отрицательная величина, так что ξ становится чисто мнимым. Распространение волны прекращается, сменяясь синфазным колебанием, затухающим вдоль трубы по экспоненциальному закону. Если цепочка резонаторов расположена на участке канала длиной L_n , ослабление шума в дБ $\Delta L = 8,68 \xi L_n$. Исключая из последнего равенства и (3) величину ξ , получим зависимость аналогичную формуле М.А.Исаковича

$$\Delta L = 54,5 L_n q_n \lambda_e^{-1}, \quad (4)$$

где $q_n = \sqrt{q (n^2 - 1)^{-1} - 1}$; n - диапазон изоляции, λ_e - длина волны на верхней частоте изолируемого диапазона частот. Это говорит о том, что все выводы, которые были сделаны в теории волноводной изоляции относительно изолирующего действия волноводного изолятора нулевой нормальной волны для узкой круглой трубы, переносятся без изменения на изолирующее действие волноводного изолятора в виде узкого щелевого канала. В случае необходимости его высоту можно уменьшить, переходя к пластинчатой или кольцевой форме поперечного сечения (рис.6).

При исследовании новой схемы волноводных изоляторов (А.с. 1280136) - с кольцевым поперечным сечением - показано, что относительный входной импеданс равен

$$\bar{Z} = Z(p c) = i \hbar_p^{-1} (1 - 0,25 \hbar_p x^{-1} - 0,33 \hbar_p^2 - 0,25 \hbar_p x^2), \quad (5)$$

где $h_r = y - x$; $x = \kappa \tau_1$; $y = \kappa \tau_2$.

Результаты проведенного анализа имеют практическую ценность в силу того, что поправка на неравномерность сжатия по высоте резонатора $(-0,33h_r^2)$ позволяет оценить допустимую его глубину H . Как следует из формулы (5), эта поправка с увеличением частоты возрастает пропорционально квадрату ее значения. Если допустить, что отклонение импеданса от квазистатического значения может быть не более, чем на 30%, то критерий применимости формул (3,4) определяется соотношением $h_r \leq 1$ или $2\pi\lambda_B \leq H^{-1}$. В соответствии с этой оценкой глубина резонаторов не должна превышать одной шестой части длины волны звука на верхней частоте заданного диапазона.

При равных глубине резонатора и ширине (диаметре) канала величина q для круглого канала больше в $(2+q_{ш})$ раз величины $q_{ш}$ для щелевого канала: $q_{ш} = 2Hh^{-1}$. Это значит, что круглые каналы обеспечивают более широкую полосу диапазона изоляции при равном эффекте установки. Однако, сравнительный расчет круглого, щелевых и сотового волноводных изоляторов показал практическую ценность для использования в широких трубах только щелевых - кольцевых и пластинчатых ВИ, так как они при равном диапазоне изоляции имеют наименьшие объем устройства и площадь поперечного сечения.

Поскольку волноводный изолятор - "сумма" резонаторов Гельмгольца, движение потока, сказывающегося на величине входных импедансов резонаторов, приводит к изменению эффективного ("размазанного") импеданса стенки канала. Количественная сторона этого фактора определяется коэффициентом прохождения звука на резонансной частоте $B_{рез}$:

$$B_{рез} = (1 + 0,66 U^{-1} S^{-1} d^2 c)^{-1}, \quad (6)$$

где c - скорость звука; S - площадь поперечного сечения канала ВИ; d - диаметр отверстия резонатора; U - скорость потока.

