

УДК: 534.6
OECD: 1.03 AA

Практические решения по снижению шума чиллеров и драйкулеров

Бужинский К.В.¹, Андриющенко А.К.², Фиев К.П.^{3*}, Тюрина Н.В.⁴, Кондратьев С.А.⁵
^{1,2}Инженер, ³К.т.н., доцент, ⁴Д.т.н., профессор, ⁵Старший преподаватель,
^{1,2}ООО «Мастерская производственной шумозащиты»,
^{3–5}Кафедра «Техносферная безопасность и вычислительная механика»,
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
^{1–5}г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье рассмотрены практические решения по снижению шума систем вентиляции и кондиционирования на примере чиллеров и драйкулеров. Авторами разработана цифровая модель инженерного оборудования и местности, а также выполнены расчеты в программном комплексе АРМ Акустика, представлены примеры визуализации этапов моделирования источников шума, а также карты распространения шума в жилой застройке. На картах шума в разрезе нижних, средних и верхних этажей прилегающей жилой застройки показано изменение акустической нагрузки, создаваемой чиллерами и драйкулерами до применения шумозащитных мероприятий и после реализации шумозащитных мероприятий. В состав шумозащитных мероприятий включены применение акустических экранов и пластинчатых глушителей. Для контроля эффективности каждого шумозащитного мероприятия выполнены натурные замеры шума в контрольных точках на территории жилой застройки до реализации шумозащитных мероприятий, а также после реализации двух этапов шумозащиты: после установки акустических экранов без применения глушителей, а также с учетом применения акустического экрана и пластинчатых глушителей. Показано отсутствие превышений уровня звука на территории жилой застройки после внедрения комплекса мероприятий, включающего акустические экраны и пластинчатые глушители.

Ключевые слова: уровень звука, акустический экран, пластинчатый глушитель, карта шума, акустические характеристики, эффективность, чиллер, драйкулер

Practical solutions for chillers and dry coolers noise control

Buzhinsky K.V.¹, Andryushchenko A.K.², Fiev K.P.^{3*}, Tyurina N.V.⁴, Kondratiev S.A.⁵
^{1,2}Engineer, ³Ph.D., Associate Professor, ⁴D.Sc., Professor, ⁵Senior Lecturer,
^{1,2}LLC 'Production Noise Protection Workshop',
^{3–5}Department of Technosphere Safety and Computational Mechanics,
Baltic State Technical University 'VOENMEH',
^{1–5}Saint Petersburg, Russia

Abstract

Practical solutions of ventilation and air conditioning systems noise control considering chillers and dry coolers are discussed in the article. A digital model of engineering equipment and nearby terrain is derived.

*E-mail: fkp@iakbarier.ru (Фиев К.П.)

Noise prediction in ARM Acoustics software is done. Examples of visualization of the stages of noise sources modelling, as well as noise propagation maps in residential area are presented. Noise maps in the context of the lower, middle and upper floors of the nearby dwellings show the acoustical impact before and after the implementation of noise protection measures, which includes use of acoustical barriers and mufflers. To monitor the effectiveness of each noise protection measure, full-scale noise measurements were performed at sensitive receiver positions. Application of noise control complex including acoustical barriers and mufflers allows to meet regulatory noise limits.

Keywords: sound level, acoustical barrier, muffler, noise map, acoustical characteristics, efficiency, chiller, dry cooler

Введение

Для жилых, общественных и промышленных зданий из соображений экономии финансов характерно практически повсеместное применение естественной вентиляции. В последние десятилетия картина начала меняться по ряду причин, в том числе, в связи с вступлением в силу законов о тепловой защите зданий, резкими перепадами температур, связанными с изменением климата и пр. Предпочтение отдаётся принудительной системе вентиляции, а также искусственной регуляции отопления и охлаждения воздуха в вентиляционных системах, обслуживающих помещения жилых, общественных и промышленных зданий [1]-[3]. Применение искусственной вентиляции и регуляции температуры воздуха подразумевает применение специального оборудования, «оборотной стороной медали» применения которого является повышенный шум, излучаемый в окружающую среду. Для снижения шума данного оборудования предлагается применение пластинчатых глушителей и акустических экранов.

1 Особенности шумообразования холодильных машин

К наиболее часто используемому оборудованию систем вентиляции и кондиционирования относятся:

- вентиляторы различных типов (радиальные, осевые и пр.), нагнетающие или вытяжные;
- холодильные машины, например, чиллеры и драйкулеры - два популярных устройства, используемых для охлаждения жидкостей в промышленных и коммерческих системах.

Как правило, основной «шумной» проблемой для эксплуатационных служб становятся холодильные машины, излучающие шум в диапазоне от 60 до 120 дБА в зависимости от конструктивного исполнения и загруженности системы в различные времена года. На рисунках 1 и 2 представлены примеры результатов замеров шума вблизи оборудования на кровле торгово-развлекательного центра (ТРЦ) и результаты замеров шума у оборудования на земле на территории жилой застройки, расположенной вблизи ТРЦ.

Проблема заключается в следующем: для работы холодильных машин требуется большое количество свежего воздуха, в связи с чем их устанавливают на открытых площадках, как правило, на парковках или на кровле торговых и бизнес-центров, располагаемых в жилой зоне, после запуска систем, особенно в ночное время, жители близлежащих домов непременно начинают жаловаться на повышенный шум, что в свою очередь грозит приостановкой деятельности установок. В большинстве случаев осознание проблемы приходит не на стадии проектных работ, а на стадии эксплуатации.

