

УДК 621.311

А.М. Дроконов, А.Е. Дроконов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ШУМА ТУРБОМАШИН

Изложены методы конструктивного совершенствования систем шумоглушения энергетических установок.

Ключевые слова: турбомашин, шум, глушители шума, воздухозаборное устройство, выхлопной тракт.

Мощность и производительность турбомашин увеличивается в основном посредством интенсификации энергетических процессов, повышения параметров циклов и динамических нагрузок, вследствие чего значительно возрастает излучаемое энергоблоками звуковое давление, снижается работоспособность и безопасность труда обслуживающего персонала.

При этом шум, излучаемый каналами всасывания и выхлопа турбоустановок (включая технологические сбросы рабочего тела высоких параметров в атмосферу), является главным источником акустического воздействия на прилегающие селитебные зоны. Эти тракты представляют собой волноводы, свободно транспортирующие из зоны генерации в окружающую среду звуковую энергию, интенсивность которой может достигать 50 % от общей акустической мощности агрегатов [1; 2].

Изложенное свидетельствует об актуальности проблемы, составляющей предмет исследования.

Уровень интенсивного шума воздухозаборных устройств (ВЗУ) газотурбинных установок может быть снижен посредством эффективной абсорбции звука поверхностями каналов. Для этого в настоящее время в трактах ВЗУ устанавливают глушители активного типа – преимущественно пластинчатой конструкции.

Пластинчатые глушители образованы плоскими панелями, наполненными звукопоглощающим материалом, вследствие чего в тракте ВЗУ формируются воздушные каналы постоянной толщины.

Однако при использовании конвертируемых газотурбинных двигателей авиационного и судового типов, широко внедряемых, например, в энергетической и газовой отраслях, со свойственным этим установкам мощным высокочастотным шумом звуковое поле в каналах пластинчатых глушителей такой конструкции становится неравномерным, что снижает их эффективность и, как следствие, приводит к увеличению габаритов. Это свидетельствует о необходимости модернизации блоков шумоглушения современных ГТУ.

С целью повышения эффективности ВЗУ целесообразно формирование в их тракте звукопоглощающих каналов, обеспечивающих гашение как высокочастотной, так и средне- и низкочастотной составляющих акустической мощности, излучаемой компрессором.

Решение этой проблемы возможно посредством создания глушителя двухступенчатого типа, первая секция которого будет способствовать снижению высокочастотного, а вторая – средне- и низкочастотного шума (рис. 1).

Конструктивно такой глушитель выполнен следующим образом. Стенки корпуса со стороны потока и поверхность звукопоглощающих панелей выполнены перфорированными (степень перфорации 0,2...0,3) из коррозионно-стойкого материала. Их внутренняя полость заполнена высокоэффективным звукопоглощающим материалом (ЗПМ) типа Лайт-Баттс или БВТМ-ТМ, обернутым стеклотканью.

Для используемых на компрессорных станциях магистральных газопроводов ГТУ можно рекомендовать следующую геометрию ступеней шумоглушения: первая секция: ширина панелей – 40...50 мм, шаг – 100 мм, длина (по потоку газа) – 400...450 мм; вторая секция: ширина – 200...250 мм, шаг – 450...500 мм, длина – 1500...1700 мм.

С целью снижения гидравлического сопротивления тракта и интенсивности генерируемого фронта акустических волн торцевые поверхности звукопоглощающих панелей обеих секций закрыты специальными обтекателями и выполнены с некоторым углом γ относительно вертикали (рис. 1).

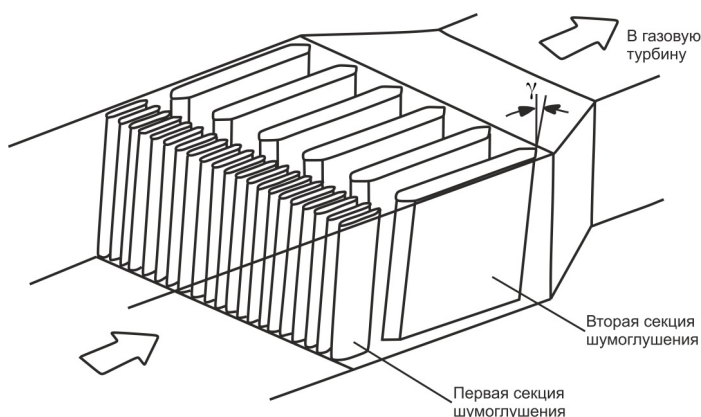


Рис. 1. Модернизированный пластинчатый глушитель ВЗУ ГТУ

Внутри корпуса размещены звукопоглощающие секции со сферической формой каналов и перфорированными стенками (рис. 2а, п.3; рис. 2б). Эти секции в шахматном порядке также заполнены ЗПМ, обернутым в стеклоткань (рис. 2б).

