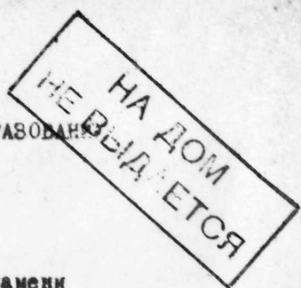


М.338310

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР



Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

на правах рукописи

СМИРНОВ Сергей Георгиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТАЦИОННЫХ
ГАЗОДУВОВ РУТС

(05.04.06 – Вакуумная и компрессорная техника)

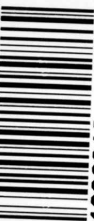
Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1979г

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1338310

Смирнов С.Г. Исследование

на правах рукописи

СМИРНОВ Сергей Георгиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТАЦИОННЫХ
ГАЗОДУВК РУТС

(05.04.06 – Вакуумная и компрессорная техника)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1979г

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и
ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом
училище имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент ТЕРЕХИН А.С.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Луканин В.Н. ;
кандидат технических наук,
доцент Фролов Ю.Д.

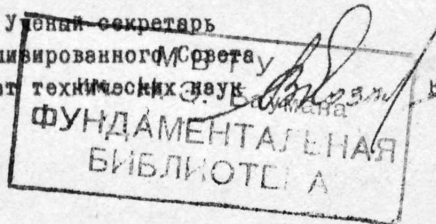
Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский
институт компрессорного машиностроения
(ВНИИкомпрессормаш)

Защита состоится " 18 " июня 1979г. 16 час
на заседании специализированного Совета К.053.15.07
МВТУ имени Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва Б-5, Лефортовская набережная, д.1, корпус
"Энергомашиностроение".

Ваши отзывы в 2-х экз., заверенные печатью, просьба
высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища
Автореферат разослан " ____ " _____ 1979г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат технических наук *В.Н.Новиков* В.Н.Новиков



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь п р о б л е м ы. Проблема борьбы с шумом, защиты человека от него за последние десятилетия стала одной из актуальнейших социальных и гигиенических проблем. Развитие техники, энерговооруженности приводит к непрерывному росту шума. Его можно рассматривать теперь, как один из факторов загрязнения окружающей среды.

Шум на производстве повышает нервное напряжение, снижает производительность труда, способствует развитию заболеваний. В нашей стране борьбе с производственным шумом придается особое важное значение в системе мер, направленных на оздоровление условий труда и снижение производственного травматизма. Так, в "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы", утвержденных на XXV съезде КПСС, предусмотрено "разрабатывать новые методы и средства борьбы с производственными, транспортными и иными шумами".

Одним из направлений решения этой задачи является разработка обоснованных методов борьбы с шумом компрессорных машин, которые являются мощными источниками шума на производстве.

Настоящая работа посвящена исследованию ротационных газодувок Рутс - наиболее шумных среди компрессорных машин, которые находят применение в различных отраслях народного хозяйства. Конструктивная простота этих машин, быстроходность, компактность, уравновешенность, удобство соединения с электродвигателем, отсутствие трения между роторами и корпусом и, как следствие этого, надежность и долговечность дают машинам Рутс преимущество перед другими конструкциями при средних производительностях и малых перепадах давления (до $0,8 \cdot 10^5$ Па). Однако, один существенный недостаток - повышенный уровень шума - тормозит их более широкое применение. При работе газодувок Рутс шум значительно превышает санитарные нормы, в результате чего создаются весьма неблагоприятные условия труда для обслуживающего персонала, а также для жителей окружающей жилой территории.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности проблемы снижения шума ротационных газодувок Рутс.

Цель и основные задачи работы.

Целью настоящего исследования является разработка технологичных и конструктивно простых устройств, обеспечивающих снижение шума ротационных газодувок типа Рутс до допустимых величин, а также создание инженерных методов расчета шумовых характеристик названных машин, позволяющих оценить их шум ещё на стадии проектирования.