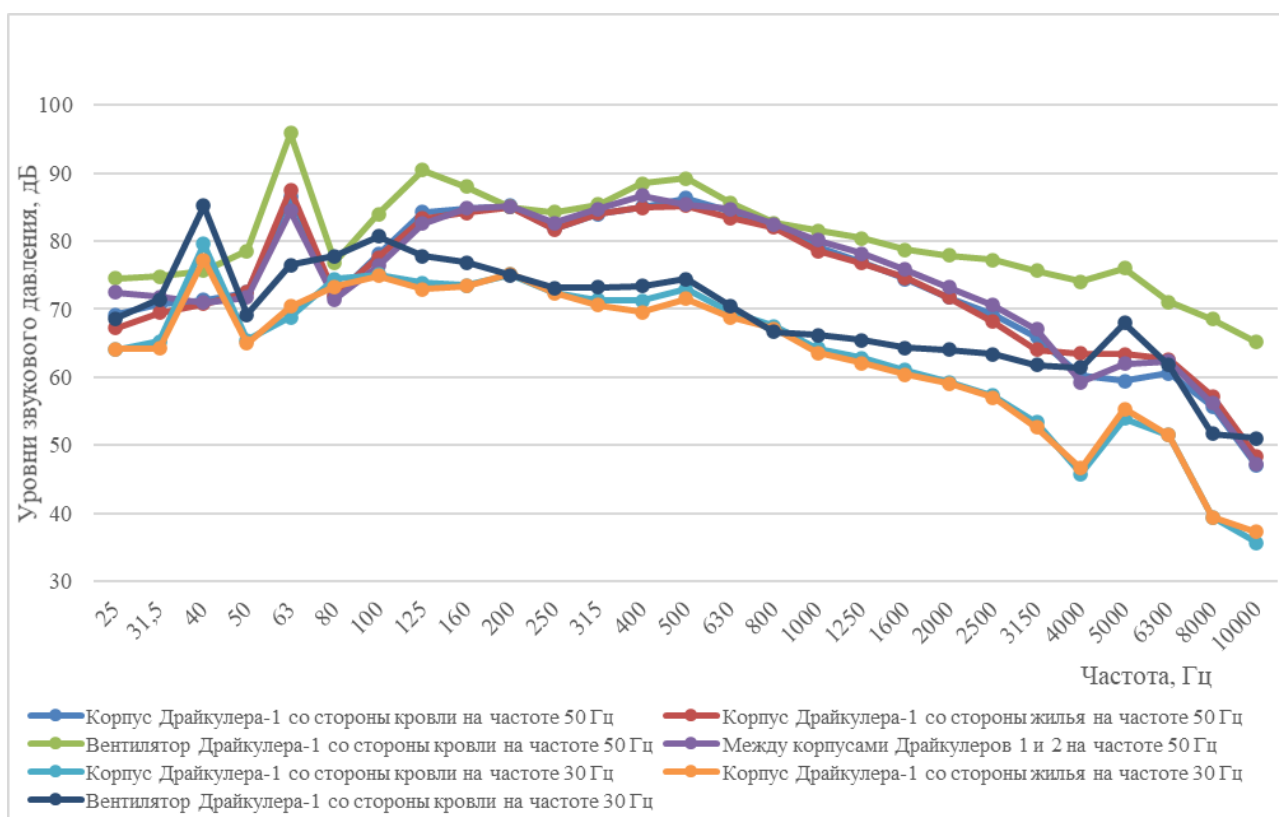


Рисунок 1 – Результаты замеров шума вблизи драйкулеров на крыше ТРЦ, 1/3 октавные УЗД

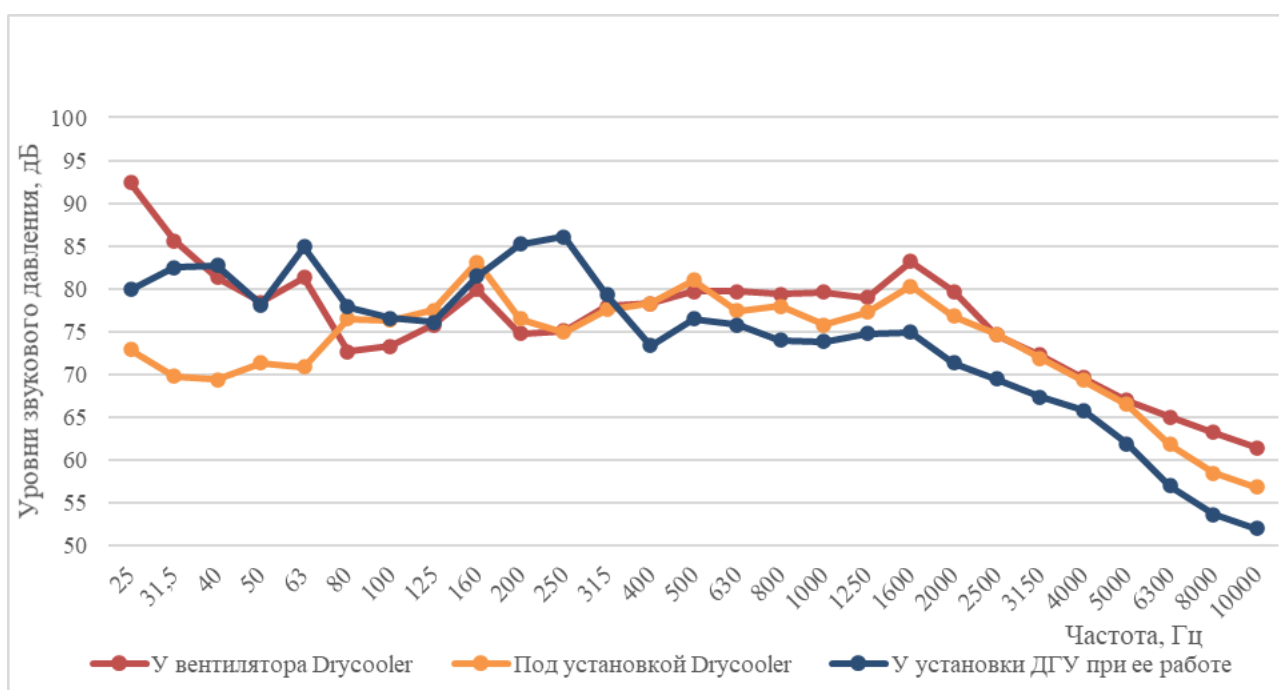


Рисунок 2 – Результаты замеров шума у оборудования на земле в жилом секторе (драйкулер для системы жилого дома, резервная дизельно-генераторная установка (ДГУ), 1/3 октавные УЗД)

На рисунке 1 представлено два режима работы драйкулеров на частотах 30 Гц и 50 Гц. Данные частоты характерны для различных режимов работы оборудования,

связанной со скоростью вращения вентиляторов и мощностью работы оборудования. Чем выше частота вращения вентиляторов, тем выше генерация шумового излучения.

