

## Оценка и анализ шума компрессорных станций

Дроздова Л.Ф.<sup>1</sup>, Кудаев А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

<sup>2</sup> Доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

<sup>1,2</sup> БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, РФ, Санкт-Петербург, ул. 1-я  
Красноармейская, д. 1

### Аннотация

Рассмотрена область применения компрессорных станций (КС), требования, предъявляемые потребителями компрессоров. Выполнен патентно-информационный поиск с целью выявления наиболее перспективных направлений и новых технических решений в разработке шумозаглушающих конструкций. Проведен анализ методов и средств снижения шума КС в зависимости от типа применяемых компрессоров. Как показал проведенный анализ, среди существующих средств снижения шума и вибрации наиболее комплексным является капотирование блока двигатель-компрессор. Приведены усредненные акустические характеристики отечественных и зарубежных ПКС.

**Ключевые слова:** компрессорная станция, патентный поиск, характеристики, методы и средства снижения шума.

### *Evaluation and analysis of noise of compressor stations*

*Drozdova L.F.<sup>1</sup>, Kudaev A.V.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Professor of the Department «Ecology and life safety»*

*<sup>2</sup> Associate Professor of the Department «Ecology and life safety»*

*BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Russia, Saint-Petersburg, 1 Krasnoarmeyskaya, 1*

### Abstract

*This paper considers the region of using of compressor stations (CS) and the requirements of the consumers to the compressors. Patent information search to identify the most promising directions and new technical solutions in the development sound-proofed designs are presented. The analysis of methods and means of noise reduction of the compressor stations depending on the type of the used compressors was made. As shown by the analysis among the existing means to reduce noise and vibration is to enclose block engine-compressor, the main noise source. The average acoustic characteristics of domestic and foreign movable compressor stations are described.*

**Keywords:** *compressor station, patent information search, characteristics of noise, methods and means of noise reduction.*

### Введение

Улучшение и оздоровление условий труда, устранение причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний является важной задачей. Успешное решение задачи по созданию безопасных и безвредных условий труда всех работающих во многом зависит от широкого применения безопасной техники и коллективных средств защиты.

Во многих отраслях промышленности, в том числе, в машиностроении, применяют компрессорные установки: стационарные компрессорные станции (КС) и передвижные компрессорные станции (ПКС). Особый интерес представляет не только обеспечение безопасной эксплуатации компрессорных станций, но и снижение воздействия их на окружающую среду.

Требования к компрессорной технике, предполагаемой к серийному производству, её характеристики и их приоритеты обуславливаются областью и

характером её применения, системой предпочтений потребителей этой техники при выборе конкретных моделей компрессорных станций. Система предпочтений, в свою очередь, определяется целями использования и условиями применения компрессорных станций, соответствием этим целям и условиям их технических характеристик, безопасностью эксплуатации, технологическим уровнем производства, экономическими, географическими и психологическими факторами. Важнейшим показателем при выборе станции являются ее шумовые характеристики, позволяющие расширить область их применения.

### 1. Области применения компрессорных станций

В настоящее время оборудование, использующее сжатый воздух и, соответственно, оборудование для его выработки, широко применяется в таких отраслях экономики, как:

- машиностроение, химическая промышленность, цветная и чёрная металлургия, мебельное производство и деревообработка, пищевая промышленность, стройиндустрия;
- транспорт и дорожное строительство, коммунальное хозяйство и ремонтная отрасль, геологоразведка.

На предприятиях этих отраслей сжатый воздух используется для многих видов оборудования, таких как: пневмооборудование кузнечных цехов, пневмодвигатели, формовочные машины, пневматические встряхивающие формовочные машины, пневмотрамбовки, выбивные устройства и машины, вибраторы, пескоструйные и дробеструйные аппараты, машины для мытья под давлением, пневмотолкатели, пневмомолотки, пневмодрели, пневмошлифмашины, клепальные пневмомашины, оборудование для подъёмно-транспортных работ, перфораторы, бетоноломы, пневмокраско и бетонораспылители и многие другие.

Основными типами компрессоров, которыми оснащаются компрессорные станции, являются: поршневые (в том числе аксиально-поршневые и свободнопоршневые), роторные винтовые, пластинчатые, турбокомпрессоры, мембранные, поршне-мембранные и др.

Наибольшее применение в передвижных и унифицированных с ними стационарных компрессорных станциях имеют классические поршневые и винтовые компрессоры.

