

УДК 697.9

Реверсивная струйная вентиляция и рекуперация как новое энергоэффективное проектное решение для крупных многоуровневых автостоянок

Свердлов А.В. alexander.sverdlov@flaktwoods.com

Канд. техн. наук **Волков А.П.** alex78477@ya.ru

Air Comfort & Fire Safety Europe

117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23

Канд. техн. наук **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Волков М.А. alex78477@ya.ru

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4

В отопительный период нагрев воздуха в жилых и общественных зданиях, промышленных сооружениях составляет не менее 25–55 % от расходуемого тепла [1, 2]. Мероприятия по снижению энергозатрат за счет утилизации тепла, выбрасываемого в окружающую среду с потоком вытяжного воздуха, привели к развитию различного типа рекуператоров [2], что стало целым направлением в создании вентиляционных агрегатов, оснащенных такими устройствами. Другим, альтернативным способом энергосбережения стало применение рециркуляции в системах вентиляции, позволяющей вторично использовать уже нагретый до необходимой температуры воздух из вытяжного воздуховода, смешивая его с приточным воздухом. Обязательным условием при использовании рециркуляции стало превышение фактического расхода приточного воздуха над расчетным значением обусловленным необходимостью снижения концентрации вредных веществ в воздухе помещения до приемлемого уровня (ПДК).

Ключевые слова: системы вентиляции, подземные транспортные сооружения, автостоянки, окись углерода, выбросы от транспортного средства, дымоудаление.

doi: 10.17586/2310-1148-2016-9-9-16

Reverse jet ventilation and heat recovery energy efficient as a new design solution for large multi-level parking lots

Sverdlov A.V. alexander.sverdlov@flaktwoods.com

Ph.D. Volkov A.P. alex78477@ya.ru

Air Comfort & Fire Safety Europe

117418, Russia, Moscow, Profsoyuznaya St., 23

Ph.D. Rykov S.V. togg1@yandex.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Kronverksky Avenue, 49

Volkov M.A. alex78477@ya.ru

Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers

198095, Russia, St. Petersburg, Ivan Chernykh St., 4

During the heating period the heating of the air in residential and public buildings, industrial plants is at least 25–55 % of the consumed heat [1, 2]. Measures to reduce energy consumption by utilizing heat emitted into the environment with the exhaust air have led to the development of various type of heat exchangers [2], which became a trend in the creation of ventilation units, equipped with such devices. Another, alternative way to save energy was the use of recirculation in ventilation systems that allow re-use already heated to the desired temperature air from the exhaust duct, mixing it with the supply air.

A prerequisite for the use of recycling exceeded the actual supply airflow to the calculated value due to the need to reduce the concentration of harmful substances in the air of the room to an acceptable level.

Keywords: ventilation systems, underground transport facilities, parking, carbon monoxide, emissions from the vehicle, smoke removal.

Подземные и крытые автостоянки в течении достаточно долгого времени оставались объектом, где вопросами энергосбережения по средствам применения рециркуляции и рекуперации не занимались.

Во-первых, новые технологические решения в части вентиляции автостоянок закрытого типа разрабатывались в основном в странах западной Европы, где климатические условия существенно мягче Российских. Например, одна из первых автостоянок с укрупненными до 5000 м² пожарными отсеками была построена в Португалии.

Во-вторых, температурно-влажностный режим в помещении автостоянки с коротким пребыванием человека допускал, по европейским нормам, использование не обогреваемого помещения.

Важной особенностью современных подземных и крытых автостоянок стал отказ от традиционных канальных систем вентиляции и переход к продольным струйным системам вентиляции и дымоудаления, позволяющим уменьшить риски нахождения человека в замкнутом пространстве с высокими концентрациями выхлопных газов и высокими пожарными нагрузками [3]. Струйные вентиляционные системы подземных автостоянок стали типовым техническим решением в Германии и всех странах ЕС.