На рисунках 3 и 4 представлены примеры «неверной», с точки зрения шумового воздействия на нормируемые объекты, установки систем вентиляции и кондиционирования.



Рисунок 3 – Драйкулеры на кровле ТРЦ в жилом квартале с видом на жилую многоэтажную застройку (фото с балкона соседнего дома)



Рисунок 4 – Драйкулер и ДГУ в приемке на территории жилого сектора с многоэтажной застройкой

При анализе работы холодильных машин, как источников шума, стоит выделить некоторые принципиальные различия конструкции и принципов работы, влияющих на шумообразование чиллеров и драйкулеров:

Чиллер:

- принцип работы: использует хладагент и жидкостную циркуляцию для отвода тепла. Работает по принципу компрессионного цикла. Может быть, как с водяным конденсатором (с градирней), так и с воздушным (с вентиляторами);
- конструкция: имеет более сложную систему оборудования и включает в себя компрессор, конденсатор, испаритель, расширительный клапан и насос для циркуляции хладагента. Может быть автономным или частью крупной системы охлаждения;
- область применения: чаще всего используют в системах кондиционирования, промышленных процессах, серверных центрах, где требуется точное управление температурой. Эффективен при высоких тепловых нагрузках;

– эффективность и энергопотребление: более эффективен при высоких температурах окружающей среды, но потребляет больше энергии из-за работы компрессора. Водяные чиллеры экономичнее в жарком климате. Чиллеры обычно используются, когда необходимо снизить температуру жидкости ниже $+15^{\circ}\text{C}$ в жаркое летнее время.

Драйкулер:

– принцип работы: предназначен только для воздушного охлаждения без компрессора. Циркуляция жидкости происходит через теплообменник, который охлаждается потоком воздуха от вентиляторов. Не содержит хладагента и не обеспечивает активное охлаждение, только передачу тепла в окружающую среду;

– конструкция: имеет относительно простую конструкцию, которая базируется на радиаторе (теплообменнике) и вентиляторах. Жидкость циркулирует по трубам, охлаждаясь за счёт обдува воздухом;

– область применения: применяют в системах, где важно минимизировать потребление воды (например, в регионах с дефицитом ресурсов), либо в техпроцессах, которые не требуют глубокого охлаждения. Также драйкулеры используются как дополнение к чиллерам для организации фрикулинга и энергоэффективной системы охлаждения;

– эффективность и энергопотребление: зависит от температуры окружающего воздуха: эффективен, когда температура окружающей среды ниже, чем у охлаждаемой жидкости. Менее энергозатратен, но не подходит для экстремального охлаждения. Драйкулер или «сухая градирня» используется, когда жидкость необходимо охладить до температуры окружающей среды $+5^{\circ}\text{C}$, летом, обычно это до $+35^{\circ}\text{C}$ - $+40^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, рассмотренные холодильные машины представляют собой не единый точечный источник шума, а совокупность источников шума с различными показателями направленности (рисунок 5):

- компрессор, радиатор, насос излучающие шум условно «вбок»;
- вентиляторы для отвода тепла, излучающие шум условно «вверх».

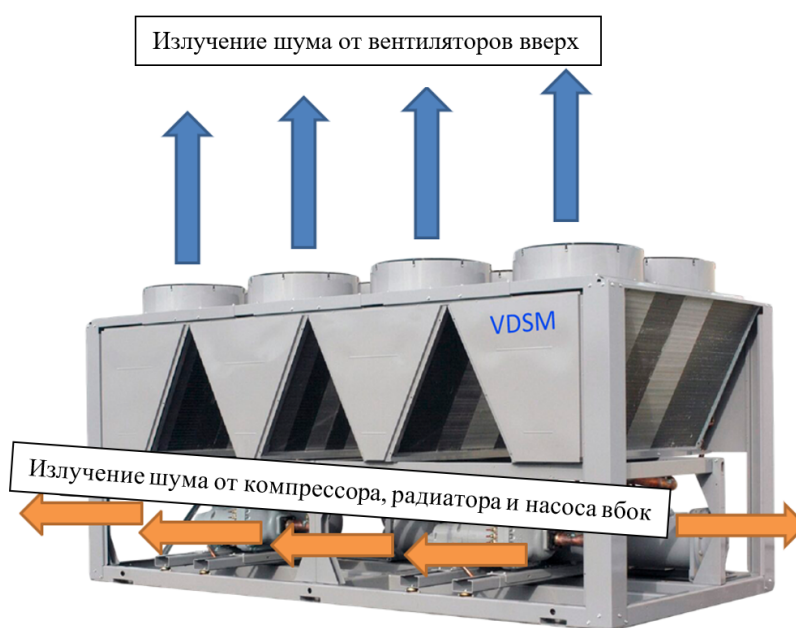


Рисунок 5 – Направленность шумового воздействия источников шума чиллера

2 Мероприятия по снижению шума холодильных машин

Наиболее распространенными способами борьбы с повышенным шумом холодильных машин на сегодняшний день являются следующие мероприятия:

- использование вибрационных изоляторов (виброопор) при монтаже оборудования;
- регулирование скорости вращения вентиляторов;
- звукоизоляционная облицовка подводящих трубопроводов и корпусов холодильных машин;
- устройство шумозащитных экранов вокруг холодильных машин.

