

УДК 697.00.000

Эндаков Никита Александрович, студент группы СКХ-271, Российский университет транспорта Московский инженерный институт транспорта, г. Москва.

Пестряков Данила Андреевич, студент группы СКХ-271, Российский университет транспорта Московский инженерный институт транспорта, г. Москва.

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ПОДЗЕМНЫХ ПАРКОВКАХ

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к организации вентиляции подземных автостоянок, анализируются нормативные требования, конструктивные решения и факторы, определяющие выбор системы. Подземные паркинги относятся к помещениям с высоким выделением вредных веществ, главным образом оксида углерода, диоксида азота и сажи, образующихся при работе двигателей внутреннего сгорания. Основное внимание уделяется принудительным системам механической вентиляции, способным обеспечить требуемый воздухообмен и равномерное распределение потоков. Приводятся методики расчета воздухообмена, основанные на ассимиляции вредностей до предельно допустимых концентраций. Рассматриваются особенности интеграции противодымной вентиляции в общую схему воздухораспределения, включая использование струйных вентиляторов и импульсных систем. Затрагиваются вопросы энергосбережения, в том числе регулирование производительности по датчикам концентрации загрязнений. Делается вывод о необходимости комплексного проектирования, сочетающего санитарно-гигиенические функции, дымоудаление и экономическую эффективность. Работа предназначена для инженеров-проектировщиков, специалистов по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха.

Ключевые слова: подземная парковка, вентиляция, воздухообмен, противодымная защита, оксид углерода, струйный вентилятор, энергоэффективность.

Annotation

The paper discusses modern approaches to the design of ventilation for underground parking garages, analyzes regulatory requirements, structural solutions, and key factors influencing the system selection. Underground parking lots are classified as spaces with high emission of pollutants, primarily carbon monoxide, nitrogen dioxide, and soot generated by internal combustion engines. Primary attention is paid to mechanical forced ventilation systems capable of ensuring the required air exchange and uniform flow distribution. Methods for calculating air exchange based on dilution of contaminants to permissible concentrations are presented. Features of integrating smoke control ventilation into the overall air distribution scheme are considered, including the use of jet fans and impulse systems. Energy-saving aspects are addressed, in particular demand-controlled ventilation based on pollutant concentration sensors. It is concluded that an integrated design approach is necessary, combining sanitary-hygienic functions, smoke extraction, and economic efficiency. The paper is intended for design engineers and HVAC specialists.

Keywords: underground parking, ventilation, air exchange, smoke control, carbon monoxide, jet fan, energy efficiency.

Введение

Подземные автостоянки являются неотъемлемой частью современных жилых, общественных и коммерческих комплексов в условиях плотной городской застройки. Размещение машино-мест ниже уровня земли позволяет экономить территорию, однако создает серьезные вызовы для обеспечения безопасной и

здоровой воздушной среды. В отличие от наземных парковок, где естественное проветривание способствует рассеиванию выхлопных газов, подземное пространство практически лишено сквозного движения воздуха, что требует устройства искусственных систем вентиляции. Правильно спроектированная и смонтированная вентиляционная система решает три ключевые задачи: поддержание допустимых концентраций токсичных веществ в рабочей зоне и на путях эвакуации, эффективное удаление дыма при пожаре и минимизация потребления энергии.

Introduction

Underground parking is an integral part of modern residential, public, and commercial complexes in dense urban environments. Placing parking spaces below ground level saves space, but creates significant challenges for ensuring a safe and healthy air environment. Unlike above-ground parking, where natural ventilation helps disperse exhaust gases, underground spaces are virtually devoid of cross-flow, requiring artificial ventilation systems. A properly designed and installed ventilation system addresses three key objectives: maintaining acceptable concentrations of toxic substances in the work area and along escape routes, effectively removing smoke in the event of a fire, and minimizing energy consumption.

Методика обследования

Нормативная база Российской Федерации устанавливает жесткие рамки для организации воздухообмена на подземных стоянках. Основопологающим документом является СП 113.13330.2016 «Стоянки автомобилей», а также СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» и СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности». В соответствии с этими нормами подземные автостоянки вместимостью более 25 машино-мест должны оборудоваться системами приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением. Для стоянок меньшей вместимости допускается естественная вентиляция при

условии обеспечения нормативных параметров, однако на практике встроенные подземные парковки почти всегда выполняются с механическим побуждением из-за ограниченных возможностей организации естественного притока.

Основным загрязняющим веществом, которое лимитирует воздухообмен в паркингах, выступает оксид углерода (угарный газ), обладающий выраженным токсическим действием. Его предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, установленная гигиеническими нормативами, составляет 20 мг/м^3 (максимальная разовая). Помимо оксида углерода, в выхлопных газах присутствуют оксиды азота, углеводороды, сажа и диоксид серы, причем для дизельных двигателей доля диоксида азота и твердых частиц значительно выше. Проектирование воздухообмена ведется по массе выделяющегося оксида углерода с проверкой достаточности полученной кратности для разбавления сопутствующих примесей. Расчетный расход воздуха определяется по формуле, связывающей массовый выброс вредного вещества, его предельную концентрацию и коэффициент эффективности распределения потока. Массовый выброс, в свою очередь, зависит от интенсивности движения, времени работы двигателей на холостом ходу при въезде, выезде и парковке, а также от типа и технического состояния автомобилей.