Анализ формулы (4) показывает, что с уменьшением диапазона изоляции эффект установки увеличивается. При $q_m = 1$ получаем оптимальные акустические $(\Delta L, n)$ и геометрические (L_m) характеристики круглых, кольцевых и пластинчатых ВИ. Если $q_m = 0$, ширина полосы запираия достигает максимального значения $n_{max} = \sqrt{q+1}$. Создание широкополосного ВИ приводит к быстрому, как квадрат n_{max} , росту габаритных размеров глушителя. Их уменьшение связано с разбиванием расчетного диапазона n на m поддиапазонов, необходимое количество которых оценивается построением графика $\Omega_{ин} - m$ (рис.7). Коэффициент $\Delta\Omega$, определяющий отношение объема устройства до разбиения диапазона Ω_n и после этого $\Omega_{ин}$, т.е. вы-

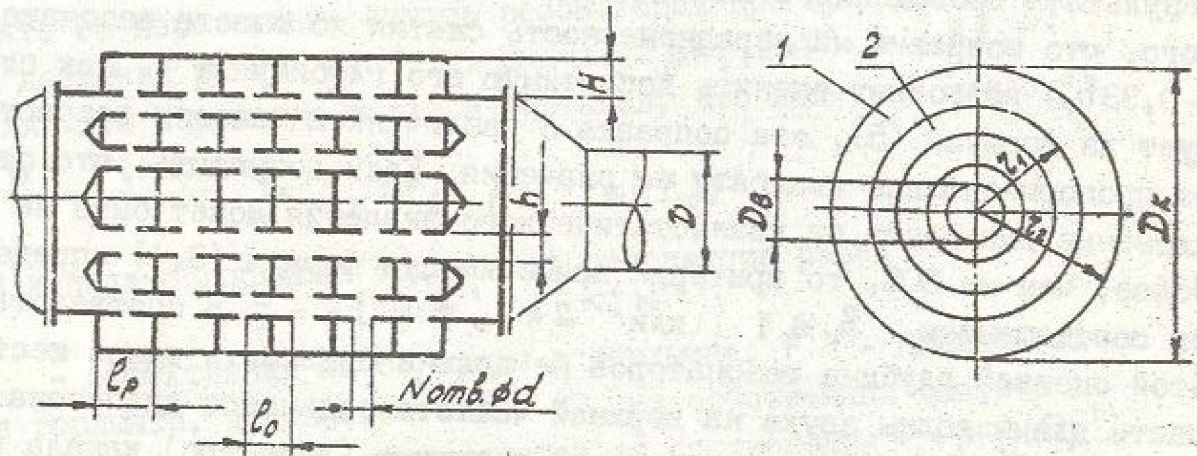


Рис. 6

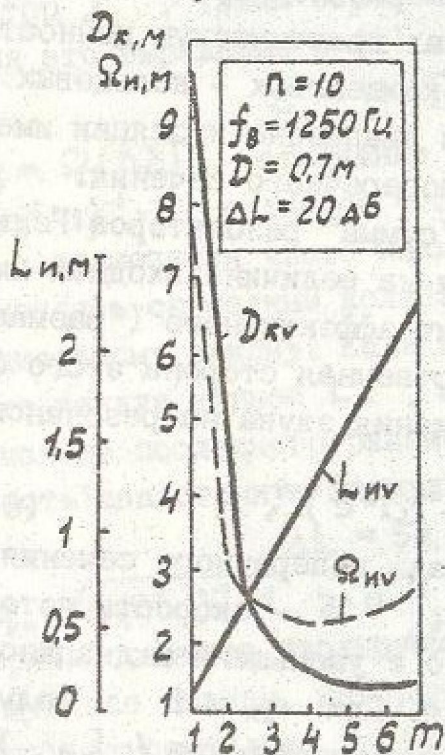


Рис. 7

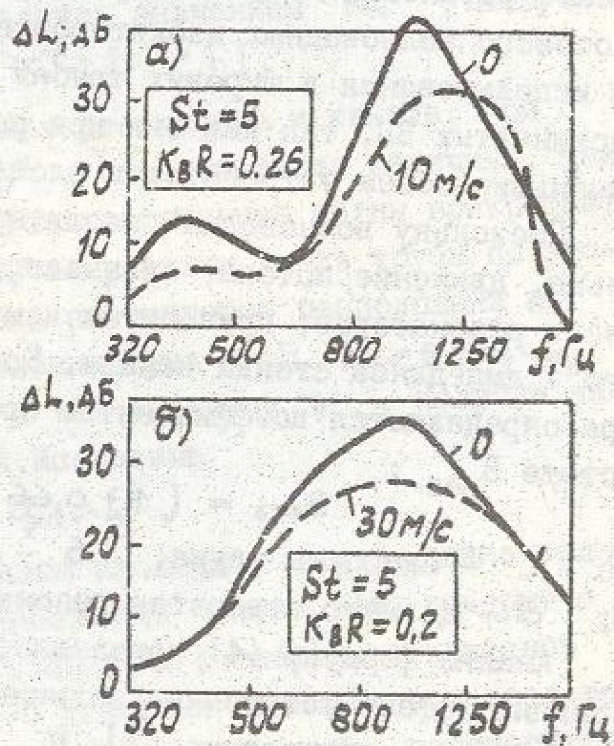


Рис. 8

Рис. 6. Схема ВИ с кольцевым поперечным сечением:

1 - резонатор; 2 - канал.

Рис. 7. Зависимость изменения основных геометрических параметров ВИ от количества поддиапазонов изоляции;

D_k, Ω_n, L_n - параметры до разбиения на поддиапазоны;

$D_{kv}, \Omega_{nv}, L_{nv}$ - после разбиения.

Рис. 8. Зависимость эффекта установки ВИ от скорости потока:

а) в круглых каналах; б) в щелевых каналах.

игрыш в объеме равен

$$\Delta Q = (2\sqrt{n^2-1})(1 + \sqrt{n^{(m-1)!}})(2n^2-1)^{-1}. \quad (7)$$

Число кольцевых или прямоугольных каналов m_k рассчитывается из условия равенства расходов воздуха, проходящего в воздуховоде и каналах ВИ. Например, для ВИ с кольцевыми резонаторами глубиной H ($2H = H_p$) и внутренним круглым резонатором диаметром D_p ($D_p = H_p$) число каналов $m_k = D[2\sqrt{h(h+H_p)}]^{-1}$. Внешний диаметр устройства - диаметр кожуха D_k определяется зависимостью $D_k = D\sqrt{2n^2-1} = Dn_{\max}$. Настройка резонаторов объема Q , т.