Рассмотрим пример. Система вентиляции производственного помещения, совмещенная с воздушным отоплением, рассчитана в соответствии со СП60.13330.2012. Площадь помещения $S = 150 \text{ м}^2$; высота потолка $H = 3 \text{ м}$; норма приточного воздуха для рабочего 80 м³/час, для ИТР 20 м³/час. В помещении работают 15 рабочих и 3 ИТР.

Воздухообмен: $V_{пр} = 15 \times 80 + 3 \times 20 = 1260 \text{ м}^3/\text{час}$;

Воздушное отопление при кратности циркуляции равной 5 $V_{от} = 150 \times 3 \times 5 = 2250 \text{ м}^3/\text{час}$;

Рециркуляция: $2250 - 1260 = 990 \text{ м}^3/\text{час}$.

На рис. 1 представлена обобщенная схема вентиляционной установки, имеющей возможность работы с рециркуляцией и рекуперацией.

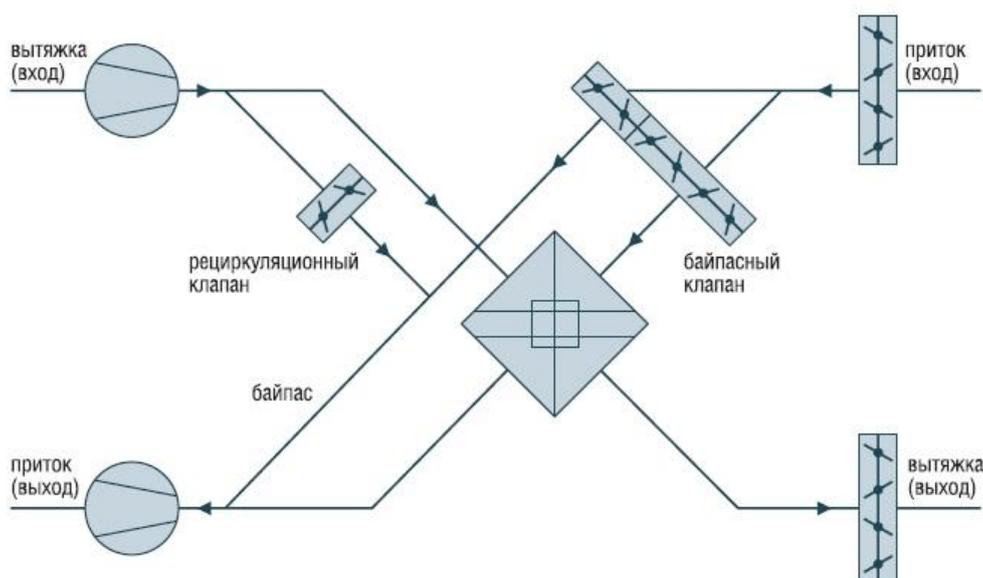


Рис. 1. Схема вентиляционной установки с пластинчатым теплообменником в качестве рекуператора и линией рециркуляции

На рис. 2 представлен общий вид автостоянки, оснащенной струйными вентиляторами.



Рис. 2. Струйные вентиляторы, установленные на потолочном перекрытии подземной автостоянки

Одним из важных достоинств таких систем является их высокая энергоэффективность. По сравнению с традиционными канальными системами удельные затраты электроэнергии снижаются на 10 – 15 % [4]. Улучшается экология и условия пребывания человека на автостоянке [5–7].

Наиболее остро вопросы энергосбережения стоят применительно к большим, многоярусным подземным стоянкам, где применяются реверсивные струйные вентиляционные системы [8]. На таких автостоянках площади пожарных отсеков могут достигать 5000–10000 м². Удельный расход воздуха на автостоянках общественных зданий (торговых и бизнес центров) может приниматься в соответствии с [9] равным 12 м³/м²час.

В соответствии с СП 113.13330.2012 в отапливаемых автостоянках автомобилей расчетную температуру воздуха следует принимать не менее 5 °С, в постах мойки технического осмотра (ТО) и технического ремонта (ТР) 18 °С. Будем считать что система воздушного отопления на максимальной нагрузке должна обеспечить температуру воздуха в автостоянке не менее 10 °С.