На практике, как правило, ограничиваются установкой виброизоляторов, реже теплоизоляцией трубопроводов (она же играет и роль звукоизоляции), представлена на рисунке 6, ещё реже устройством шумозащитных экранов (рисунок 7), достаточно часто встречаются объекты без применения какой-либо шумозащиты (рисунок 8).



Рисунок 6 – Монтаж оборудования на виброопоры и тепло(звuko) изоляцией трубопроводов



Рисунок 7 – Устройство экранов вокруг чиллеров



Рисунок 8 – Устройство внешних блоков холодильных машин без шумозащитных мероприятий

На основании проведенных экспериментальных исследований и анализа результатов проектных работ сделан вывод о недостаточности в некоторых случаях вышеприведённого списка мероприятий.

Основными проблемами при выполнении акустических расчётов и разработке шумозащитных мероприятий являются:

- отсутствие полноценных исходных данных об акустических характеристиках оборудования, что затрудняет задание корректной расчётной модели (например, в паспорте на оборудование могут быть даны акустические характеристики компрессора, но не быть данных об уровнях шума от вентиляторов, или приведена единая цифра уровня шума от холодильной машины на определённом расстоянии без учёта взаимного расположения различных внутренних источников шума);
- моделирование холодильной машины при расчёте без учёта всех внутренних источников, их факторов направленности и взаимного расположения всех источников шума и защищаемых объектов (рисунок 9).

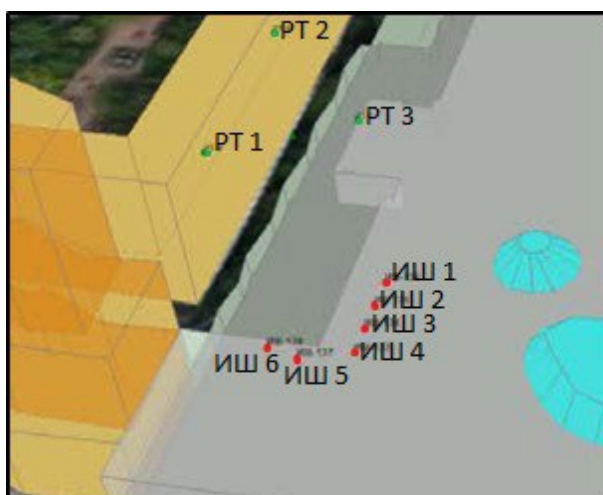


Рисунок 9 – Визуализация подхода укрупненного моделирования источников шума по ограниченным паспортным данным

В качестве примера корректного моделирования холодильной машины при расчёте с учётом всех внутренних источников, их факторов направленности и взаимного расположения всех источников шума и защищаемых объектов представлено на рисунке 10.

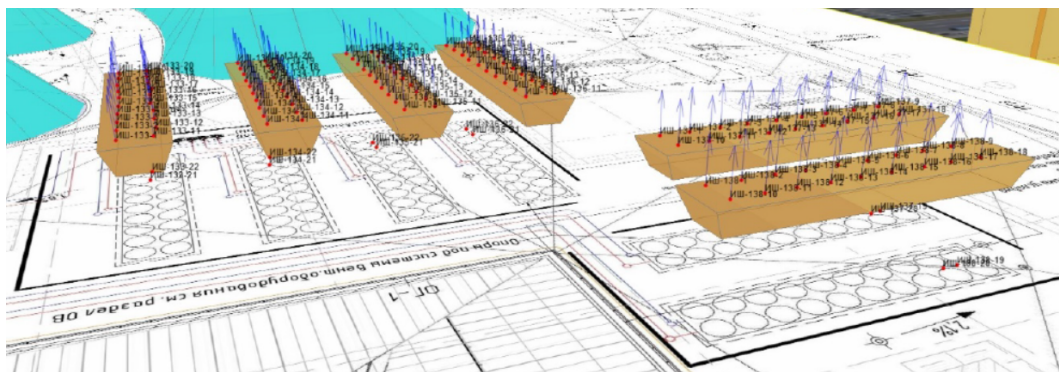


Рисунок 10 – Визуализация подхода моделирования источников шума по результатам обследования и замеров уровней шума от всех внутренних источников

Упрощённые модели используют, в основном, для вновь строящихся объектов, когда источники моделируются укрупненно, что приводит к упрощению модели и потере ее точности. Другими словами, отсутствие исходных данных и ограничение во времени на этапе проектирования негативно сказывается на результате и приводит к переделкам и доработкам на последующих стадиях. Для решения данных проблем требуется детализация модели на начальной стадии. Пример детального моделирования источников шума и прилегающей застройки в программном комплексе «АРМ Акустика» с рассчитанными картами шума до и после введения шумозащитных мероприятий представлен на рисунках 11 и 12.

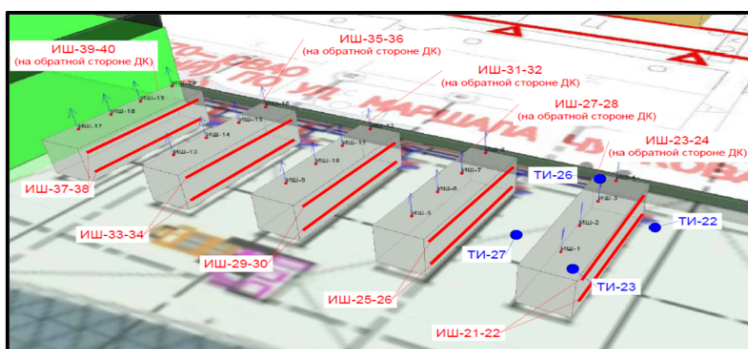
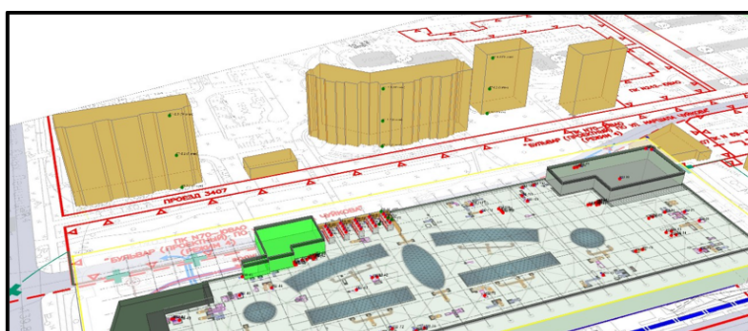