На этапе проектирования обычно принимают усредненные показатели: удельный выброс оксида углерода для одного легкового автомобиля с бензиновым двигателем, работающим на холостом ходу, составляет порядка 4-6 г/мин. Для стоянок, где доля автомобилей с дизельными двигателями превышает 20%, расчет корректируется в сторону увеличения. Важно учитывать нестационарность процесса: наибольшие выбросы приходятся на часы пиковой загрузки, когда множество машин одновременно запускают двигатели и покидают парковку. Поэтому современные вентиляционные

системы все чаще оснащаются частотными преобразователями и датчиками концентрации угарного газа, позволяющими изменять производительность по фактической потребности. Это предотвращает избыточный воздухообмен в ночные часы и позволяет экономить до 40-60% электроэнергии по сравнению с постоянным режимом работы.

Конструктивно системы вентиляции подземных автостоянок делятся на традиционные канальные и бесканальные (импульсные). Первый вариант предполагает разводку воздуховодов по всей площади паркинга с установкой вытяжных решеток в верхней зоне, так как теплые выхлопные газы легче холодного воздуха и скапливаются под перекрытием. Приток подается рассредоточенно, с организацией струйных течений, омывающих основные проезды. Недостатком канальных систем является значительная высота занимаемого пространства и ограничения по расстановке оборудования, особенно в паркингах с низкими потолками. В таких условиях все большее распространение получают бесканальные схемы с применением осевых или радиальных струйных вентиляторов, монтируемых непосредственно под перекрытием. Вентиляторы не требуют воздуховодов, создают направленные плоские струи, которые переносят загрязненный воздух к вытяжным шахтам. Подобное решение радикально сокращает металлоемкость системы, высвобождает пространство и упрощает монтаж.

Особое место занимает противодымная вентиляция подземных паркингов, без которой эксплуатация объекта невозможна. Согласно требованиям пожарной безопасности, для стоянок закрытого типа необходимо устройство вытяжной противодымной вентиляции с механическим побуждением для удаления дыма с этажа, на котором возник пожар, и компенсирующей подачи наружного воздуха в объем защищаемого помещения. При этом удаление дыма предусматривается через специальные дымоприемные устройства из верхней зоны, а подача свежего воздуха — в нижнюю часть. Эффективность

дымоудаления в значительной мере определяется аэродинамикой струйных течений. Импульсные вентиляторы в бесканальных системах успешно справляются с задачей управления дымовыми потоками, направляя их в зону дымовых клапанов и предотвращая распространение дыма по этажу. Грамотное размещение таких вентиляторов требует расчета с применением методов вычислительной гидродинамики, чтобы исключить застойные зоны и обеспечить безопасную видимость на путях эвакуации.

Энергоэффективность систем вентиляции подземных паркингов становится все более актуальной в контексте общих тенденций экологического строительства и повышения класса энергосбережения зданий. Основными направлениями снижения эксплуатационных затрат выступают: переменный расход воздуха по сигналу датчиков CO или NO₂; рекуперация теплоты вытяжного воздуха в приточно-вытяжных установках в холодный период года; использование высокоэффективных ЕС-вентиляторов с интегрированной автоматикой; зонирование включения вентиляционного оборудования. Многоэтажные подземные стоянки целесообразно разделять на независимые вентиляционные зоны, обслуживающие отдельные сектора или этажи. В ночное время, когда автомобили практически не перемещаются, вентиляция может переводиться в минимальный дежурный режим, поддерживающий фоновый воздухообмен, достаточный для предотвращения накопления случайных утечек топливных паров.

Следует также упомянуть эксплуатационные аспекты. Системы вентиляции подземных паркингов работают в условиях высокого содержания пыли, масляных аэрозолей и агрессивных газов. Это предъявляет повышенные требования к коррозионной стойкости воздуховодов, вентиляторов и регулирующей арматуры. Рекомендуется использовать воздуховоды из оцинкованной стали с дополнительным полимерным покрытием или из алюминиевых сплавов. Струйные вентиляторы должны иметь степень защиты

не ниже IP54, а в зонах возможного скопления воды — влагозащищенное исполнение. Фильтрация приточного воздуха на подземных стоянках, как правило, ограничивается грубой очисткой, поскольку выхлопные газы являются главным источником загрязнений, а подаваемый с улицы воздух лишь разбавляет их. Тем не менее в условиях городов с интенсивным движением может быть оправдана установка фильтров класса G3-G4 на притоке для снижения запыленности.