Выбирая расчетное значение площади пожарного отсека, оснащенного самостоятельной системой вентиляции, следует учитывать, что при использовании реверсивной струйной вентиляции допускается увеличение площади такого отсека до 10000 м² при автоматической (спринклерной) системе пожаротушения и до 5000 м² при ее отсутствии [8].

На рис. 3 представлена зависимость мощности воздухоподогревателя при различных температурах наружного воздуха.

Таким образом, в условиях России для современных автостоянок площадью 5000–10000 м² максимальная мощность воздухоподогревателей может составить 0,5–1,5 МВт. Очевидно, что проект системы вентиляции такой автостоянки без рекуперации теплоты, выбрасываемой в атмосферу, будет не конкурентоспособен.

После принятия федерального закона 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» [10] заказчики и инвесторы проектов автостоянок стали обращаться с запросами о разработке мероприятий по энергосбережению в их системах вентиляции таких объектов.

Построение системы вентиляции в соответствии со схемой, представленной на рис. 1, применительно к автостоянке, оборудованной струйной системой вентиляции невозможно по целому ряду причин.

В соответствии с СП60.13330.2012 в подземных и крытых автостоянках запрещена рециркуляция воздуха, поэтому возрастает значение рекуперации. Применение наиболее распространенных способов

рекуперации – роторного или пластинчатого теплообменников – так же затруднен. Роторный теплообменник не гарантирует отсутствие перетечек загрязненного воздуха из вытяжного канала в приточный, что недопустимо при наличии токсичных веществ от выхлопа автомобилей в отработанном воздухе.

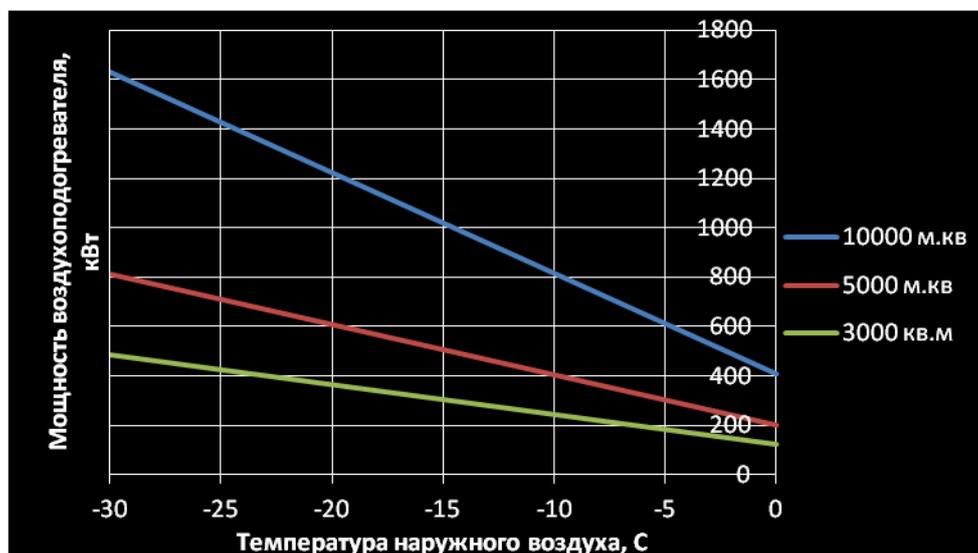


Рис. 3. График зависимости мощности воздухоподогревателя, предназначенного для воздушного отопления помещения автостоянки 10000, 5000 и 3000 м² при различных температурах наружного воздуха (параметры воздухообмена – 12 м³/м²час, температура воздуха в помещении 10 °С)

Пластинчатый теплообменник мог бы обеспечить рекуперацию в вентиляционной системе, однако необходимость транспортировки воздушных потоков к месту его установки становится существенной проблемой в случае использования струйной вентиляционной системы. Рассмотрим общий вид автостоянки площадью около 10000 м², представленной на рис. 4.