е. подбор диаметра d и числа отверстий N , производится таким образом, что в рассчитанном ВИ параметр $\sqrt{NdQ^{-1}}$ обуславливает нижнюю частоту диапазона изоляции, а верхнюю - отношение диаметра устройства D_k к диаметру воздуховода D .

В пятой главе представлены результаты экспериментальной проверки зависимостей теоретического анализа волноводных изоляторов, полученные в лабораторных и производственных условиях.

Установлено, что, во-первых, значения волновых параметров, позволяющие рассчитать основные геометрические размеры - радиус R или ширину канала h ($h = 2R$), глубину H и длину резонаторов l_p с точностью, обеспечивающей относительную среднеквадратическую погрешность не более 10%, определяются из условия

$$K_b R \leq 0,3; \quad K_b l_p \leq 0,8; \quad K_b H \leq 1,5; \quad (8)$$

во-вторых, максимальный эффект изоляции получается не на резонансной частоте f_0 , а на частоте $f_A \approx 1,3f_0$.

Падение эффективности по длине глушителя (от резонатора к резонатору) отмечается при значительном (более, чем в 2 раза) нарушении условия узости ($K_b R < 0,3$) и только в диапазоне частот близко примыкающих к резонансной частоте ($f = 0,9 \dots 1,1f_0$). Сдвиг отверстий в каждом последующем резонаторе (или группе резонаторов) по отношению к предыдущему резонатору (или группе резонаторов) приводит к повышению эффекта установки в высокочастотной области диапазона изоляции (А.с. II88340). Используя этот прием, можно подстраивать частотную характеристику изолятора.