Достижение поставленной цели в данной работе осуществляется решением следующих задач:

1. Исследование шумового режима в производственных помещениях, на участках и отдельных рабочих местах при работе газодувок Рутс с определением величины необходимого снижения шума.

2. Разработка методики акустических исследований газодувок Рутс и создание испытательного стенда для определения шумовых и эксплуатационных характеристик.

3. Качественное исследование физической картины шумообразования, включающее в себя выяснение причин возникновения отдельных составляющих суммарного шума газодувок.

4. Исследование количественных зависимостей влияния режима работы газодувок (давление нагнетания, частота вращения роторов) на процессы генерации шума.

5. Создание методики расчета акустического излучения газодувок в зависимости от их геометрических размеров и режима работы.

6. Исследование и практическая разработка оптимальных конструкций глушителей шума всасывания и гасителей пульсаций давления на нагнетании газодувок, исходя из условий наибольшего эффекта заглушения, себестоимости конструкции и благоприятного их влияния на рабочий процесс машины.

Методы исследования. При выполнении работы были использованы как экспериментальные, так и теоретические методы исследований. Экспериментальные исследования проводились в натурных и лабораторных условиях с привлечением метода поэлементного исследования отдельных источников шума газодувок, метода свободного и отраженного звуковых полей, метода моделирования при исследовании эффективности глушителей на ис-

куоственной шуме. При исследованиях использовалась современная измерительная аппаратура отечественного и зарубежного производства. Объектами исследований являлись стационарные газодувки Рутс 3-х типоразмеров, выпускаемых компрессорным заводом П/О "Мелитопольхолодмаш". Теоретические исследования проводились с привлечением методов теории подобия и моделирования. Разработка реактивных глушителей шума велась на основе методов плоских волн и граничной частоты.

На у н н а я н о в и з н а р а б о т ы. Разработана теоретически и подтверждена экспериментально методика аналитического расчета основной шумовой характеристики газодувок Рутс - спектра уровней звуковой мощности процесса всасывания; получены выражения для определения оптимальных размеров всасывающей системы газодувок и режимов их работы. Разработана экспериментальная методика определения типа аэродинамического излучения шума, предложен экспресс-метод определения шумовой характеристики газодувок, разработаны новые конструкции реактивных глушителей.

П р а к т и ч е с к о е з н а ч е н и е и в н е д р е н и е. В результате натурных исследований и стендовых испытаний выявлены основные источники шума газодувки. Разработанный экспресс-метод снятия шумовых характеристик позволяет проводить измерения в условиях производства с высокой степенью точности. Разработаны новые конструкции реактивных глушителей и гасителей пульсации давления, обеспечивающие снижение шума газодувок до предельно допустимых уровней. Предлагаемые меры снижения шума позволяют существенно улучшить условия труда работников, они просты по конструкции, технологичны, дешевы и не влияют на эксплуатационные показатели газодувок. Предложены инженерные методы расчета ожидаемого шума всасывания газодувок Рутс в зависимости от перепада давления, частоты вращения роторов и их геометрических размеров.

Предлагаемые глушители шума и гасители пульсаций давления для газодувок Рутс внедрены на установках пневмотранспорта и системах откачки инертных газов.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные положения дис-

сертации докладывались и получили одобрение на У Всесоюзной научно-технической конференции по компрессоростроению "Повышение эффективности и совершенствование компрессорных машин и установок" (Москва 1978г.) и на Московском общегородском научно-техническом семинаре "Защита окружающей среды" (1977г.). Результаты исследований нашли отражение в учебном процессе преподавания курса охраны труда в МВТУ имени Н.Э.Баумана.

