

УДК 534.23

OECD 01.03.AA

## Обзор современных компрессорных установок и материалов для снижения их шума

Дроздова Л.Ф.<sup>1\*</sup>, Чеботарева Е.Ю.<sup>2</sup>, Кудаев А.В.<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

<sup>1,2,3</sup> БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

### Аннотация

В работе рассмотрены компрессорные установки отечественных и зарубежных производителей. Приведены акустические характеристики и диапазон производительностей рассмотренного компрессорного оборудования. Рассмотрен метод снижения шума как стационарных, так и передвижных компрессорных установок. Проведен анализ материалов, применяемых для увеличения эффективности средств снижения шума компрессорных установок.

**Ключевые слова:** компрессорная установка, шум, кожух, звукоизоляция, звукопоглощающие материалы, вибродемпфирующие материалы, эффективность.

### *Overview of compressor units and materials for noise reduction*

*Drozdova L.F.<sup>1\*</sup>, Chebotareva E.Y.<sup>2</sup>, Kudaev A.V.<sup>3</sup>*

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

<sup>2</sup>*Undergraduate student of the Department 'Ecology and life safety'*

<sup>3</sup>*Associate Professor of the Department 'Ecology and life safety'*

<sup>1,2,3</sup>*BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, 1 Krasnoarmeyskaya, 1*

### *Abstract*

*In this article the compressor units of domestic and foreign manufacturers are considered. Shows the range of throughputs and acoustic characteristics of compressor equipment examined. Noise reduction method is considered as fixed and mobile compressor units. The analysis of the materials used to increase the effectiveness of means for reducing noise of compressor units.*

**Key words:** *compressor unit, noise, enclosure, sound insulation, sound-absorbing materials, vibration-damping, effectiveness.*

### Введение

Одной из наиболее острых проблем настоящего времени является проблема защиты от шума. В крупных населенных пунктах с ростом числа жителей увеличивается количество источников шума. Повышенный шум – это вредный фактор, крайне негативно влияющий на человека в любом месте его пребывания. Нарушение нервной и сердечно-сосудистой деятельности, повышенное артериальное давление, снижение скорости усваивания информации – вот неполный список негативных последствий, возникающих при воздействии на человека повышенного шума.

\* E-mail: [drozdovalf@yandex.ru](mailto:drozdovalf@yandex.ru) (Дроздова Л.Ф.)

## 1. Современные компрессорные установки

Применяемые компрессорные станции, как передвижные, так и стационарные являются одним из основных источников шума, загрязняющих окружающую среду и создающих повышенный уровень шума на рабочих местах, что приводит к профессиональным заболеваниям обслуживающего персонала, а иногда и к аварийным ситуациям. На сегодняшний день компрессорное оборудование применяется в различных отраслях производства и промышленности: стройиндустрия, машиностроение, авиа- и судостроение, мебельное производство и др. Выработываемый ими сжатый воздух используется для осуществления различных операций: пескоструйная обработка, привод механизмов, устройство обдува и т.д. Исходя из этого, на многочисленных отечественных заводах разрабатываются и производятся компрессорные установки различной мощности, назначения, с разной себестоимостью, производительностью и соответственно уровнем шума (табл. 1).

Таблица 1  
 Отечественные компрессорные установки

Производитель	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
ОАО Казанский завод компрессорного машиностроения «Казанькомпрессормаш», г. Казань	Компрессорное оборудование	32ГЦ2-63/4,5-41 УХЛ4	62	4,4	-
		Аэровик-55	7	1,0-13	-
		Аэровик-250	28,5	1,0-13	не более 77
ООО «Орелкомпрессормаш», г. Орел	Винтовые, поршневые и роторные компрессоры	ВВ-80/8	80	8	-
		ВВ-52/10С	52	11	75
		ВВП-10/7 У1	10	7	не более 80
		ПКС-7 АМ	7	7	80
ОАО Пензенский компрессорный завод «Пензкомпрессормаш», г. Пенза	Компрессорное оборудование	2ВВ-6/8М1	6	7,8	не более 78
		ДВК-315	37	12,7	-
		СА-8,4-202,5.01	7,6	4	-
АО «Цеприкон», г. Пенза	Компрессорные системы	RSW 18,5	3,69	5	71
		ZR 132	22	7,5	62
		7/41	4	7	98
АО Бежецкий завод «Автоспецоборудование», Пензенская область с. Бессоновка	Поршневые и винтовые компрессоры	K11	0,28	10,1	72
		K25M	0,83-0,5	6	-
		АСО-ВК22	3,5	8,1	76
ООО Ростовский компрессорный завод «РКЗ», г. Ростов	Винтовые и поршневые компрессоры	Airrus 7	1,1	8	до 70
		Airrus 55	8,5	10	до 70
		MIG 55	9,0	8	-