Исследования низко-, средне- и высокочастотных ВИ показали, что воздействие потока на эффективность конструкции сильно зависит от частоты. Это явление находится в хорошем соответствии с результатами теоретического анализа, где было показано, что основным параметром, характеризующим влияние потока на импеданс

отверстия, служит число Струхала (St). Однако, испытания не в одинаковых геометрических ($R = const$), а в одинаковых акустических ($\kappa R = const$) условиях позволили выявить необходимость учета также параметра κR . Объясняется это тем, что предопределенные теорией узкие круглые каналы подвержены влиянию потока, притом, чем меньше κR , тем больше это влияние. В то же время, использование щелевых каналов дает возможность, сохраняя условие узости (8), уменьшить падение эффекта установки (рис.8). Экспериментально подтвержден обусловленный теоретическим анализом (6) способ уменьшения влияния потока за счет увеличения диаметра отверстий резонатора. Увеличение это, однако, должно ограничиваться условием равенства радиуса отверстия расстоянию между ними $\ell_0 \gg r$.

Широкополосность изоляции шума ($n > 2$) реализовалась с помощью последовательного и параллельного соединения резонаторов. Было найдено, что при последовательном соединении суммарный эффект установки разночастотных элементов без потока не зависит от места их расположения друг относительно друга, но поток существенно нарушает "переместительный закон сложения" элементов, выявляя при этом нежелательные их сочетания.

Волноводный изолятор может быть рассчитан точно на необходимый эффект установки или с запасом — с целью получить эффект "не менее ΔL " в оптимальном диапазоне частот. Анализ экспериментальных данных показал, что при аэроакустических параметрах, присущих воздушным машинам пневмотранспортных систем, т.е. при уровнях звукового давления, равных 100...105 дБ, скорости потока 10...15 м/с и эффекте установки, не превышающем 30...35 дБ, собственный шум ВИ не изменяет расчетные характеристики.

Кольцевые волноводные изоляторы стали внедряться в производство с 1984 года. Первый опыт их промышленной эксплуатации на Одесском мельзаводе № 1 подтвердил принципиальную возможность использования резонансных глушителей в акустически широких трубах: были обеспечены заданные диапазоны изоляции и эффект установки, причем их величина не изменялась с течением времени.

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа использования известных методов и средств уменьшения аэродинамического шума воздушных машин пневмотранспортных установок установлено, что улучшение акустического режима рабочих мест и территории предприятия связано с использованием глушителей прямой схемы, в которой звукопо-

глошающий материал либо вынесен из середины запыленного потока, либо заменен резонаторами Гельмгольца.

2. Совершенствование глушителей с ЗПМ основывалось на использовании эффекта совместного действия расширительных камер и щелевых облицованных каналов. Для конструирования глушителей этого типа определены: толщина ЗПМ, ширина канала и камер; влияние покрытий ЗПМ (пыли, перфорированных экранов, кожуха) на эффект установки.

3. Теоретически обосновано использование волноводных изоляторов как глушителей без ЗПМ для установки в акустически широких трубах пневмотранспортных систем. Предложена новая схема волноводных изоляторов - с кольцевым поперечным сечением. Проанализировано влияние течения потока воздуха на работу волноводного изолятора и определены способы его уменьшения. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана и проверена на практике методика расчета кольцевых и пластинчатых волноводных изоляторов, дающая возможность конструировать их для любого диапазона частот (узкого или широкого) и труб любого диаметра.