П у б л и к а ц и и. По материалам диссертации опубликовано 3 печатные работы, получено авторское свидетельство и два положительных решения государственной патентной экспертизы.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка литературы (129 наименований) общим объемом 237 страницы, из них на 73 страницах 90 рисунков и на 10 страницах 13 таблиц. Учитываемый материал текста занимает 136 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и обоснована актуальность темы, дана краткая характеристика исследуемых газодувок и указана область их применения. Показано, что вопрос снижения шума стационарных газодувок Рутс изучен недостаточно. Имеется лишь несколько работ обзорного и рекламного характера, а также работ посвященных отдельным вопросам исследования шума нагнетателей Рутс двигателей внутреннего сгорания (Ханин Н.С., Малашкин О.М., Скобцов Е.А., Прид Т., Отани Ивао). Во введении освещены основные направления борьбы с шумом ротационных машин типа Рутс и на основе проведенного обзора сделаны выводы о наиболее оптимальных путях решения указанной проблемы, а также поставлены основные задачи исследований.

П е р в а я г л а в а посвящена разработке методики экспериментальных исследований газодувок Рутс с целью комплексного изучения их эксплуатационных и акустических характеристик.

К проблеме экспериментального исследования шума машин, в частности газодувок, существует два основных подхода. Первый

заключается в определении шумовых характеристик газодувок в соответствии с ГОСТ 8.055-73, с целью использования полученных результатов при акустических расчетах. Второй подход предусматривает всестороннее исследование машины для выяснения причин генерации шума и разработки эффективных мер по его снижению. При исследованиях были использованы оба подхода.

В работе показано, что наиболее рациональным методом исследования шумовых характеристик газодувок является метод измерений в отраженном поле (газодувки Рутс не имеют резко выраженной направленности излучения), который несмотря на погрешности измерения на низких частотах, относительно малотрудоемок и может быть реализован с минимальными затратами на действующих предприятиях.

Для всесторонних исследований газодувок был спроектирован исследовательский лабораторный стенд, отличительной особенностью которого являлась его универсальность. На стенде может быть осуществлено:

- определение шумовых характеристик газодувок в соответствии с Государственными стандартами;
- исследование взаимосвязи акустических характеристик машин с режимами их работы;
- исследование вибраций корпуса газодувки, привода, трубопроводов;
- разделение источников шума и определение вклада каждого из них в суммарный шум газодувки;
- оценка эффективности и настройка глушителей аэродинамического шума;
- определение влияния установки глушителей на рабочий процесс машины;
- исследование пульсаций давления в цилиндре машины и нагнетательном трубопроводе.

Стенд был размещен в помещении лаборатории объемом 110 м³ с акустическими свойствами, близкими к свойствам реверберационной камеры, благодаря проведенным в нем работам по изменению качества внутренней отделки ограждающих поверхностей. Пол в помещении покрыт метлахской плиткой на цементном растворе, стены до потолка - кафельной плиткой, потолок в три слоя ок-

рашен масляной краской. Для повышения диффузности звукового поля на стенах смонтированы отражатели в виде металлических сферических сегментов.

Отраженное поле в измерительном помещении, удовлетворявшее требованиям ГОСТ 8.055-73 по однородности и изотропности, оценивалось с учетом действия прямого звука вблизи источника и наличия интерференции волн вблизи ограждающих поверхностей и углов помещения. Резонансная избирательность помещения стенда после реконструкции практически исчезла, начиная с частоты 140 Гц. Неравномерность звукового поля составила 1,6 дБ в октавной полосе 125 Гц и менее 1 дБ в октавных полосах, начиная с частоты 250 Гц, средний коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей во всем диапазоне измеряемых частот не превысил 0,07. При исследовании основных источников шума газодувки уровень звукового давления внутренних и внешних помех располагался ниже уровня полезного сигнала более, чем на 10 дБ.

Совокупность полученных данных о качестве звукового поля с учетом точности использованной акустической аппаратуры позволила отнести измерения на стенде к I классу точности, начиная с октавной полосы 1000 Гц, ко второму классу — в октавных полосах 250, 500 Гц и к третьему классу — в полосе 125 Гц.