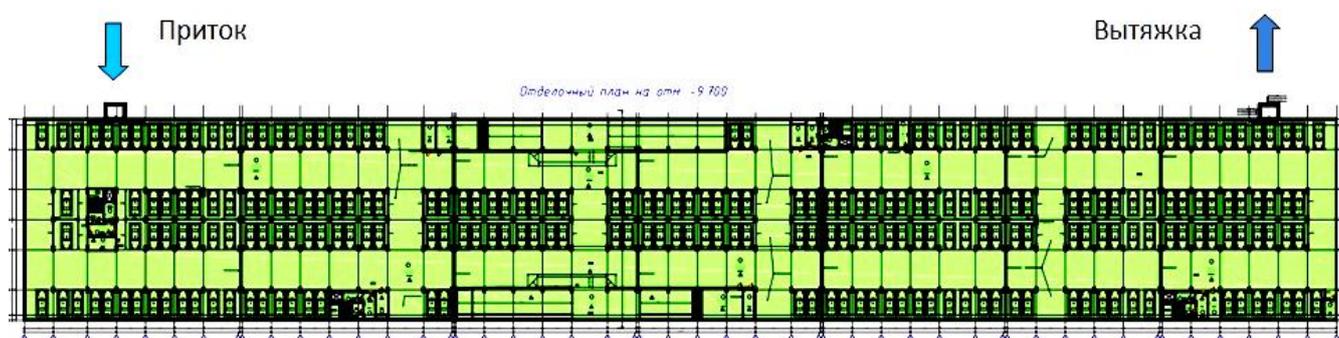


Рис. 4. Схема расположения вентиляционных шахт приточной и вытяжной вентиляции в помещении автостоянки 10000 м²

Расстояние между шахтами приточной и вытяжной вентиляции (рис. 4) около 200 м. Поток воздуха между притоком и вытяжкой создается при помощи системы струйных вентиляторов, вентиляционные воздуховоды в помещении автостоянки отсутствуют. Прокладка дополнительных воздуховодов для транспортировки воздушных потоков усложнит систему вентиляции и потребует дополнительных затрат.

В этом случае наиболее целесообразно использование децентрализованной системы рекуперации, имеющей в своем составе промежуточный водяной (гликолевый) контур. В этом случае перенос теплоты между потоками вытяжного и приточного воздуха осуществляется путем перекачки жидкого теплоносителя между теплообменниками, установленными в приточном и вытяжном вентиляционными каналами [2, 11]. Схема такой установки представлена на рис. 6 [11].

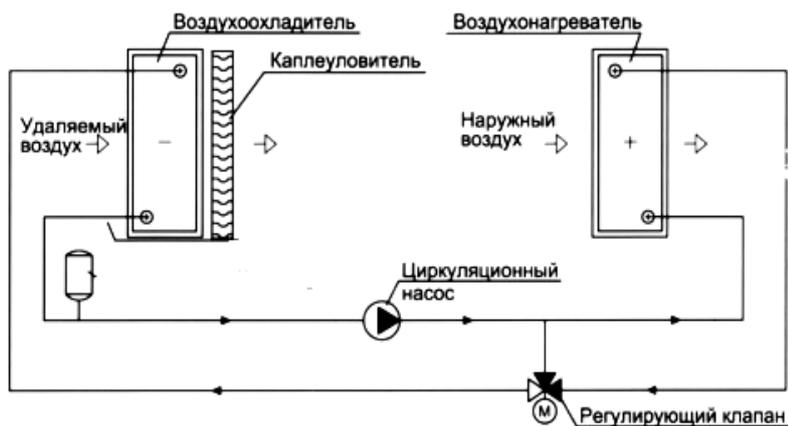


Рис. 6. Система рекуперации с промежуточным контуром

Компания Flakt Woods в России предлагает запатентованное техническое решение EcoNet на основе схемы (рис. 6), дополненное теплообменником в контуре теплоносителя, представленное на рис. 7.