При этом в области производительности до 1,5 м<sup>3</sup>/мин и давления 0.4 - 0.6 МПа преобладают поршневые, а в области производительности 1.8 – 10 м<sup>3</sup>/мин и давления 0.7 - 0.8 Мпа – винтовые.

Следует отметить, что для строительства характерно использование в основном мобильных средств механизации, использующих сжатый воздух, и именно строительные и ремонтные организации являются основными потребителями рынка передвижных компрессорных станций.

Немаловажным является то, что для различных потребителей необходим разный воздух. Если наличие масла в воздухе, идущем на питание отбойных молотков и пневмодвигателей можно считать в какой-то мере даже полезным, то для малярных или бетонных работ это вредно, а в некоторых странах (в частности, в Германии) наличие масла запрещено стандартами. Требования к температуре воздуха у различных потребителей тоже могут отличаться, например, при некоторых видах малярных работ желательна температура в диапазоне 60 – 70°С, в других случаях требования будут иными.

В связи с присутствием людей при проведении работ в производственных помещениях, где используются компрессорные станции, усиливаются требования по уровню шума и загазованности. Акустические характеристики компрессорных установок являются важными не только для компрессорных станций, работающих в помещении, но

и для ПКС, работающих на открытых площадках, в особенности на селитебной территории, вблизи школ, больниц и других объектов.

## 2. Патентно-информационный поиск методов и средств снижения шума КС

С целью выявления наиболее перспективных направлений и новых прогрессивных технических решений в разработке шумозаглушающих конструкций, применяемых в машинах различного профиля, авторами был проведен патентно-информационный поиск.

Поиск и отбор материала, проводился по ведущим странам мира: США, Великобритания, Германия, Франция, Италия, Швеция, Япония, Россия и др.

В результате изучения и анализа патентов и авторских свидетельств были отобраны материалы, представляющие наибольший интерес.

Авторами Boisseau, J. P., Bodet, M., Wabco France snc., (Япония) предлагается конструкция поршневого, объемного компрессора (газового насоса) небольшой производительности. Его основная особенность – поршень, качающийся в плоскости, перпендикулярной оси вращения кривошипного вала. Уплотнение выполнено в виде эластичной манжеты. Всасывание происходит через зазор между манжетой и стенкой цилиндра. Всасываемый воздух охлаждает подшипники вала и шатуна, причем всасывание производится через фильтры - глушители шума на всасывании.

Фирма Nitto Kohki Deutschland GmbH (Германия) выпускает воздушные компрессоры марки DPO 102 с бесщёточным приводным двигателем, который позволяет снизить уровень шума до 45 дБА и повышает срок службы до 5000 часов.

Звукоизолирующее покрытие для двигателя Akustikabdeckung (Германия), выполненного из изолирующего материала и закрывающего полностью или частично верхнюю часть двигателя, обладает следующей особенностью: оно имеет люки для доступа к агрегатам, требующим регулировки или обслуживания, и может закрепляться, вместе с расположенными под ним агрегатами, не требуя дополнительных опор и креплений.

Фирма Ingersoll-Rand Co. Ltd (Великобритания) выпускает легкий и компактный 2-х (4-х) осный автоприцеп с закрытым кузовом, для размещения в нем передвижной машины – компрессорного агрегата с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Нижняя, силовая часть изготавливается из прочного пластика и формируется вместе с рамой компрессорного агрегата, усиленной ребрами, днищем, нишами колес и крыльями из ударопрочного пластика на базе нейлона или полиэтилена высокой плотности. Верхняя – обтекаемый капот – из акрилонитрила бутадиенстирена, имеющего хорошие звукоизолирующие качества при меньшей плотности, чем у материалов нижней части. Она также имеет усиливающие ребра и проемы для установки съемных (откидных) щитов, обеспечивающих легкий доступ к основным узлам компрессорного агрегата. Для изготовления верхней и нижней частей наиболее рационален способ литья под вакуумом. Прицеп комплектуется дышлом, неподвижно крепящимся к оси его колес. Верхняя и нижняя часть соединяются между собой на петлях, основания которых формируются при изготовлении. Прицеп имеет массу на 325-425 кг меньшую, чем у металлического прицепа аналогичного назначения и обеспечивает лучшую звукоизоляцию компрессорного агрегата.

Японские разработчики Hondo.Giken Кодуо К. К, Sakashita Masao. Kawai Noriaki, Nozawa Yasuji. Та-keda Naoaki получили патент в США на способ глушения шума на всасывание в двигатель внутреннего сгорания за счет выполнения посередине, по меньшей мере, одного из цилиндров сквозного резьбового отверстия. В отверстие ввернута полая пробка, внутренняя, воздушная полость которой отделена от рубашки охлаждения упругой мембраной. Применение такого способа глушения шума на всасывании значительно снижает его уровень при работе компрессора.