Рисунок 11 – Акустическая модель и изображение драйкулеров на кровле ТРЦ в жилой застройке 9-16 этажными зданиями

Опыт проектирования и реализации шумозащиты для холодильных машин показывает, что у используемого в настоящее время оборудования уровни шума внутренних источников сопоставимы, а в некоторых случаях (особенно это касается драйкулеров) совокупный шум от вентиляторов превалирует над остальными

источниками. При этом вентиляторы в силу конструктивных особенностей холодильных машин излучают шум вверх, в таком случае устройство шумозащитных экранов вокруг оборудования для защиты жилых помещений, находящихся выше верхнего среза экрана, становится недостаточным. Как правило, такая ситуация характерна для больших городов с многоэтажной застройкой, когда даже при установке оборудования на кровле ТРЦ (на уровне 3-5 этажей) проблемные зоны не исчезают, поскольку высота соседних домов может составлять 9 и более этажей.

Наиболее распространенным средством защиты от шума холодильного оборудования являются акустические экраны, широко применяемые для снижения шума в окружающей среде [4]-[9].

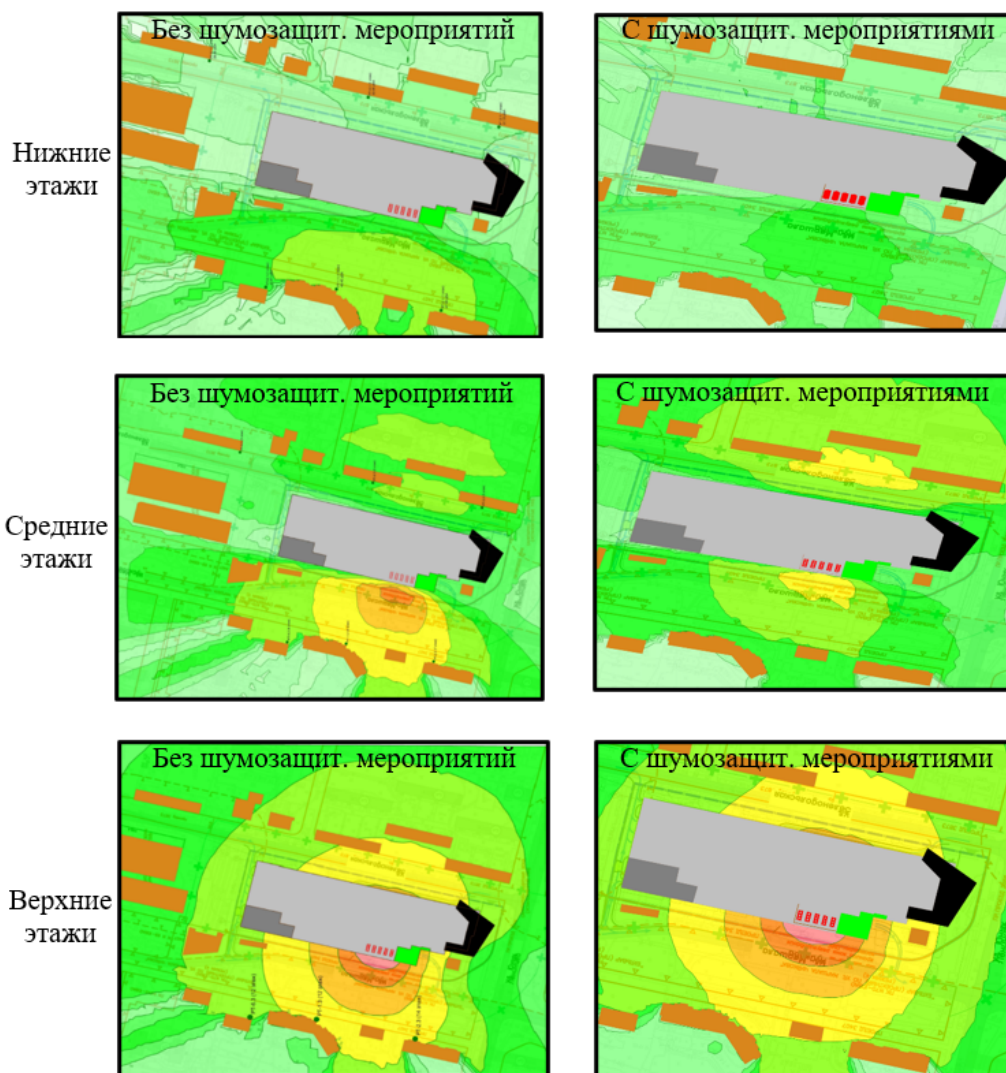


Рисунок 12 – Карты шума от драйкулеров без шумозащитных мероприятий и с шумозащитными мероприятиями в разрезе нижних, средних и верхних этажей многоэтажного жилого дома

3 Применение шумозащитных экранов и пластинчатых глушителей

Для более эффективной защиты от шума во всех направлениях логичным выглядит заключение холодильных машин в кожух, в котором организованы вентиляционные проёмы с некоторой долей звукоизоляции, например, с использованием шумопоглощающих решёток или контр-экранов. Однако подобный опыт показал,

что для достаточной циркуляции воздуха необходимы большие вентиляционные проёмы, снижающие акустическую пользу кожуха до пользы экрана при совокупном увеличении стоимости конструкции и её обслуживания.