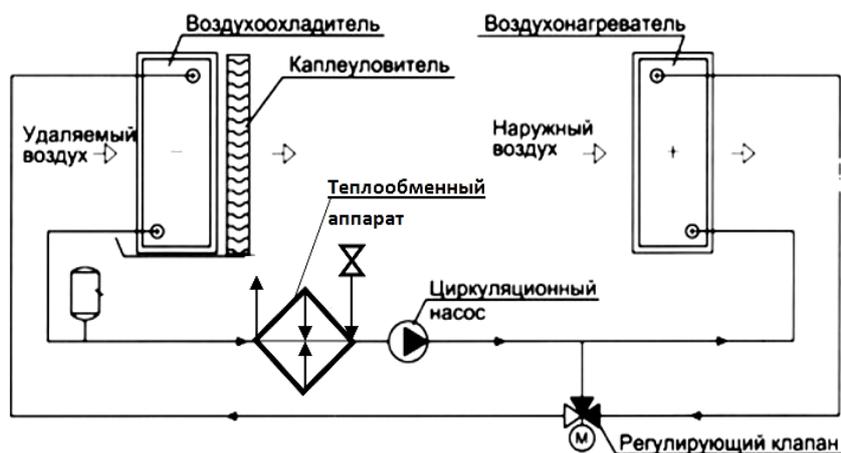


Рис. 7. Схема рекуперации EcoNet с промежуточным контуром и дополнительным теплообменным аппаратом

Основное достоинство представленной на рис. 7 схемы это возможность совместить рекуперацию и воздушное отопление в одном гликолевом контуре. Кроме того система EcoNet удачно вписывается в помещение автостоянки, оснащенной струйной вентиляцией. На рис. 8 показана схема размещения элементов системы.

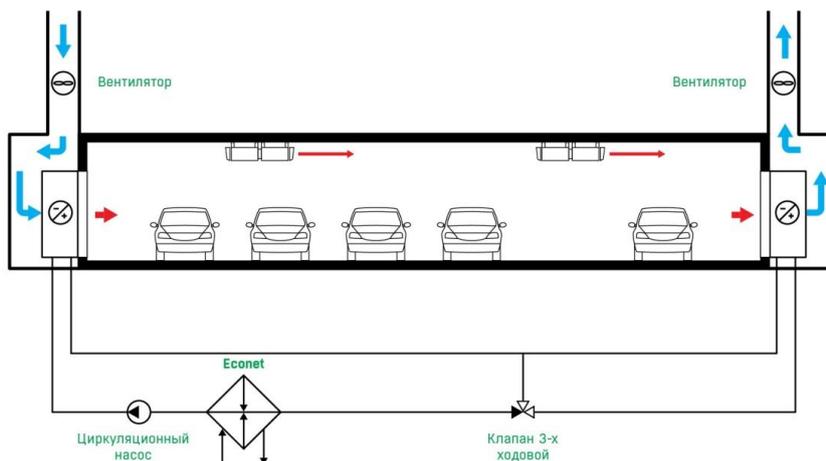


Рис. 8. Схема размещения элементов EcoNet

Представленное техническое решение имеет целый ряд достоинств.

В системе EcoNet, в качестве внешнего энергоносителя, можно использовать горячую воду более низкой температуры, что дает возможность полностью утилизировать оборотную воду, например, из системы радиатора. Это означает, что в оптимальных случаях температура оборотной воды центрального теплоснабжения может быть уменьшена до 20–25 °С, что ведет к уменьшению энергозатрат.

На рис. 9 представлена схема работы EcoNet зимой.