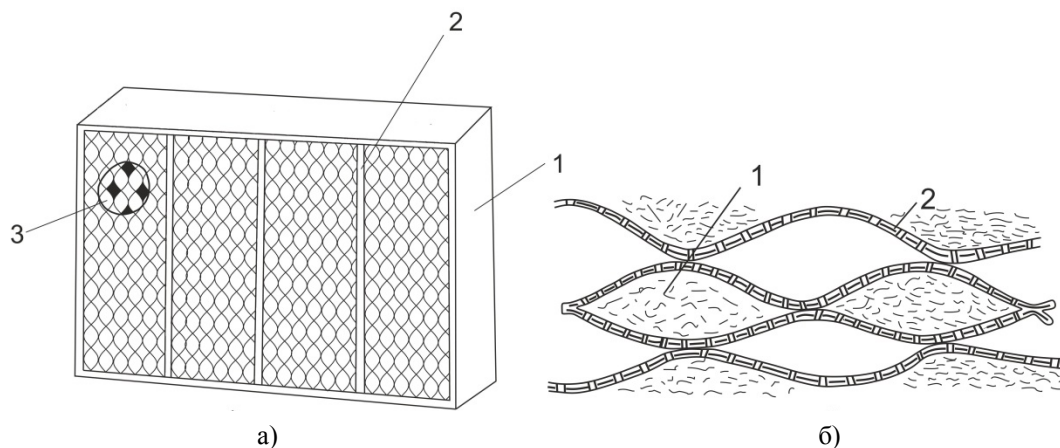


Рис. 2. Сотовый шумоглушитель ВЗУ ГТУ:
а – общий вид (1 – корпус; 2 – перегородки; 3 – звукопоглощающие каналы);
б – звукопоглощающие секции (1 – ЗПМ; 2 – перфорированный лист)

Для снижения гидравлического сопротивления газового тракта торцевые поверхности каналов с ЗПМ закрыты специальными обтекателями, воздушные модули выполнены сферической формы.

Степень перфорации поверхности стенок каналов глушителей такого типоразмера следует принимать от 0,25 до 0,3, эквивалентный диаметр модулей при скорости воздуха 20...25 м/с и его расходе на турбоустановку 30...50 кг/с – $d_0 = 55...60$ мм.

Использование шумоглушителей такого типа позволит существенно снизить уровень излучаемой ВЗУ ГТУ акустической мощности за счет повышения эффективности диссипации звуковой энергии, особенно в области высоких частот.

Шум всасывания собственно компрессора включает сиренную и вихревую составляющие. В осевом компрессоре сиренный шум обусловлен прохождением лопаток через неравномерное поле скоростей в межвенцевом зазоре, а образование вихревого звукового давления вызвано периодическим срывом вихрей с обтекаемых лопаток и элементов корпуса и возникающими при этом флуктуациями в потоке.

Анализ спектров излучаемой компрессором акустической мощности свидетельствует, что 90 % звуковой энергии генерируют его первые три ступени.

С целью гашения шума этого отсека следует входной направляющий аппарат компрессора оснастить специальными акустическими резонаторами (демпферными камерами), отделенными от газового потока перфорированной стенкой, обеспечивающей прозрачность для звуковых волн, что одновременно уменьшит нестационарность течений в каналах этой решетки и, как следствие, снизит потери энергии в проточной части и вибрацию энергоустановки.

Внутренние полости таких резонаторов, размещенных на обводах направляющего аппарата и поверхности сопловых лопаток (рис. 3), следует оснастить мелкоячеистой проволокой различных форм плетения или сотовой структурой, настроенной на определенный частотный диапазон.