При установке кожуха закрываются не только источники шума, но и радиаторы, за счёт чего не происходит нужный теплообмен нагретой в системе жидкости с окружающей средой, практически всё выделенное тепло остаётся внутри кожуха, а система охлаждения даёт сбой и уходит в аварийный режим.

Анализ применения кожухов показал, что радиаторы машины должны быть всегда открытыми, а шумозащитные конструкции локализованы в районе вентиляторов.

Достаточно эффективным шумозащитным комплексом для холодильных установок явилась система «экран+пластинчатый глушитель», где для защиты от шума радиаторов драйкулеров применялся экран, отстоящий от оборудования на расстоянии не превышающее 1 метра (рисунок 13), достаточном для теплообмена, а для защиты от шума вентиляторов применялась надстройка в виде пластинчатого глушителя шума (рисунок 14).



Рисунок 13 – Экран для драйкулеров

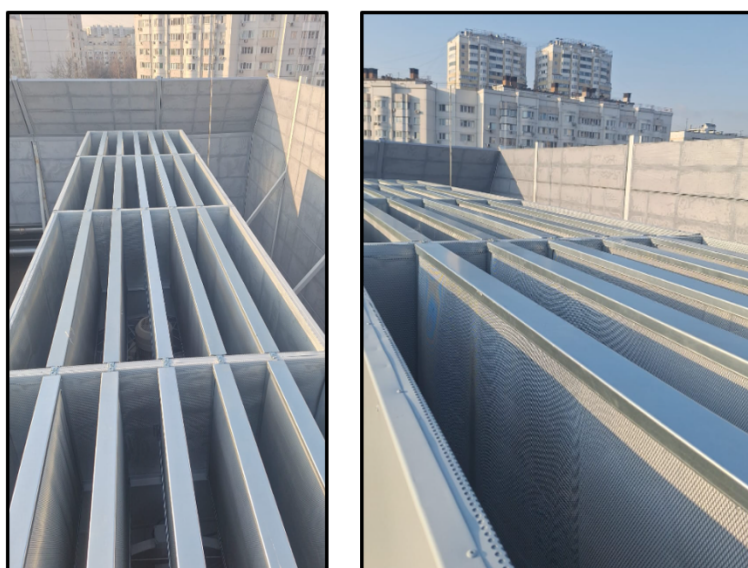


Рисунок 14 – Экран и пластинчатые глушители для драйкулеров

Расчёт эффективности шумозащитного экрана проводился классическим способом [10], а теоретическая эффективность глушителей и подбор их конструкции проводились по формуле расчёта эффективности абсорбционного глушителя в зависимости от площади облицовки шумопоглощающим материалом и площади открытых проёмов. Рассчитанная

эффективность глушителя вводилась в программу, также задавалась направленность источников шума (рисунок 15).

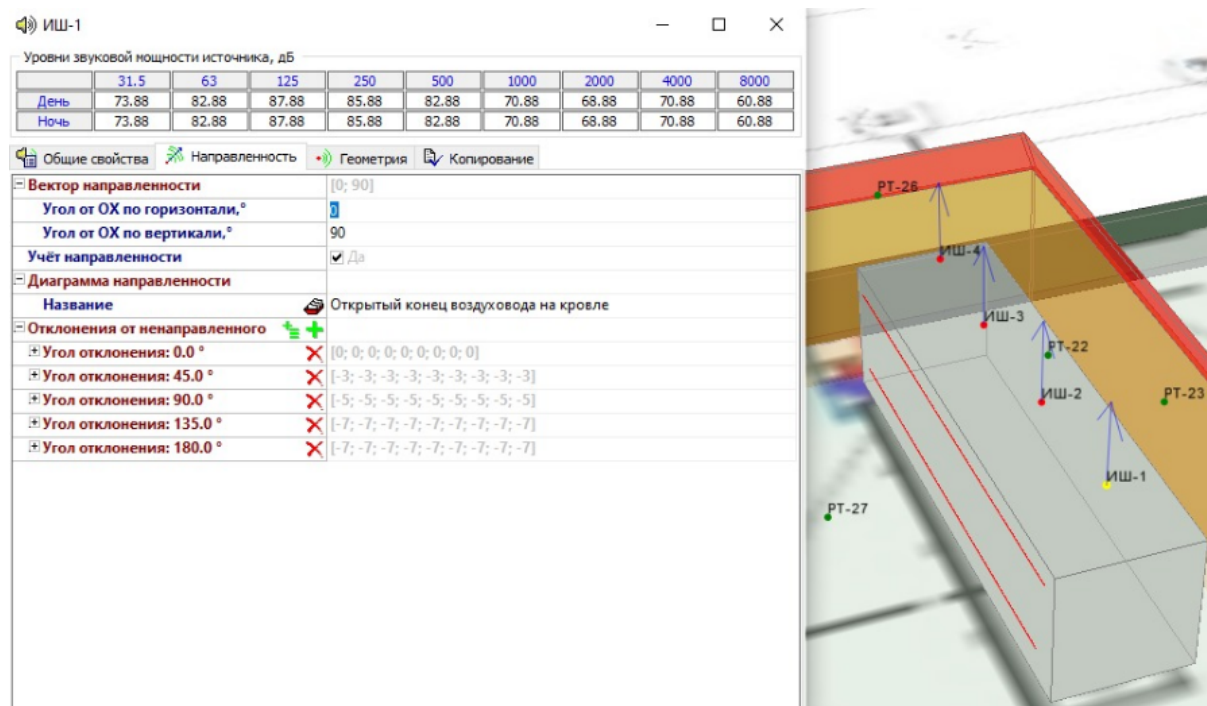


Рисунок 15 – Принцип расчёта эффективности глушителя и его моделирование в программе (ИШ-1, ИШ-2, ИШ-3, ИШ-4 – вентиляторы драйкулера на кровле ТРЦ, РТ-22, РТ-23, РТ-26, РТ-27 – расчетные точки, принятые для анализа сходимости модели, разработанной в программном комплексе АРМ_Акустика)

Теоретическая эффективность глушителя была проверена в натурных условиях после установки первого опытного образца, замеры шума в районе вентиляторов до и после установки глушителя подтвердили корректность рассчитанной эффективности глушителя. На основании полученных опытных данных был реализован полный комплекс шумозащитных мероприятий.