Проведенные исследования по созданию акустического стенда позволили установить, что при небольшом объеме отделочных работ обычное производственное помещение можно сделать пригодным для акустических измерений компрессорных машин, что дает возможность повысить эффективность работ по созданию маломощных конструкций.

Во второй главе изложены основные результаты экспериментальных исследований шума газодувок.

Проведенное обследование большого числа реальных установок и шумового режима на рабочих местах позволило установить, что шум газодувок Рутс превышает санитарные нормы на рабочих местах и в некоторых случаях в жилой зоне, прилегающей к предприятиям, на 15-25 дБ. Обследование также показало, что несмотря на большое разнообразие схем включения газодувок в агрегаты, чаще всасывающая система имеет непосредственную связь с атмосферой, тогда как нагнетательная линия присоеди-

на трубопроводами к технологическому оборудованию, оказывающему заглушающее действие. В связи с этим шум всасывания чаще всего является определяющим в общем шуме газодувки.

На спроектированном стенде с помощью высокоэффективных экранных глушителей было проведено разделение отдельных источников шума, определена доля вклада каждого в суммарный шум газодувки и исследована их частотная характеристика. В работе показано, что шум аэродинамических процессов всасывания и нагнетания играет определяющую роль, спектры которых имеют ярко выраженные дискретные составляющие с частотой, кратной частоте вращения роторов.

Измерение основных шумовых характеристик газодувок показало, что величина показателя направленности для октавных полос, в которых излучается основная доля звуковой энергии (250, 500 Гц), не превышает 2,4 дБ, следовательно, исчерпывающей шумовой характеристикой газодувок является спектр уровней звуковой мощности.

Исследования, проведенные в обычных производственных помещениях объемом $>250 \text{ м}^3$ показали, что вблизи машины в пределах 0,6 м, 0,4 м в звуковом поле преобладает энергия прямых волн, и они пригодны для измерений по методу свободного звукового поля. Радиус измерительной поверхности при определении спектра уровней звуковой мощности выбирался с таким расчетом, чтобы ее площадь составляла 1 м^2 . При этом для газодувок Руте измеренные уровни звукового давления по полусфере с радиусом 0,4 м в горизонтальной плоскости под прямым углом к оси машины оказались численно равны уровням звуковой мощности во всем измеряемом диапазоне частот. Подобный метод измерения основной шумовой характеристики без дополнительных пересчетов можно назвать экспресс-методом. В работе показано, что данный метод измерения шумовой характеристики газодувок Руте обладает высокой степенью точности и позволяет существенно снизить трудоемкость измерений в условиях производства.

Изменение режима работы газодувки приводит к изменению её акустических параметров. Так, излучаемая звуковая мощность интенсивно возрастает при повышении частоты вращения роторов, при этом ощутимое влияние на излучаемый шум оказывает акустическое сопротивление всасывающего тракта. Оказалось возможным опреде-

лить частоту вращения роторов и длину всасывающего тракта, при которых наблюдается ослабление излучения i -й гармоники спектра.

Увеличение давления нагнетания приводит к незначительному возрастанию шума всасывания, причем заметно повышаются лишь уровни высокочастотных составляющих спектра.

Проведенный анализ особенностей излучения шума всасывания газодувок Рутс в октавных полосах частот позволил установить, что генерация шума обусловлена различными причинами и имеет сложный характер. До 3500 об/мин преобладает излучение монопольного типа, определяемое пульсациями среды во всасывающем канале (пропорциональность звуковой мощности частоте вращения роторов соответствует 4-й степени). При частоте вращения роторов свыше 3500 об/мин доминирующим становится излучение дипольного типа, вызываемое вихреобразованием в зазорах и пограничном слое у роторов (6-я степень). Следовательно, для существующих режимов работы стационарных газодувок Рутс (до 3000 об/мин) преобладает излучение, имеющее пульсационное происхождение.