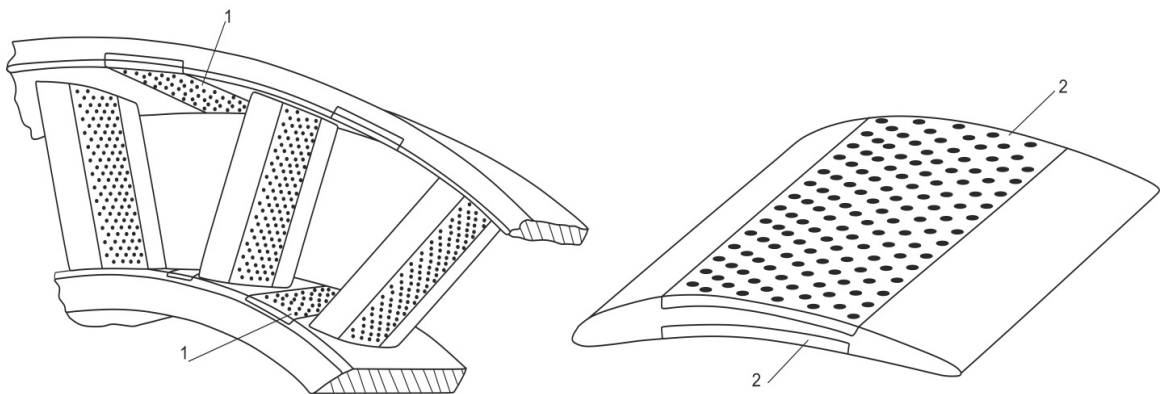


Рис. 3. Система шумоглушения входного направляющего аппарата компрессора:
1, 2 – резонаторы

Оборудование входных направляющих аппаратов осевых компрессоров такими устройствами шумоглушения позволит дополнительно сократить уровень излучаемой ВЗУ ГТУ акустической мощности.

Эксплуатация энергетических установок связана с возможностью кратковременного сброса рабочего тела высокого давления – пара в паровых турбинах (при продувке пароперегревателей, срабатывании предохранительных клапанов) или газа (воздуха) в газотурбинных установках (воздуха из противопомпажных и сбросных клапанов, газа после турбодетандера и свечей), что вызывает генерацию интенсивного внешнего шума.

Создание высокоэффективных конструкций глушителей для трактов выхлопа теплоносителей энергоблоков является сложной задачей. Элементы таких звукоизолирующих устройств работают в тяжелых условиях контакта ЗПМ с потоками скоростного, агрессивного и высокотемпературного агента. При этом вследствие тепловых, физико-химических и вибрационных воздействий нарушается структура ЗПМ, возникает возможность их увлажнения и разрушения, что негативно отражается на звукоизолирующих свойствах систем шумоглушения.

В таких условиях необходимо проводить постоянный мониторинг вибрационных, акустических и температурных воздействий, сопутствующих изменению пульсационных давлений в элементах газодинамических трактов энергоблоков, регулировать эти процессы, способствуя их стабилизации, что позволит поддерживать на заданном уровне акустические характеристики систем подавления шума.

Учитывая эти обстоятельства, в паротурбинных установках широко используют глушители реактивного и дроссельного типов, в ГТУ – диссипативного типа, которым свойственны значительные габариты и недостаточно высокая эффективность.

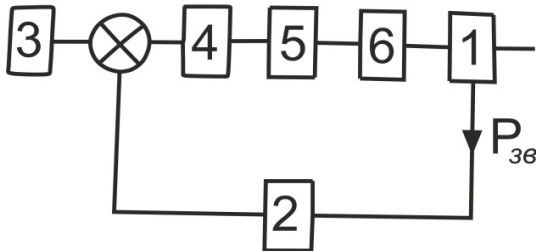


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматического регулирования уровня шума, излучаемого газовойпускным трактом ГТУ: 1 – газовойпускной тракт; 2 – пьезодатчик; 3 – задающее устройство; 4 – регулятор; 5 – источник питания; 6 – регулятор

которой расположена тонкостенная втулка 3, на внутренней кольцевой поверхности которой в шахматном порядке закреплены передней гранью узкие пластинки 4 из никелида титана, обладающие эффектом памяти формы. При допустимых уровнях излучаемого газовой трактом звукового давления свободные концы пластин прижаты к внутренней поверхности.