Фирмой «Hydrovane Compressor Company» (Великобритания) выпускается компрессорная станция с электродвигателем. Уровень звука на расстоянии 1 м составляет всего 60 дБА, что эквивалентно приглушенному шуму в гостиной. Помимо использования электропривода (электродвигатель излучает всего 78 дБА на расстоянии 1 м), такой низкий уровень звука достигнут за счет капотирования и виброизоляции. Охлаждающий воздух всасывается и выпускается через длинные воздухопроводы-глушители. Внутренняя поверхность капота облицована 50-мм слоем пенополиуретана. Капот снабжен 3-мм поддоном. Виброизоляторы с характеристиками, соответствующими основным частотам двигателя и компрессора, отделяют установку от поддона и рамы.

Малошумные винтовые компрессоры выпускает фирма «Leise laufender Schraubenverdichter hat einen direct angekuppelten Antrieb. Maschinenmarkt. (Германия).

Фирма Boge Kompressoren Otto Boge GmbH (Германия) также выпустила винтовые компрессоры серии SL с низким уровнем шума. Они имеют интеллектуальную систему управления ARC и систему охлаждения. Новые компрессоры, имеют прямой привод без потерь, характерных передачам или клиновым ремням. Фирма разработала типоразмерный ряд S винтовых компрессоров моделями SL 270 и SL 340 с непосредственным приводом. Модели SL поставляются в звуко- и суперзвукопоглощающих кожухах, с эффективным маслоотделителем, с воздушным или водяным охлаждением. Система ARC – управления, регулирования и контроля обеспечивает оптимальный холостой ход компрессоров, что также приводит к снижению шума и энергозатрат.

Фирма «Sullair» (США), запатентовала ряд технических решений в передвижных компрессорных станциях с пониженным уровнем шума (75 дБА). Особый интерес представляет конструкция звукоизолирующего капота.

Известная фирма «Atlas Copco» (Швеция) разработала модель передвижного компрессора XAS 97. Компрессор XAS 97 снабжен полиэтиленовым кожухом HardHat™, который защищает от вмятин, царапин, коррозии и излучения шума лучше других кожухов, представленных сегодня на рынке. Кроме того, он имеет низкий вес, т.к. изготовлен из сверхпрочного полиэтиленового материала, а его устойчивость к повреждениям и коррозии, снижает время и затраты на его ремонт и перекраску.

Выявленные патенты и полученная информация содержат технические решения по звукоизолирующим перегородкам, экранам, капотам, вибродемпфирующим и звукопоглощающим материалам, и свидетельствуют о том, что за рубежом уделяется значительное внимание разработке шумозащитных конструкций машин и в частности компрессоров. К сожалению, в России последние 10-15 лет работ по снижению шума передвижных компрессорных станций практически не ведется.

Снижение шума КС – сложная задача, включающая в себя ряд вопросов, связанных с акустикой, тепловыми и аэродинамическими процессами, конструктивным и технологическим исполнением отдельных деталей и узлов, рабочим процессом в компрессоре и приводном двигателе. Эту задачу можно решать двумя путями:

- установкой звукопоглощающих и звукоотражающих конструкций (звукоизолирующего капота, глушителей, акустических экранов и звукоизолирующих перегородок под капотом, звукопоглощающих и вибродемпфирующих покрытий, виброизоляции и др.);

- снижением шума непосредственно в источнике.

Анализ литературных и патентных данных показывает, что в настоящее время нет эффективных способов снижения шума непосредственно двигателя и компрессора до требуемого уровня. Эффект от усовершенствования конструкции двигателя в целях снижения его шума пока не превысил 5 дБА. Поэтому наиболее радикальной мерой является ближняя звуко-виброизоляция. Учитывая, что двигатель – основной источник

шума ПКС, перечисленные выше меры снижения шума двигателя применяются и для компрессорных станций в целом.

## 2. Методы и средства снижения шума компрессорных станций

Для снижения шума компрессорных станций используются различные методы в зависимости от типа применяемых компрессоров.

Шум всасывания поршневых компрессоров может быть снижен с помощью глушителей: в диапазоне частот 200-500 Гц с помощью кольцевых резонаторов, настраиваемых на область наибольшей интенсивности шума, в высокочастотном диапазоне – активных глушителей со звукопоглощающими элементами трения в виде щелей и отверстий, представляющих параллельные каналы для переменной составляющей потока.