Исследования генерации шума на стороне нагнетания позволили установить, что основными источниками структурного шума являются вибрирующие трубопроводы и технологическое оборудование, для снижения которого необходимо уменьшать пульсаций давления газа с помощью акустических фильтров.

В третьей главе проведено исследование процесса генерации шума всасывания газодувок Рутс и изложена методика расчета шума газодувки с учетом передаточной функции всасывающего тракта.

Периодические возмущения среды в слышимом диапазоне частот, возникающие в процессе рабочего цикла газодувки, претерпевают значительные изменения при распространении их по всасывающему тракту и при последующем излучении воздухозаборным отверстием. Создание математической модели генерации шума на всасывании распадается на три основные задачи теоретического исследования:

1) определение величины и характера возмущающего импульса, т.е. функции изменения объемной скорости пульсирующего потока;

для аналитического нахождения взаимосвязи акустических характеристик процесса всасывания с геометрическими размерами газодувки и частотой вращения роторов;

2) создание аналитической модели акустических свойств всасывающего тракта газодувки, который согласно экспериментальным исследованиям, оказывает существенное влияние на интенсивность отдельных гармонических составляющих излучаемого шума;

3) исследование излучательной способности открытого конца всасывающего тракта, определение и учет его акустического сопротивления.

Рассматривая случай плоского волнового движения во всасывающем патрубке с фланцем, представляется возможным моделировать его эквивалентной поршневой диафрагмой в экране, которая совершает колебательное движение со скоростью пульсаций потока.

В целях упрощения математического представления основных зависимостей, в работе доказана возможность замены поршневой диафрагмы сферическим излучателем, учитывая ненаправленность излучения, размеры излучателя и частотный диапазон шума всасывания.

Каждая составляющая спектра звуковой мощности всасывания P_i определяется по формуле

$$P_i = \frac{\rho \cdot \omega_i^2 \cdot Q_{mi}^2}{8\pi \cdot c} \quad , \text{ Вт.} \quad (I)$$

где ω_i — круговая частота i -й гармоники; ρ — плотность воздуха; Q_{mi} — амплитудное значение i -й гармоники спектра объемной скорости воздуха на всасывании; c — скорость звука.

Как видно из выражения (I), для определения спектра звуковой мощности необходимо знать спектр амплитуд объемной скорости воздуха через всасывающий патрубок. Используя законы относительного движения сопряженных профилей с постоянным передаточным отношением, которым подчиняется движение роторов эвольвентного профиля газодувок Руте, было получено выражение для объемной скорости Q процесса всасывания по углу поворота роторов α (изменение давления во всасывающем патрубке, как показали эксперименты, пренебрежимо мало)

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_{\min} - \Delta \left(\frac{8}{\pi} \alpha - \frac{16}{\pi^2} \alpha^2 \right), \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4} \\ Q &= Q_{\min} - \Delta \left(\frac{8}{\pi} \alpha + \frac{16}{\pi^2} \alpha^2 \right), \quad -\frac{\pi}{4} \leq \alpha \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{м}^3/\text{мин}, \quad (2)$$

где $\Delta = Q_{\max} - Q_{\min} = \omega_p \cdot l_p \cdot S_{\max}^2$ — разность максимального ($Q_{\max}$) и минимального ($Q_{\min}$) значений объемных скоростей; ω_p — частота вращения роторов; l_p — длина роторов;

$S_{\max}$ — максимальное значение вектора линии зацепления роторов, являющегося функцией наружного радиуса роторов и угла поворота роторов α . Анализ выражения (2) позволяет сделать следующие выводы: за один оборот роторов двухлопастной газодувки происходит четыре импульса пульсаций; минимальное значение объемной скорости всасывания имеет место при положении роторов встык ($\alpha = 0$), максимальное при $\alpha = \pm \frac{\pi}{4}$.