При регулировании звукового давления на выхлопе газовой канала в системе шумоглушения используется в качестве первичного контролирующего датчика (рис. 4, п.2) пьезоэлектрический преобразователь (рис. 6), установленный вблизи газовойпускного сечения, фиксирующий мощность излучаемой акустической энергии (модальный состав звукового поля). Основным элементом датчика является пьезоэлемент, преобразующий акустический сигнал (звуковое давление) в электрический (рис. 6). Конструктивно пьезоэлектрический преобразователь может включать электронные элементы настройки рабочей частоты, электрического демпфирования и усилители.

Устройство шумоглушения (рис.5), размещаемое в области сброса рабочего агента из газохода, работает следующим образом.

При увеличении уровня шума, генерируемого, например, газовой свечой ГТУ (рис. 4, п.1; рис. 5, п.1), пьезоэлектрический преобразователь (рис. 4, п.2; рис. 6) вырабатывает сигнал, направляемый в быстродействующую САР (рис. 4). Этот сигнал сравнивается с заданием (блок 3), и регулятором 4 результирующий импульс подается в источник тока 5, который питает катушку – терморегулятор (рис. 4, п.6; рис. 5, п.2). Последняя осуществляет нагрев втулки 3 (рис. 5), вследствие чего свободные концы пластин 4 отгибаются от внутренней поверхности газовой канала, повышая степень её шероховатости. Сле-

Решению данной проблемы может способствовать следующая конструктивная композиция. Шумовые характеристики, например, газовой свечей ГТУ можно обеспечить на уровне, установленном для окружающего пространства санитарными нормами, используя специальную систему автоматического регулирования (САР) звукового давления, излучаемого газовой трактом. Функциональная схема такой системы приведена на рис. 4, а на рис. 5 показано шумоглушающее устройство.

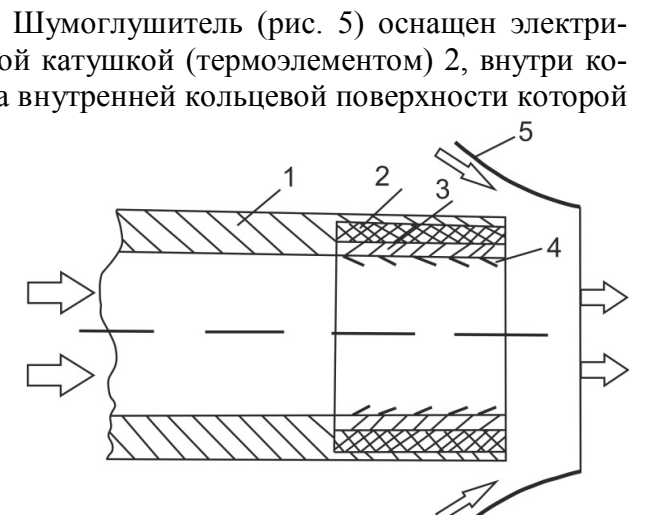


Рис. 5. Шумоглушитель: 1 – газовой свеча ГТУ; 2 – электрическая катушка; 3 – втулка с пластинками 4; 5 – эжектор

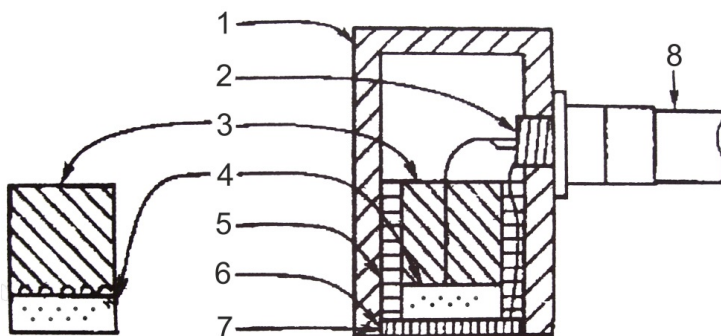


Рис. 6. Схема пьезоэлектрического преобразователя:
1 – корпус; 2 – электрический разъем; 3 – демпфер;
4 – пьезоэлемент; 5 – цилиндр; 6 – слой клея;
7 – защитная пластина; 8 – кабель

воздуха и его спутное движение.