Для глушения шума на впуске поршневых компрессоров используют простое и практическое устройство, представляющее собой резонатор Гельмгольца с боковым ответвлением. Эффективность его велика на резонансных частотах, поэтому резонатор целесообразно использовать в случаях, когда на впуске компрессора излучаются очень сильные звуки чистых тонов. Шум на впуске ротационных компрессоров снижают глушители активного типа, что продиктовано значительно более высокой, чем у поршневых компрессоров, частотой звука.

Уравновесить центробежные силы и силы инерции поступательно движущихся масс в целях снижения механического шума поршневых компрессоров можно с помощью специального механизма или многорядной, например, оппозитной схемы расположения цилиндров. При консольном исполнении цилиндров возникающие изгибные колебания снижаются путем устранения резонанса. Для изменения собственной частоты увеличивают жесткость основания консоли.

К значительному снижению шума поршневого компрессора во всем нормируемом диапазоне частот приводит замена воздушного охлаждения водяным. Водяная охлаждающая рубашка изолирует шум, генерируемый цилиндром, а также шум клапанов за счет значительного увеличения массы.

Шум на выпуске из компрессора может быть снижен за счет размещения воздухоприемника под звукоизолирующим капотом. Можно также использовать малый воздухоприемник, действующий как глушитель вибрации, установив его между клапанами компрессора и основным воздухоприемником. Это уменьшит количество колебаний давления в основном воздухоприемнике и уровень излучаемого звука.

Снижение колебаний трубопроводов достигается установкой дополнительных креплений для изменения жесткости и собственных частот трубопроводов, а также дроссельной шайбы или вентиля в точке, где колебательная скорость стоячих волн достигнет максимума.

Для предотвращения передачи энергии соответствующих звуковых частот при установке компрессора на рамные конструкции ТМ необходимо предусмотреть его виброизоляцию от рамы. С экономической точки зрения более выгодно использовать звукоизолирующие капоты, по возможности виброизолировав их от источника шума. Капот снижает не только шумы, излучаемые корпусом компрессора и двигателя, а также аэродинамические шумы воздушных охлаждающих потоков и другие – шумы приводных механизмов, колебаний коммуникаций и трубопроводов и т.д.

Размещение агрегата «двигатель-компрессор» под капотом ограничивает доступ холодного воздуха из окружающей среды. Поэтому при глушении шума таким способом необходимо, чтобы температура смазочного масла поддерживалась в определенных границах, обеспечивающих достаточную его вязкость, а также исключалась возможность перегрева двигателя и компрессора, горючего в баках и нагрева аккумуляторных батарей. Для этого служат вентиляционные каналы, которые, однако, не должны снижать эффекта

шумопоглощения. С помощью перегородок, разворота потока и облицовки стенок каналов можно добиться требуемого эффекта шумоглушения в сочетании с нормальным тепловым балансом.

За рубежом накоплен ценный практический опыт снижения шума компрессорных станций. В качестве основных мер, обеспечивающих снижение уровня звука на 10-15 дБА, используются:

- размещение агрегата «двигатель-компрессор» под звукоизолирующим капотом из металлического листа или стеклопластика, облицованного звукопоглощающим материалом;
- акустическая обработка стенок каналов для подвода и отвода охлаждающего воздуха;
- установка глушителей шума выпуска на выхлопном тракте двигателя (для ДВС);
- виброизоляция агрегата «двигатель-компрессор» от рамы.

Довести эффект до уровня, превышающего 20 дБА (супершумозаглушенные КС), можно в дополнение к перечисленным мерам:

- установить шумоглушители на всасывающие фильтры двигателя и компрессора, а также на предохранительный клапан;
- демпфировать звукоизолирующий капот и основные излучатели вибрации;
- виброизолировать капот, все трубопроводы, глушитель выпуска;
- изготовить лопасти вентилятора из алюминия или пластмассы, обеспечив тщательную его балансировку;
- установить глушитель выпуска под капот или увеличить звукоизоляцию его стенок.

Кроме того, для глушения шума передвижных компрессорных станций их можно размещать в легких звукоизолирующих палатках (эффект не превышает 4-6 дБА). Палатки рекомендуется использовать при эксплуатации ПКС вблизи больниц, школ, детских учреждений.

Анализ технической литературы и проведенный патентный поиск показали, что попытки понизить шум в источнике или не дают существенного эффекта, или не применимы из-за сложности эксплуатации.

Основным направлением снижения шума компрессорных станций является капотирование блока «двигатель-компрессор».