4. Разработанные автором глушители в течение многолетней эксплуатации обеспечивают нормальные условия труда на комбинатах хлебопродуктов в Алма-Ате, Николаеве, Киеве, Одессе, Минске и других городах страны. По данным ЦНИИПромзернопроект внедрение этих конструкций вместо пластинчатых принесет отрасли 100000 рублей экономического эффекта.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Дзядзио А.М., Симонович М.Я., Богатырев Б.П. Шумоглушители на мельничных предприятиях //Мукомольно-элеватор.пром-сть - 1970.- №7, -С. 28-30.
2. Симонович М.Я., Богатырев Б.П., Печерский Ю.М. Уменьшение шума центробежных вентиляторов //Легкая пром-сть.- 1971.- № 3.- С.37-38.
3. Дзядзио А.М., Симонович М.Я., Богатырев Б.П. Уменьшение шума воздуходувных машин пневмотранспорта зерноперерабатывающих предприятий.- М.: ЦНИИТЭИ Минзага, 1973.- 8 с.-(обзор.информ. Сер. "Техника безопасности и производственная санитария").
4. Богатырев Б.П., Дзядзио А.М., Симонович М.Я. Борьба с шумом на зерноперерабатывающих предприятиях.-М.: Колос, 1973.- 152 с.
5. Дзядзио А.М., Симонович М.Я., Богатырев Б.П. Глушители шума центробежных вентиляторов высокого давления //Технология и организация производства.- 1976.- № 3.- С.54-55.

6. Волноводный изолятор для узких труб /Б.П.Богатырев, И.П.Жуков, М.А.Исакович и др.//Реф.докл. IV науч.-техн.конф. по азиатской акустике.- М., 1978. - С. 98-99.
7. Богатырев Б.П., Симонович М.Я. Влияние кожуха на акустическую эффективность глушителя //Борьба с вредным воздействием шума и вибрации.- Киев, 1979.- С. 46-48.
8. Сравнительные испытания глушителей шума /Б.П.Богатырев, С.И.Пронин, Г.С.Назаркин, М.Я.Симонович //Науч.-техн.реф.сб./ЦНИИТЭИ Минзага - Сер. "Элеватор. пром-сть". -1981.-Вып.3.-С.16-18.
9. Лагунов Л.Ф., Седых В.Н., Богатырев В.П. К вопросу о влиянии запыленности звукопоглощающего материала на эффективность глушителей шума //Безопасность труда на производстве. Сб.науч. работ ин-тов охраны труда ВЦСПС.- 1981.- С.95-97.
10. Дуганов Г.В., Седых В.Н., Богатырев В.П. Глушители шума вентиляторов пылеочистных систем.- Одесса: ЦНТИ. 1981.- 4 с (Информ. листок/ОЦНТИ. № 81-57).
11. К вопросу о влиянии запыленности воздуха на акустические характеристики активных глушителей /Г.В.Дуганов, В.Н.Седых, М.Я.Симонович, Б.П.Богатырев// Виброакустика автомобиля: Межвуз.сб. науч.тр.- Тольятти, 1982.- С.109-113.
12. Волноводный изолятор для узких труб /Б.П.Богатырев, И.П.Жуков, М.А.Исакович и др. //Виброакустика автомобиля: Межвуз.сб.науч. тр. - Тольятти, 1982.- С.103-104.
13. Дуганов Г.В., Богатырев В.П. Волноводные изоляторы-глушители шума //Мукомольно-элеватор. и комбикормовая пром-сть.- 1984.- № 10.- С.23-24.
14. А.с. 294994 СССР, МПК F 17d 1/10. Глушитель шума /А.М.Дзядзис, М.Я.Симонович, Г.Ф.Костюк, Б.П.Богатырев (СССР) - №1206298/24-6. Заявл. 26.12.1967. Опубл. 04.11.1971. Бюл. № 7.
15. А.С. 1188340 СССР, МПК F 01 № 1/02. Глушитель шума /Б.П.Богатырев (СССР) - № 3569990/25-6. Заявл. 30.03.83. Опубл. 30.10.85. Бюл. № 40.
16. А.с. 1280136 СССР, F 01M 1/02. Глушитель шума/Б.П.Богатырев (СССР) - № 3934176/25-06. Заявл. 22.07.85. Опубл. 30.12.86. Бюл. № 48.

с. в. 16 296 V016296

for