Производитель	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
ООО Арсенал Машиностроение «АРСМАШ», г. Санкт-Петербург	Винтовые компрессорные установки	ЗИФ-ПВ-5/1,0	5	10	не более 96
		ЗИФ-СВЭ 3,5/0,7ШР	3,5	7	не более 68
		ЗИФ-СВЭ 16/0,7ШМ	16	7	не более 74
ООО Санкт-Петербургский компрессорный завод «Илком», г. Санкт- Петербург	Винтовые и поршневые компрессоры	ESM7	7,5	1,30	70
		VS 40	1,38-5,28	13	-
		ESM29	4,82	10	69
ООО «Тегас», г. Санкт-Петербург	Компрессоры и компрессорное оборудование	ВПЗ-20/9	7,6	21,5	-
		505ВП-20/18	20	18,6	-
ООО Челябинский компрессорный завод «ЧКЗ», г. Челябинск	Компрессорное оборудование	ДЭН-7,5Ш	1,05	7	70
		ДЭН-90Ш	13,8	7,5	80
		КВ-12/10	12	10	не более 80

Тем не менее, доля российского рынка компрессорного оборудования принадлежит и иностранным производителям. Рассмотрим основные зарубежные предприятия, поставляющие этот вид техники в РФ (табл. 2).

Таблица 2

Зарубежные производители компрессорных установок

Производитель, страна	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность м <sup>3</sup> /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
«Ремеза», Беларусь	Винтовые компрессорные станции	ДК-6/7	6	7	85
		ДК-10/10	10	10	85
		ДК-12/7	12	7	85
«Irmair», Германия	Винтовые компрессоры	CPS 90	2,5	7	-
		IRMAIR 11.0	11,1	7	99
		CPS 850	23,9	7	83
«Kraftmann», Германия	Компрессорное оборудование	Taurus 45	6,96	8	-
		Taurus 450 W	64,10	10	-
		Sirius 315 W	48	10	77
«Berg compressors», Германия	Винтовые компрессоры	БК-22P	3,8	7	68

Производитель, страна	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность м <sup>3</sup> /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
		БК-37P	5,6	10	68
		БК-5.5PO-500	0,55	12	62
«Rotair», Италия	Поршневые и винтовые компрессоры	MDVN 21 АК	2,1	7	-
		MDVS 255 P8	25,3	8	-
		E 02 en-9,5	0,2	9,5	-
«ABAC Group», Италия	Поршневые и винтовые компрессоры	Montecarlo O20P	0,23	8	97
		V 34/50 CM3	0,33	10	73
		GENESIS 22 - 10/500	3	10	74
«Fini», Италия	Винтовые компрессоры	Tera 125-SV	16,9	10	76
		MC 5008	5,7	8	70
		CUBE SD 5-TA	0,46	10	63
«Ingersoll Rand», США	Компрессорное оборудование	N-5,5-8	0,88	8	68
		IRN160K-7-OF	12,8	7	72
		IRN37K-8-OF	5,0	8,1	74
«Sullair», США	Винтовые компрессоры	300HH	8,5	14	-
		S38	2	7	не более 76
		375H	10,6	10	не более 76
«Atlas Copco», Швеция	Поршневые и винтовые компрессоры	LE 20-10	1,90	10	73
		ZT 22 VSD	1,2-3,4	7	69
		LFx 2.0	9,1	10	62
«Denyo», Япония	Винтовые компрессоры	DENYO DIS-70LB-C	2	6,9	64,5
		DENYO DIS-90SB	2,5	6,9	67
		DENYO DIS-800ESS	52,4	6,9	72
«Airman», Япония	Компрессорное оборудование	PDS70S	2,0	6,8	70
		PDS390S	11,0	6,8	-
		PDS130S	3,5	6,8	-
«Hitachi», Япония	Компрессорные установки	7.5VA (R)	0,82-1,03	4,5-8,3	53
		100VA	4,5-7	14,48-18	72

Анализ вышеприведенных таблиц (1 и 2) показывает, что диапазон производительностей компрессорных установок колеблется от 0,2 до 80 м<sup>3</sup>/мин. Часть компрессорных установок выпускается в шумозаглушенном исполнении, и их уровень звука достигает 62 дБА, а в не шумозаглушенных уровень звука колеблется от 80 до 98 дБА. При

условии использования большинства выше указанных компрессорных установок на площадках, непосредственно прилегающих к жилым домам, зданиям поликлиник, домов отдыха, школ и других учебных заведений, на открытых площадках и в производственных помещениях, требуются разработки мероприятий по снижению шума и применения средств шумоглушения.