Контрольные замеры шума проводились в три этапа:

- замеры шума в контрольных точках у жилой застройки до реализации всех мероприятий;
- замеры шума в контрольных точках у жилой застройки после реализации шумозащитных экранов (АЭ) до установки глушителей;
- замеры шума в контрольных точках у жилой застройки после реализации акустических экранов (АЭ) и глушителей (Гл).

Результаты расчётов и поэтапного внедрения шумозащитных конструкций (в период с 2024 по 2025 годы) для драйкулеров (ДК) при работе на двух режимах (50 Гц и 30 Гц) по этапам реализации в сравнении с допустимыми уровнями (ДУ) шума показаны в таблице 1.

Результаты измерений эффективности мероприятий по снижению шума драйкулеров меньших размеров, установленных на земле, до и после установки шумозащитных мероприятий, представлены в таблице 2. Следует отметить, что на источнике меньших размеров удалось измерить уровни шума в ближнем поле у радиаторов (шум «вбок») и вентиляторов (шум «вверх»), несмотря на небольшое расстояние между точками замеров до и после реализации глушителя отмечена

заметная эффективность – шум возле радиатора практически не изменился, а шум над вентиляторами уменьшился на 9 дБА (таблица 2). На рисунке 16 представлена фотофиксация испытываемого объекта.

Таблица 1 – Результаты расчёта и поэтапного внедрения комплекса шумозащитных мероприятий

№ точки		ДУ	УЗ (3 кв. 2024), дБА			УЗ (расчет), дБА		УЗ (4 кв. 2024), дБА		УЗ (2 кв. 2025), дБА	
			Фон	ДК (30 Гц) +фон	ДК (50 Гц) +фон	ДК (30 Гц) +фон с АЭ и Гл	ДК (50 Гц) +фон с АЭ и Гл	ДК (30 Гц) +фон с АЭ	ДК (50 Гц) +фон с АЭ	ДК (30 Гц) +фон с АЭ и Гл	ДК (50 Гц) +фон с АЭ и Гл
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	День	55	52,0	53,7	60,8	52,2	53,0	50,8	54,7	51,0	53,0
	Ночь	45	49,6	52,1	60,6	49,7	51,0	47,8	55,0	49,4	51,2
2	День	55	52,0	52,3*	52,6*	52,2*	52,3*	-	-	54,8*	54,5*
	Ночь	45	49,6	49,7*	50,4*	49,6*	50,0*	-	-	48,4*	50,0*
	- без превышения ДУ и фона				- превышение ДУ без превышения фона				- превышение ДУ и фона		

Таблица 2 – Результаты расчёта и внедрения комплекса шумозащитных мероприятий

№ точки измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Под драйкулером до установки глушителя	76	78	85	82	84	82	83	75	65	88
Под драйкулером после установки глушителя	81	81	84	86	88	84	84	76	66	89
Над драйкулером до установки глушителя	101	87	86	83	84	84	85	75	68	89
Над драйкулером после установки глушителя	79	79	81	80	79	74	75	66	56	80



Рисунок 16 – Фотография испытываемого объекта

Отметим основные ограничения применения пластинчатых глушителей шума для холодильных машин:

- наличие противодавления в глушителе: производительность вентиляторов, согласно проведённому численному моделированию, может падать от 10 до 50% в зависимости от модели применяемого вентилятора, однако небольшая высота глушителя позволяет достаточно эффективно отводить тепло даже при таком падении производительности, а в некоторых паспортах на драйкулеры производители даже рекомендуют устанавливать патрубки на глушители для предотвращения смешения холодного воздуха снизу и горячего воздуха сверху;

- гарантийные обязательства поставщиков холодильного оборудования: установка глушителей подразумевает минимальный акустический просвет между глушителем и его основанием (корпусом машины), т.е. фактически установка глушителя производится на корпус ХМ, при этом согласование установки глушителя на корпус может длиться долго или не произойти совсем. В таком случае можно дожидаться окончания гарантийных обязательств поставщика или выполнить определённые проектные решения, например, устроить дополнительную опорную раму над оборудованием, на которую можно опереть глушитель.

Заключение

Представлены результаты этапов снижения шума драйкулеров и чиллеров, а также возможности повышения эффективности глушителя без увеличения габаритных размеров и ухудшения условий эксплуатации оборудования.

Применяемая на данный момент для расчёта и подбора конструкции формула для расчета эффективности глушителя неизбежно ведёт к увеличению его размеров, однако проведенные авторами эксперименты показали, что увеличить эффективность возможно за счёт нестандартной расстановки шумопоглощающих панелей внутри глушителя (рисунок 17), а область применения подобных глушителей в различных их вариациях достаточно обширна.