Звукоизолирующий капот является эффективной конструкцией шумозащиты, позволяющей обеспечить при проектировании на основании расчета, требуемые уровни снижения шума.

#### **4. Характеристики шума передвижных компрессорных станций (ПКС)**

Шум передвижных компрессорных станций зависит от многих факторов, в том числе:

- вида привода-двигатель внутреннего сгорания (дизель или карбюраторный) или электродвигатель;
- типа применяемого компрессора – винтовой, поршневой, мембранный, лопастной, ротационный;
- режима работы;
- наличия или отсутствия шумозаглушающих средств;
- производительности ПКС.

Наиболее популярными являются передвижные компрессорные станции производительностью от 2.5 до 5 м<sup>3</sup>/мин – около 40% от общего числа моделей, а на диапазон 7.5 – 15 м<sup>3</sup>/мин приходится около 18% моделей.

В таблице 1 приведены усредненные характеристики шума передвижных компрессорных станций разной производительности с различным приводом.

Таблица 1

Акустические характеристики ПКС на расстоянии 7 м

| Тип исполнения    | Тип привода       | Производительность, м <sup>3</sup> /мин | Уровень звука, дБА |
|-------------------|-------------------|---|--------------------|
| Нешумозаглушенный | Дизель            | 5,2                                     | 98                 |
|                   |                   | 10,5                                    | 101                |
|                   | Электро-двигатель | 5,2                                     | 90                 |
|                   |                   | 10.0                                    | 94                 |
| Карбюраторный     | 5.2               | 96                                      |                    |
| Шумозаглушенный   | Дизель            | 5,0                                     | 70                 |
|                   |                   | 10,6                                    | 75                 |
|                   | Электро-двигатель | 5.0                                     | 58                 |

Как видно из таблицы, акустические характеристики шума нешумозаглушенных ПКС значительно превышают требования санитарных норм как с приводом от двигателя внутреннего сгорания, так и от электродвигателя.

### Заключение

Стационарные компрессорные станции (КС) и передвижные компрессорные станции (ПКС) широко применяются в различных отраслях экономики. Наибольшее применение в передвижных и унифицированных с ними стационарных компрессорных станций имеют классические поршневые и винтовые компрессоры производительностью до 10 м<sup>3</sup>/мин и давлением от 0.4 - 0.8 МПа. Акустические характеристики компрессорных установок являются важными не только для работающих в помещении, но и для ПКС, работающих на открытых площадках, в особенности на селитебной территории, вблизи школ, больниц и других объектов. Проведенный авторами патентно-информационный поиск показал, что к числу наиболее эффективных средств снижения шума можно отнести: капотирование двигателя и компрессора, звукоизолирующие перегородки и экраны под капотом, глушители, звукопоглощающие и вибродемпфирующие покрытия, виброизоляцию и др. Снижение шума в источнике или не дают существенного эффекта (не более 5 дБА), или не применимы из-за сложности эксплуатации.

### Список литературы

1. Компрессоры ATLAS COPCO для выдувания изделий из ПЭТ (полиэтилентерефталата) стали первыми компрессорами, сертифицированными по классу 0. Компрессорная техника и пневматика. 2008, № 7, с. 42-43.
2. АО «Компрессор» – Компрессорная техника на уровне мировых стандартов. Кузнецов Ю.Л., Аникин А.Л. Компрессорная техника и пневматика. 2016, № 4, с. 5.
3. Шум при работе компрессоров и его снижение. Главный энергетик. 2009, №9, с. 59-61.
4. Теория и практика создания малозумных и энергоэффективных герметичных хладоновых компрессоров. Набережных А.И., Деменев А.В., Данилов А.И. В сборнике: Современная российская наука глазами молодых исследователей. Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Научно-Инновационный центр. 2013. С.188-208.

---

5. Всасывающий глушитель герметичного холодильного компрессора. Цикман А.В., Кирейчик Д.Г., Высоцкий Д.А., Шинтарь В.В. Патент на полезную модель RUS 66788 22.06.2007.

6. Компрессорная станция. Ворошилов И.В. Патент на полезную модель RUS 113541 05.10.2011.

7. Шум центробежных компрессоров на газоперекачивающих станциях. Мамаев В.К., Власов Е.Н., Барский И.А. Наука и техинка в газовой промышленности. 2013. № 3(55), с. 57-61.

8. Л.Ф. Дроздова и А.В. Кудаев. Снижение шума передвижных компрессорных станций. Труды школы-семинара «Новое в теоретической и прикладной акустике» СПб.: БГТУ, 2003, 11с.

9. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».