## 2. Применяемые материалы для снижения шума

Шум компрессорных установок 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;  
 производительности;  
 наличия шумозаглушающих средств [1].

Для снижения шума как стационарных, так и передвижных компрессорных установок в качестве основных средств защиты от шума применяются звукоизолирующие кожухи, полностью или частично закрывающие шумные агрегаты. Существенное преимущество этого способа – возможность снижения шума на любую требуемую величину как на рабочих местах, так и в окружающей среде. При выборе конструкций шумозащитных устройств, в частности кожуха, очень важным является правильный выбор конструкционных материалов. В качестве основных материалов для них могут использоваться звукоизолирующие, звукопоглощающие и вибродемпфирующие материалы.

### 2.1. Звукоизолирующие материалы

В качестве основного конструкционного материала для ограждающих поверхностей кожуха применяется металлический лист, в основном стальной (толщиной от 0,5 до 3 мм), иногда предпочтение отдается алюминиевым сплавам, легко обрабатываемым, имеющим малый удельный вес и хорошие тепло- и звукоотражающие свойства.

Целесообразно применение в конструкции кожуха и стеклопластика. Кожухи, изготавливаемые из стеклопластика, в основном изготавливаются одностенными и могут иметь любую пространственную конфигурацию, обладая высокими звукоизолирующими свойствами, кроме того, стеклопластик — коррозионно стойкий материал. Применение стеклопластика также снижает металлоемкость кожуха в среднем на 30-35%, не ухудшая при этом его эксплуатационные качества.

Могут применяться и конструкционные материалы типа «сэндвич», представляющие собой материал, наружный слой которого выполнен из металла, пластмассы, стеклопластика, а внутренний — из вибропоглощающего материала.

Звукоизолирующая способность материалов для ограждающих конструкций оценивается значением индекса звукоизоляции, дБ (табл. 3).

Таблица 3

Звукоизолирующие материалы

Материал	Толщина материала, мм	Индекс звукоизоляции $R_w$ , дБ
Сталь	0,7	25
	1	28

Материал	Толщина материала, мм	Индекс звукоизоляции $R_w$ , дБ
	2	32
	3	35
	5	35
Алюминиево-магниевый Сплав	0,8	18
	1	20
	2	26
	4	29
Стеклопластик	2	25
	3	27
	5	30
Фанера	3	23
	4	24
	5	25
Органическое стекло	3	22
	5	27
	10	33

Как видно из таблицы 3, наиболее высокую звукоизолирующую способность на всех толщинах имеет стальной лист (от 25 до 35 дБ). Увеличение толщины стального листа от 3 до 5 мм не изменяет его звукоизолирующую способность. Диапазон индекса звукоизоляции стеклопластика, оргстекла и фанеры колеблется в пределах от 22 до 30 дБ, он зависит от толщины и имеет более низкие значения относительно стального листа одинаковой толщины.

## 2.2 Звукопоглощающие материалы (ЗПМ)

Звукопоглощающая облицовка поверхностей кожуха является дополнительным средством увеличения его акустической эффективности, в особенности на высоких частотах, когда в воздушном пространстве кожуха укладывается целое число половин длин волн звука и образуется резонанс стоячей волны. Такие резонансы можно устранить при помощи звукопоглощающих материалов [2].

Эффективность использования звукопоглощающих материалов тесно связана с толщиной основного материала кожуха и тем, насколько кожух является эффективным с точки зрения герметичности. Увеличение толщины звукопоглощающего материала в основном проявляется в области низких и средних частот для кожухов с высокой степенью изоляции.

ЗПМ имеют волокнистое, зернистое или ячеистое строение.

К волокнистым материалам относятся:

- маты прошивные теплоизоляционные из базальтового холста - фольгированные или облицованные стеклотканью;
- маты из стеклянных волокон, изготовленные по клеевой или прошивной технологии с облицовкой стеклотканью.

К вспененным материалам относятся:

- напыляемый пенополиэтилен различной плотности;
- пенополиуретан эластичный трудносгораемый на основе полиэфира.