Путем гармонического анализа оказалось возможным представить функцию объемной скорости всасывания как сумму средней величины объемной скорости $Q_{\text{ср}}$ и ряда периодических составляющих $Q_{\text{ги}}$. Амплитуда объемной скорости i -й гармоники окончательно приняла вид:

$$Q_{\text{ги}} = \frac{4 \cdot \omega_p \cdot l_p \cdot S_{\max}^2}{\pi^2 \cdot i^2} \quad (3)$$

Подставляя полученное выражение (3) в выражение (1), после преобразований получим

$$P_i = \frac{32 \cdot \rho}{15^4 \cdot \pi \cdot c} \cdot \frac{l_p^2 \cdot S_{\max}^4 \cdot \pi^4}{i^2} \cdot \text{Вт}, \quad (4)$$

где — частота вращения роторов, об/мин. Переходя к уровням звуковой мощности в дБ, будем иметь для нормальных условий воздушной среды выражение для гармонических составляющих спектра

$$L_{p_i} = 58 + 20 \lg l_p + 40 \lg S_{\max} + 40 \lg n - 20 \lg i \quad (5)$$

Реальный спектр объемной скорости претерпевает существенную деформацию в процессе его передачи всасывающим трактом газодувки. Принимая во внимание действующие во всасывающем тракте амплитуды волн давления, их частотный диапазон и соизмеримость длин волн с геометрическими размерами системы, волновое движение в элементах тракта описывалось одномерными линейными уравнениями звукового поля, процессы в котором обусловлены только сжимаемостью и инерционными свойствами воздуха. Характер распространения звука во всасывающем тракте рассмотрен на основании законов электроакустической аналогии.

Построенная электрическая схема эквивалентная всасывающему тракту газодувки Рутс позволила получить его передаточную функцию. Было определено снижение уровня звуковой мощности гармонических составляющих спектра шума всасывания ΔL_{P1} , которое обуславливается акустическим сопротивлением всасывающего тракта газодувки Рутс

$$\Delta L_{P1} = 10 \lg [(1 - \omega_i^2 L_1 C_v)^2 + \omega_i^2 R_n^2 C_v^2] \quad , \text{ дБ. } (6)$$

где L_1 — суммарная акустическая масса всасывающего тракта;

C_v — акустическая емкость полости тракта; R_n — сопротивление излучения; ω_i — круговая частота гармонических составляющих спектра. Для определения истинных значений уровня звуковой мощности гармонических составляющих спектра необходимо ввести поправки, вычисленные по формуле (6), к величинам, определенным из выражения (5). Экспериментальная проверка результатов аналитического определения спектра уровней звуковой мощности шума всасывания показало высокую точность предлагаемой методики расчета (Рис.1).

Ч е т в е р т а я г л а в а посвящена исследованию по созданию средств шумоглушения ротационных газодувок Рутс.

Результаты экспериментальных исследований спектров основных источников шума газодувок Рутс и анализ литературных данных показали, что наиболее рациональным и эффективным средством снижения их шума следует считать использование реактивных глушителей шума всасывания и гасителей пульсаций давления на линии нагнетания.

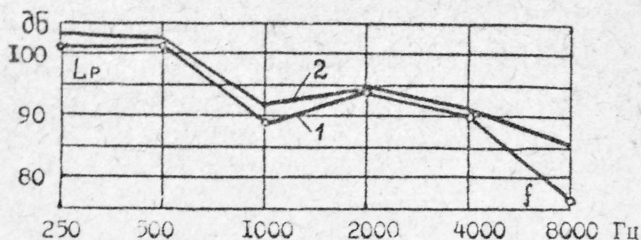


Рис.1. Спектры уровней звуковой мощности газодувки
1- экспериментальный; 2- рассчитанный

Для исследования реактивных глушителей была создана экспериментальная установка и методика модельных испытаний на искусственном шуме, которая позволила определить эффективность глушителей с учетом акустического сопротивления присоединенного к ним трубопровода. Для поддержания постоянного уровня звукового давления искусственного сигнала в установке между динамиком и исследуемым глушителем устанавливался диссипативный глушитель-вставка. В результате теоретических исследований получено выражение для определения необходимой акустической эффективности этой вставки.