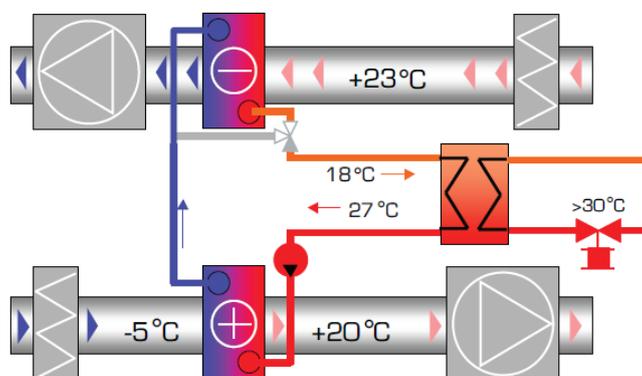


Рис. 9. Тепловая схема EcoNet при работе в зимний период

Система EcoNet может использовать горячую воду от теплового насоса при температуре около 30 °С (рис. 9). Чем ниже температура воды, производимой тепловым насосом, тем выше экономичность его эксплуатации. Это означает, что мы получаем более компактный и экономичный тепловой насос. Данное направление применения EcoNet считается перспективным и требует дополнительных исследований.

В работе [12] рассмотрен режим работы EcoNet в холодный период при температуре наружного воздуха –28 °С. Система обеспечивает подогрев наружного воздуха до температуры 20 °С, расход воздуха 10000 м³/час. Горячая вода с температурным графиком 95/70 °С поступает в промежуточный пластинчатый теплообменник, расположенный в системе Esonet для нагрева теплоносителя, циркулирующего в замкнутом контуре (принято 30 % этиленгликоль). В рассматриваемом режиме работы температура этиленгликолевого раствора на выходе из теплообменника в приточном канале может снижаться до –6 °С. Для уменьшения риска обмерзания теплообменника в вытяжном канале предусмотрен перепуск переохлажденной жидкости при помощи 3-х ходового клапана (рис. 8).

Система EcoNet может использоваться для рекуперации холода в летний сезон. Такой вариант работы показан на рис. 10.

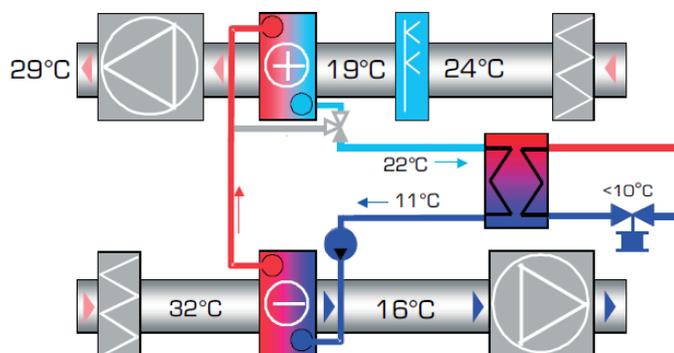


Рис. 10. Тепловая схема EcoNet при работе в летний период

В системе центрального холодоснабжения важно, чтобы температура оборотной воды для системы центрального холодоснабжения было как можно более высокой. В системе Esonet высокоэффективные теплообменники могут возвращать охлаждающей воде желаемый температурный уровень без увеличения размеров охлаждающего теплообменника в вентиляционной установке, как это имеет место в традиционных системах.

Возможна рекуперация холода при температуре охлаждающей воды до 12°C, а это значит, что возможно использовать термальную энергию грунта или морской воды.

Когда желательна более глубокая рекуперация холода установка обработки вытяжного воздуха может дополняться увлажнительной секцией (рис. 10), и таким образом может использоваться косвенное испарительное охлаждение. Этот способ может существенно уменьшить требование к холодопроизводительности чиллера, что ведет к уменьшению его габаритов и снижению эксплуатационных затрат.

На рис. 11 представлен общий вид оборудования.



Рис. 11. Общий вид оборудования EcoNet

Блок управления для функции рекуперации системы Esonet был модифицирован и стал более универсальным и более функциональным. Кроме того, блок управления может быть дополнен собственной функцией измерения эффективности рекуперации.

Дополнительно могут быть поставлены:

1. Сухая камера.

Высокое содержание влаги в сочетании с инородными частицами, присутствующими в наружном воздухе, иногда может вызывать повреждение фильтра наружного воздуха. Для защиты этого фильтра перед ним обычно устанавливался подогреватель. Это традиционное решение снижает рекуперацию энергии на 30 %. Поэтому в системе Esonet оба теплообменника соединены с сухой камерой на стороне притока воздуха.