В конструкциях кожухов могут найти применение такие материалы как звукопоглощающие базальтовые маты (БЗМ), представляющие собой изделия, изготовленные из рыхлого слоя холстов базальтовых супертонких волокон в оболочке из стеклянной, базальтовой или кремнеземной ткани и акустические

теплозвукоизоляционные и звукопоглощающие маты марки АТМ, представляющие собой прошитые холсты из супертонкого базальтового волокна.

Звукопоглощающий материал на основе пенополиуретана марки К-Fonik авторами был рассмотрен в двух вариантах.

материал с развитой поверхностью волнообразной формы с шероховатой текстурой. Сочетание разбитых пор на поверхности материала, закрытых пор внутри и волнообразной поверхности, позволяет широко использовать материал в качестве поглощающего и рассеивающего звуковую энергию;

материал с выпуклой пирамидальной поверхностью.

Наиболее значимым параметром для звукопоглощения является коэффициент звукопоглощения. В таблице 4 представлены коэффициенты звукопоглощения различных материалов.

Таблица 4

Коэффициенты звукопоглощения различных материалов

Материал	Толщина, мм	Среднегеометрическая частота, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
Стекловолокно	25	0,07	0,23	0,48	0,83	0,88	0,80
	50	0,20	0,55	0,89	0,97	0,83	0,79
	100	0,39	0,91	0,99	0,97	0,94	0,89
Войлок	25	0,06	0,31	0,80	0,88	0,87	0,87
	50	0,05	0,07	0,29	0,63	0,83	0,87
Минеральные вата	50	0,20	0,45	0,90	1,00	1,00	0,95
	100	0,50	0,75	1,00	1,00	0,95	1,00
Пенополиуретан с открытыми порами	20	0,23	0,16	0,25	0,65	0,75	0,81
	50	0,16	0,24	0,67	0,81	0,74	0,80
Пенополиуретан с выпуклой пирамидальной поверхностью	20	0,13	0,24	0,43	0,62	0,66	0,68
	50	0,15	0,39	0,78	0,79	0,73	0,73
Маты БЗМ	30	0,11	0,17	0,50	0,88	0,83	0,83
	50	0,25	0,45	0,61	0,76	0,87	0,87
	100	0,52	0,86	0,86	0,81	0,86	0,86
Маты АТМ	15	0,08	0,10	0,40	0,77	0,62	0,62

### 2.3. Вибродемпфирующие покрытия (ВДП)

Увеличение эффективности кожуха достигается также при применении вибродемпфирующего покрытия в сочетании со звукопоглощающим, что увеличивает коэффициент потерь стенки кожуха и снижает влияние собственных частот ограждающих конструкций кожуха на его звукоизолирующие свойства за счет сдвига собственной резонансной частоты кожуха в область низких частот. Основное назначение вибродемпфирующих покрытий – снижение интенсивности звукоизлучения

металлических ограждающих конструкций. По характеру деформации, определяющей поглощение вибрации, все ВДП можно разбить на 4 группы [3]:

- 1) жесткие;
- 2) армированные;
- 3) мягкие;
- 4) комбинированные.

Вибродемпфирующие покрытия могут применяться в виде мастик, листовых прокладок и их сочетаний.

Мягкие ВДП мастичного типа состоят из слоя вязкоупругого материала с малым динамическим модулем сдвига и (или) включением в мастичный массив воздушных полостей, повышающих его сжимаемость.

В настоящее время наиболее широкое применение находят вибродемпфирующие материалы таких марок как «Адем», «Nowelle®», «Випоком», «Мавип» и др.

Вибропоглощающая (вибродемпфирующая) мастика «Адем» представляет собой однокомпонентную высоковязкую пасту, предназначенную для получения вибродемпфирующих покрытий для снижения вибраций и обусловленного ими шума.

Вибродемпфирующие эластомеры «Nowelle®» изготавливаются из компаундов (резиновых смесей) на основе синтетических каучуков и хлористого винила по технологическому процессу высокотемпературной вулканизации при избыточном давлении. Эластомеры Nowelle® не содержат асбестовые, стеклянные и другие волокна, что сводит выбросы вредных веществ при эксплуатации продукта практически до нуля.

Полимерная вибропоглощающая мастика «Мавип» предназначена для снижения шума и вибрации конструкций и оборудования, а также для повышения их долговечности и представляет собой однородную пасту тёмно-серого цвета. Покрытие является нетоксичным и невоспламеняющимся, медленно распространяет пламя по поверхности и не выделяет чрезмерное количество дыма.