Были проведены исследования по определению влияния различных конструктивных параметров на величину заглушения четвертьволновыми, камерными и кольцевыми резонаторными глушителями. Во всасывающем тракте газодувки с установленными глушителями был исследован характер стоячих волн. Проведенные исследования показали, что патрубок, соответствующей длины, расположенный после глушителя (считая по направлению распространения звуковых волн), играет существенную роль в повышении его акустической эффективности (10-15 дБ), тогда как патрубок, разделяющий газодувку и глушитель, практически не влияет на уровень звуковых излучений.

Исследованные конструкции глушителей обладали избирательным заглушением, т.е. имели высокую эффективность только в области резонансных частот.

С целью создания компактных глушителей, эффективно снижающих уровни дискретных составляющих в широком диапазоне частот были разработаны и испытаны новые конструкции. Глушители представляли собой набор последовательно расположенных камер различной

длины с заглушенными торцами и окнами в середине длины каждой камеры (рис.2а). При распространении звуковых волн от источника шума в камерах глушителя образовывались стоячие волны. Количество и длина камер выбирались с таким расчетом, чтобы каждая гармоническая составляющая шума газодувки в соответствующей камере имела узел звукового давления в месте расположения окон и не распространялась далее (рис.2б).

Спроектированные реактивные глушители шума и гаситель пульсаций давления прошли заводские испытания и приняты в эксплуатацию. Испытания показали высокую акустическую эффективность разработанных конструкций (22-26дБ), надежность в работе и малое гидравлическое сопротивление, не влияющее на производительность газодувок.

В работе приводится обоснование социально-экономической эффективности предложенных мер борьбы с шумом газодувок.

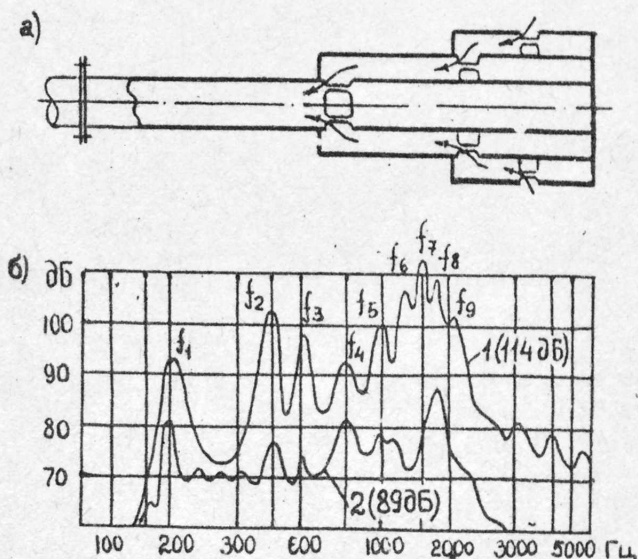


Рис.2. Трехкамерный глушитель

а- конструктивная схема; б- спектры шума газодувки
1- без глушителя; 2- с разработанным глушителем

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведенные натурные исследования шума на рабочих местах в производственных помещениях показали, что газодувки Руте являются интенсивными источниками шума, существенно превышающего санитарные нормы (на $10+20$ дБ) в широком диапазоне частот, причем основными причинами шумообразования являются аэродинамические процессы всасывания и нагнетания.

2. Созданный универсальный стенд для комплексных акустических и эксплуатационных исследований газодувок Руте дал возможность определить вклад отдельных источников в суммарный шум установки, исследовать шумовые характеристики в зависимости от режима работы машины, измерить вибрации трубопроводов и пульсации давления газа на нагнетании, провести настройку глушителей, а также ряд других испытаний. Стенд подобной конструкции может быть создан без существенных затрат на компрессорных заводах для акустических измерений в соответствии со стандартом по II-му классу точности.