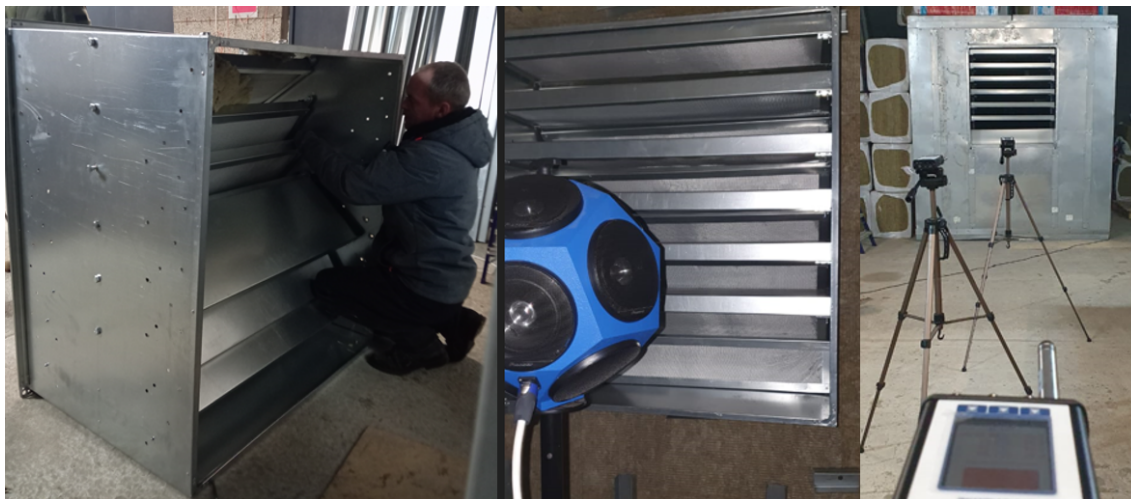


Рисунок 17 – Испытания шумозащитных решёток производства ООО «Мастерская производственной шумозащиты»

Список использованных источников

1. Ильин А.А., Клименко Е.В. Способы обеспечения комфортных условий микроклимата // «Сантехника, отопление, кондиционирование» – 2008. – N 70. – С. 89-99;
2. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Санитарные правила и нормы: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.21 № 2: введены в действие 01.03.21. – Текст: электронный. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/516587187>;
3. Тупов В.Б. Снижение шума от объектов большой и малой энергетики // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 года под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Айсинг", 2015. – С. 55-64;
4. Иванов Н.И., Семенов Н.Г., Тюрина Н.В. Расчет и конструирование акустических экранов для снижения шума в жилой застройке // Жилищное строительство. – 2013. – № 6. – С. 10-12.
5. Тюрина, Н.В. Расчет и проектирование акустических экранов для снижения шума стационарных источников шума // Сборник трудов конференции 13го международного конгресса по звуку и вибрации 2006, ICSV 2006, Вена, 02–06 июля 2006 года. Том 2.– С. 1615-1618.
6. Тюрина Н.В., Минина Н.Н., Шашурин А.Е., Гогуадзе М.Г. Экспериментальные исследования шумозащитных экранов // Сборник трудов 26го международного конгресса по звуку и вибрации, ICSV 2019, Монреаль, 07-11 июля 2019. – Канадская Акустическая Ассоциация. 2019.
7. Тюрина Н.В., Иванов Н.И., Шашурин А.Е., Борцова С.С. Исследование параметров, влияющих на эффективность шумозащитных экранов // Сборник трудов 27го Ежегодного Конгресса Международного Института Акустики и Вибрации, 11-16 июля 2021. – 5р.

8. Шашурин А.Е. Определение эффективной высоты и акустических характеристик шумозащитного экрана // Noise Theory and Practice. – № 4(2). – 2018. – С. 5-10.
9. Мусаева Р.Н., Комкин А.И. Акустическая эффективность экрана с цилиндрической насадкой на верхней кромке // Noise Theory and Practice. № 4(10). -2024; С. 1-88.
10. Буторина, М. В. Основы виброакустики. Теория и практика борьбы с шумом и вибрацией : учебник : в 2 т. / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин. СПб. : Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2024. Т. 1. 391 с. Т. 2. 380 с.

References

1. Ilyin A.A., Klimenko E.V. Methods of Providing Comfortable Microclimate Conditions// Plumbing, heating, air conditioning. – 2008. – N 70. – Pp. 89-99;
2. SanPiN 1.2.3685-21. Sanitary and epidemiological rules and regulations. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of human habitat factors. Sanitary rules and regulations: approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 28.01.21 No. 2: put into effect on 01.03.21. – Text: electronic. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/516587187>;
3. Tupov V.B. Reducing Noise from Large and Small Power Plants // Protection from High Noise and Vibration: Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, March 18–20, 2015, edited by N.I. Ivanov. – St. Petersburg: Aising LLC, 2015. – P. 55-64;
4. Ivanov N.I., Semenov N.G., Tyurina N.V. Prediction and design of acoustical barriers for community noise reduction // Housing construction.– 2013. – № 6. – p. 10-12.
5. Tyurina, N. V. Prediction and design of noise barriers for stationary noise sources / N. V. Tyurina // 13th International Congress on Sound and Vibration 2006, ICSV 2006, Vienna, 02–06 июля 2006 года. Vol. 2. – Vienna, 2006. – P. 1615-1618. – EDN RLZRXL.
6. Tyurina N. V., Minina N. N., Shashurin A. E., Gogvadze M. G. Experimental study of noise barriers // Proceedings of the 26th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2019, Montreal, QC, July 07-11, 2019. – Montreal, QC: Canadian Acoustical Association, 2019.
7. Tyurina N.V., Ivanov N.I., Shashurin A.E., Bortsova S.S. Investigation of parameters influencing noise barrier efficiency// Proceedings of the 27th Annual Congress of International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV), 11-16 July 2021. – 5p.
8. Shashurin A.E. Determination of Noise Barrier Effective Height and Acoustical Characteristics// Noise Theory and Practice. – № 4(2). – 2018. – p. 5-10.
9. Мусаева Р.Н., Комкин А.И. Acoustic Efficiency of the Screen with a Cylindrical Cap on the Upper Edge// Noise Theory and Practice. № 4(10). -2024; p. 1-88.
10. Butorina, M.V. Fundamentals of Vibroacoustics. Theory and Practice of Noise and Vibration Control: Textbook: in 2 volumes. / M.V. Butorina, N.I. Ivanov, A.E.Shashurin. SPb.: BSTU «VOENMEH» named after D.F,Ustinov. 2024. v. 1. 391p. V. 2. 380p.