«Комби Стандарт БМН» вибродемпфирующий материал со сдвоенной структурой из слоев мастик (бутилкаучуковой и битумно-полимерной) с лицевым слоем из нетканого полиэфирного материала. Благодаря сдвоенному мастично-битумному составу материал характеризуется высоким эффектом по снижению шума.

Мастика «Випоком» содержит эпоксидную основу и представляет собой густую однородную массу серовато-черного цвета.

Нанесение мастики увеличивает звукоизоляцию стенки кожуха на средних и низких частотах на 1-2 дБ, а на высоких частотах от 3 до 8 дБ.

Армированные ВДП представляют собой диссипативный слой вязкоупругого материала, сверху которого наносится тонкий (армирующий) слой металла. Так, например, у вибродемпфирующего мультиполимерного мастичного материала «SGM Броня М2» и вибродемпфирующего битумно-мастичного материала «Биталюм Люкс (СГМ-вибро (SGM))» в качестве лицевого слоя используется алюминиевая фольга толщиной 100 мкм.

В качестве листовых прокладок применяют битумные листовые материалы, на одну сторону которых наносится липкий или терморезактивный клей или жесткие ВДП, представляющие собой слой жесткой пластмассы, наносимой на вибрирующую конструкцию.

Как правило, толщина вибродемпфирующего покрытия выбирается равной 2-3 толщины основного конструкционного материала.

Основным параметром, характеризующим эффективность ВДП, является коэффициент механических потерь, приведенный в таблице 5.

Таблица 5  
Вибродемпфирующие материалы

Вибродемпфирующие материалы	Плотность покрытия, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент механических потерь
Адем – 1ДФК	не более 1350	0,18
Nowelle® mod 1	1300	0,25-0,31
Nowelle® mod 3	2200	0,24
Випоком	1500	0,18
Мавип	1210	0,10
SGM Броня М2	3750	0,45
Биталюм Люкс (СГМ-вибро (SGM))	3300	0,32
Комби Стандарт БМН	4100	0,40

Анализ данных, приведенных в Табл. 5, показывает, что с увеличением плотности большинства ВДП коэффициент механических потерь растет. Это позволяет сделать вывод о возможном увеличении и эффективности кожуха. Но при этом следует отметить, что применение вибродемпфирующего покрытия большой плотности повлечет за собой увеличение массы кожуха, что часто является неприемлемым для передвижных компрессорных установок.

Для снижения массы ВДП, за счет уменьшения толщины как диссипативного, так и армированного слоя, и увеличения звукопоглощающей эффективности могут применяться вибропоглощающие покрытия с диссипативным слоем из синтетического материала на основе поливинилацетата (полимерной ВПС плёнки). Из результатов работы [4] видно, что на резонансных частотах изгибных колебаний уровни входной вибровозбудимости всех пластин с вибропоглощающими покрытиями (ВПП) много меньше соответствующих уровней, зарегистрированных при испытаниях пластины без ВПП. Нанесение на одну из поверхностей стальной пластины ВПП с толщиной диссипативного слоя 0,2 мм уменьшает максимальные уровни её вибрации в среднем на ~18 дБ (частоты до ~500 Гц) и ~25 дБ (частоты больше ~500 Гц).

### Заключение

Проведенный анализ акустических характеристик компрессорного оборудования, выпускаемого в настоящее время отечественными и зарубежными производителями, позволяет сделать вывод, что большая часть компрессорных установок в не шумозаглушенном исполнении требует разработки мероприятий по снижению шума и применению средств шумозащиты. Для снижения шума от компрессорного оборудования в качестве одного из основных средств их шумозащиты применяют звукоизолирующие кожухи. Авторами приведены характеристики ряда звукоизолирующих, звукопоглощающих и вибродемпфирующих материалов, позволяющих выбрать их оптимальное сочетание для разработки средств шумозащиты компрессорных установок требуемой акустической эффективности.

### Список литературы

1. Дроздова Л.Ф., Кудяев А.В. Оценка и анализ шума компрессорных станций. NOISE Theory and Practice. Vol. 2, №3, 2016. с. 30-37.

2. Техническая акустика транспортных машин: Справочник/ Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; Под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.

3. Безопасность технологических процессов и производств: учебник/ под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадына и Л.Ф. Дроздовой Логос, 2016. 608 с.

4. Кирпичников В.Ю., Сятковский А.И. Уменьшение вибрации конструкций тонкими армированными покрытиями на основе полимерной ВПС пленки // Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации» под редакцией Н.И. Иванова. Санкт-Петербург, 2017. с. 382-388.