3. Анализ существующих схем включения газодувок Руте в агрегаты и стендовые испытания показали, что шум всасывания газодувок в процессе эксплуатации чаще является наиболее мощным источником шума. Спектр шума всасывания имеет дискретный характер с преобладанием низкочастотных составляющих, интенсивность которых зависит от режима работы газодувки и, главным образом, от частоты вращения роторов. С увеличением частоты вращения роторов вдвое суммарный шум в среднем возрастает на 15 дБ.

4. Разработанный экспресс-метод определения основной шумовой характеристики газодувок Руте позволил с высокой степенью точности при малых затратах времени проводить измерения в производственных условиях.

5. Предложена методика экспериментального исследования процессов генерации шума, позволившая определить тип аэродинамического излучения на различных частотах звука в зависимости от режимов работы газодувки и установить, что для стационарных газодувок Руте в шуме всасывания при частотах вращения роторов до 3000 об/мин практически во всем диапазоне звуковых частот

преобладает излучение монопольного типа.

6. Доказана возможность представления всасывающего отверстия газодувки Рутс эквивалентным сферическим излучателем, определена функция измерения объемной скорости пульсирующего потока для нахождения взаимосвязи акустических характеристик газодувок с геометрическими размерами и частотой вращения роторов эвольвентного профиля.

7. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что конфигурация и размеры всасывающего тракта газодувок оказывают существенное влияние на интенсивность отдельных гармонических составляющих излучаемого шума и их необходимо учитывать при расчете шумовой характеристики.

8. На основании проведенных исследований процесса генерации шума всасывания газодувок Рутс разработана и подтверждена экспериментально инженерная методика расчета основной шумовой характеристики — спектра уровней звуковой мощности, с учетом передаточной функции всасывающего тракта, что позволяет количественно оценить шум всасывания ещё на стадии проектирования и учесть влияние отдельных конструктивных параметров на шум машины.

9. Проведенный анализ существующих средств шумоглушения показал, что наиболее рациональным, учитывая низкочастотный дискретный характер шума газодувок, является применение реактивных глушителей аэродинамического шума и гасителей пульсаций давления газа в нагнетательном трубопроводе.

10. Разработанная методика модельного исследования реактивных глушителей на искусственном шуме позволила получить экспериментальные зависимости влияния различных конструктивных параметров глушителей на их акустическую эффективность.

11. На основе проведенных исследований разработаны новые глушители шума и гаситель пульсаций давления для газодувок Рутс, обладающие конструктивной простотой и высокой эффективностью заглушения в широком диапазоне частот. На конструкции разработанных шумоглушающих устройств получены положительные решения Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР по заявкам №1806440/06, №2609462/06 и авторское свидетельство №663539

12. Внедрение разработанных шумоглушащих конструкций на производстве позволило снизить шум газодувок до санитарных норм и уменьшить затраты связанные с установкой и эксплуатацией одной газодувки на 840+1090 рублей.

Содержание диссертации отражено в следующих работах автора:

1. Шум ротационных газодувок Рутс. - труды МВТУ, 1978, вып. 273, с. 34-41
2. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 563539, реактивный гаситель пульсаций давления, бюллетень №24, 1977.
3. Определение эффективности глушителей аэродинамического шума, - МВТУ, Москва. 1978, с. 8.
4. Расчет шума ротационных газодувок Рутс. - Химическое и нефтяное машиностроение, 1979, № I, с. 9-II.

Соискатель



С.Смирнов

Зак.668. объем 1п.л. Тираж 100экз. Л-77134
Ротапринт МВТУ Москва Б-5, 2-я Бауманская, д.5.
Подп. к печ. 11.05.79