Преимущества этой системы заключаются в том, что ухудшения рекуперации нет, система становится саморегулируемой, а система защиты от замораживания предотвращает повреждение элементов.

2. Сдвоенные насосы.

Это оптимальное решение для зданий, где вентиляция важна для технологического процесса и система Esonet никогда не должна останавливаться. В сдвоенном насосе при поломке одного из насосов второй продолжает работать.

3. Сдвоенный теплообменный блок.

В большинстве случаев необходимо определенное дополнительное отопление или охлаждение. Вместо заказа охладителя и теплообменника по отдельности компания Fläkt Woods предлагает сдвоенный теплообменный блок. Это означает возможность сокращения сроков поставки и обеспечение более высокой точности контроля микроклимата в здании.

Традиционно считалось, что системы с промежуточным жидкостным контуром теплоносителя обладают не высокой степенью рекуперации 50–65 % [2]. Система рекуперации Esonet имеет более высокую энергоэффективность – степень рекуперации достигает 65–75 %. Такие показатели достигнуты за счет применения высокоэффективных теплообменных аппаратов, новых технических решений. В том числе гибкой, универсальной системой управления.

Для предотвращения негативного влияния вибраций на оборудование могут быть использованы результаты работ [13–16].

Вывод

Компания Fläkt Woods в России предлагает новое проектное решение для вентиляции и дымоудаления многоярусных подземных и крытых автостоянок на основе реверсивной струйной вентиляционной системы и высокоэффективной системы рекуперации EcoNet.

Список литературы

1. Besant, R.W., P.E., and Allan B. Johnson. Reducing energy costs using run-around systems. ASHRAE Journal, February 1995, Vol. 37, no. 2:41-46, 3 figs, 13 refs. ISSN 0001-2491, 1995.
2. Вишневецкий Е.П. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // С.О.К., №11, 2004, с. 90 – 101.
3. Волков А.П. Продольная система дымоудаления в подземных сооружениях, оснащенных струйными вентиляционными системами // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013, № 8, С. 82 – 88.
4. Волков А.П., Свердлов А.В., Рыков С.В., Волков М.А. Фактор энергоэффективности при выборе параметров системы вентиляции автостоянки закрытого типа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 3 (15). С. 27–36.
5. Волков А.П., Свердлов А.В., Рыков С.В. Управление экологической безопасностью подземных транспортных сооружений при различных режимах движения транспортных средств // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 3.
6. Волков А.П., Гримитлин А.М., Рыков С.В. Методика расчета вентиляционной системы парковки закрытого типа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 2 (15). С. 45–57.
7. Волков А.П., Свердлов А.В., Рыков С.В. Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 9–16.
8. Волков А.П., Свердлов А.В. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок // АВОК. Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. – 2015. №1, С. 34 – 38.
9. VDI 2053 Air treatment systems for car parks. January 2004 □ (VDI 2053 Системы обработки воздуха для автостоянок).
10. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).
11. Немировская В.В., Кузовлев А.В. Энергосбережение с применением утилизаторов теплоты // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. № 2, 2015, 14–21 С.
12. Свердлов А. Температурный расчет системы рекуперации тепла Econet // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. – 2015. №2, С. 22.
13. Рыков С.А., Рыков С.В. Критерии оценки эффективности мобильных демпферов, установленных на пластинчатых поверхностях холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 2 (15). С. 8–16.
14. Рыков С.А., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Мобильные широкополосные демпферы для демпфирования колебаний пластинчатых конструкций // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 90–97.
15. Рыков С.А., Рыков С.В. Выбор рациональной конструкции мобильного демпфера для пластинчатых конструкций холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 1. С. 51–58.
16. Рыков С.А., Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Методика расчета характеристик мобильных демпферов для использования на пластинчатых конструкциях холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 2. С. 74–80.