Так как процесс смешения окружающей среды и выхлопного агента инициируется градиентом их абсолютных скоростей, торможение последнего за газовым трактом, наряду с организацией внешнего спутного течения, обеспечит снижение перепада давлений в зоне смыкания флюидов, за счет чего сократится интенсивность их взаимодействия и, как следствие, уровень генерируемого шума.

Возможен другой способ реализации этого принципа гашения звуковой мощности выхлопной струи.

В систему глушения шума выпускного устройства, например газовой свечи, посредством регулирующего клапана (рис. 7, п.1; рис. 4, п.6), управляемого САР (рис. 4), подается из компрессора ГТУ сжатый воздух, который через коллектор 2 и систему каналов 3 (диаметром 1,5...2 мм) поступает в область выхлопа звукопоглощающего комплекса (рис. 7).

Вдув воздуха из этих каналов во внешнюю среду осуществляется под углом α в окружном и β в радиальном направлении.

Сформированная таким методом инжекторная воздушная система создает разнонаправленные продольные парные вихри, распределенные по внешнему контуру газовой струи.

Смешение флюидов в этой кольцевой зоне обеспечит торможение пограничных слоев основного потока, уменьшение градиента скоростей и, как следствие, снижение генерируемой соплом звуковой энергии практически во всем диапазоне рабочих частот.

В рассмотренном варианте шумоглушителя также целесообразно установить в области выхода газа эжекторное устройство (рис. 5, п. 5).

Использование предложенных конструктивных разработок позволит существенно снизить излучаемую турбомашинами звуковую мощность, что будет способствовать по-

довательно, степень деформации пластин будет зависеть от уровня излучаемого звукового давления при сбросе теплоносителя.

Такое устройство позволит повысить степень турбулентности потока в выходном сечении свечи, увеличить толщину пограничного слоя в этой зоне и тем самым снизить скорость выхлопных газов на внешнем обводе сопла.

За свечой следует установить экранное кольцо – глушитель эжекторного типа (рис. 5, п.5), который обеспечит подсос атмосферного

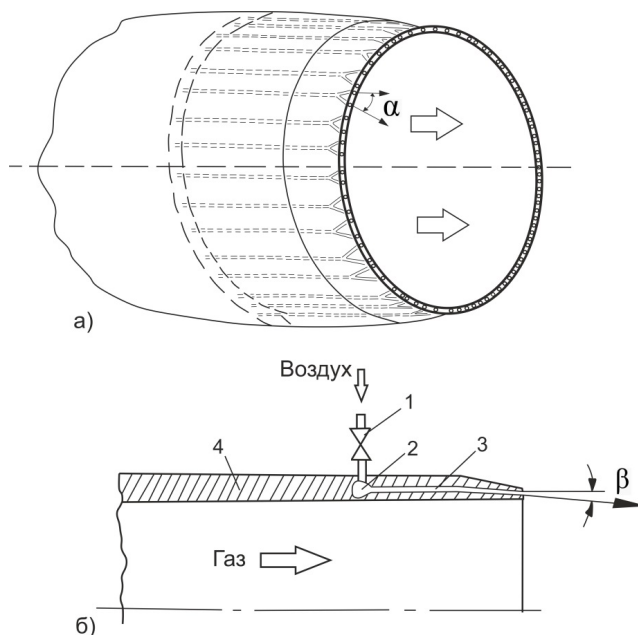


Рис. 7. Устройство шумоглушения:
а – общий вид; б – выходное сечение глушителя
(1 – регулирующий клапан; 2 – коллектор;
3 – каналы; 4 – корпус)

вышению производительности труда на предприятиях, улучшит экологическую обстановку в прилегающих селитебных зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апостолов, А.А. Акустические характеристики газотурбинных газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов / А.А. Апостолов, И.Г. Гоголев, А.М. Дроконов, Н.В. Дашунин. – Брянск: БГТУ, 2002. – 180с.
2. Дроконов, А.М. Акустические характеристики турбинных установок / А.М. Дроконов, А.Е. Дроконов. – Брянск: БГТУ, 2013. – 192с.

Материал поступил в редколлегию 15.04.14.