В заключение необходимо подчеркнуть, что проектирование вентиляции подземных паркингов — многофакторная задача, решение которой требует совместного рассмотрения санитарно-гигиенических, противопожарных и экономических аспектов. Современные тенденции указывают на переход от жестко регламентированных канальных систем к интеллектуальным бесканальным схемам с управлением по концентрации загрязнений. Однако выбор конкретного решения всегда должен опираться на детальный анализ: геометрии помещения, ожидаемой интенсивности движения, типа преобладающих автомобилей и климатических условий. Только комплексный подход, подкрепленный численным моделированием аэродинамики и тепломассообмена, способен гарантировать безопасность и комфорт пользователей при разумных капитальных и эксплуатационных затратах.

Survey Methodology

The regulatory framework of the Russian Federation establishes strict frameworks for organizing air exchange in underground parking lots. The fundamental documents are SP 113.13330.2016 "Car Parking," as well as SP 60.13330.2020 "Heating, Ventilation, and Air Conditioning" and SP 7.13130.2013 "Heating, Ventilation, and Air Conditioning. Fire Safety Requirements." According to these standards, underground parking lots with a capacity of more than 25 spaces must be equipped with mechanically induced supply and exhaust ventilation systems. For smaller parking lots, natural ventilation is permitted, provided that regulatory

parameters are met. However, in practice, integrated underground parking lots are almost always constructed with mechanical ventilation due to the limited possibilities of organizing natural ventilation.

The main pollutant limiting air exchange in parking lots is carbon monoxide (carbon monoxide), which has a pronounced toxic effect. Its maximum permissible concentration in the air of the working area, established by hygiene standards, is 20 mg/m³ (maximum one-time). In addition to carbon monoxide, exhaust gases contain nitrogen oxides, hydrocarbons, soot, and sulfur dioxide, with diesel engines having significantly higher proportions of nitrogen dioxide and particulate matter. Air exchange design is based on the mass of carbon monoxide emitted, with verification of the resulting dilution rate being sufficient to dilute associated impurities. The calculated air flow rate is determined by a formula that relates the mass emission of the harmful substance, its maximum concentration, and the flow distribution efficiency factor. Mass emission, in turn, depends on traffic volume, engine idling time during entry, exit, and parking, as well as the type and technical condition of the vehicles.

At the design stage, average figures are typically adopted: the specific carbon monoxide emission for a single idling gasoline-powered passenger car is approximately 4-6 g/min. For parking lots where the share of diesel-powered vehicles exceeds 20%, the calculation is adjusted upward. It is important to consider the non-stationarity of the process: the highest emissions occur during peak hours, when many cars simultaneously start their engines and leave the parking lot. Therefore, modern ventilation systems are increasingly equipped with frequency converters and carbon monoxide concentration sensors, allowing them to adjust their performance based on actual demand. This prevents excessive air exchange at night and allows for energy savings of up to 40-60% compared to continuous operation.

Underground parking lot ventilation systems are divided into traditional ducted and ductless (pulse) systems. The first option involves ducting throughout the entire parking lot, with exhaust grilles installed in the upper zone, as warm exhaust gases are lighter than cold air and accumulate under the ceiling. The supply air is distributed, creating jet streams that wash over the main aisles. A disadvantage of ducted systems is the significant height they require and the limitations on equipment placement, especially in parking lots with low ceilings. In such conditions, ductless systems using axial or radial jet fans mounted directly under the ceiling are becoming increasingly popular. These fans do not require ducting and create directed flat jets that transport contaminated air to the exhaust shafts. This solution dramatically reduces the system's metal requirements, frees up space, and simplifies installation.

Smoke control ventilation of underground parking lots is particularly important, as it is essential for the operation of the facility. Fire safety requirements require enclosed parking lots to be equipped with mechanically driven exhaust smoke ventilation to remove smoke from the floor where the fire originated and to supply compensating outside air to the protected area. Smoke extraction is provided through dedicated smoke intake devices from the upper zone, while fresh air is supplied to the lower zone. Smoke removal efficiency is largely determined by the aerodynamics of jet streams. Pulse fans in ductless systems successfully manage smoke flows, directing them toward the smoke damper area and preventing smoke spread throughout the floor. Proper placement of such fans requires calculations using computational fluid dynamics methods to eliminate stagnant zones and ensure safe visibility along evacuation routes.

The energy efficiency of underground parking lot ventilation systems is becoming increasingly important in the context of overall green building trends and the improvement of building energy efficiency. The main areas for reducing operational costs are:

Литература

1. СП 113.13330.2016. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99*. – М.: Стандартинформ, 2016. – 52 с.
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: Стандартинформ, 2020. – 84 с.
3. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. – М.: МЧС России, 2013. – 30 с.
4. Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий. – М.: Издательство АСВ, 2018. – 288 с.
5. Бодров В.И., Зайцев О.Н. Системы вентиляции подземных автостоянок с применением струйных вентиляторов // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2020. – № 4. – С. 36–40.
6. Наумов А.Л., Капко Д.В. Моделирование противодымной вентиляции подземных автостоянок // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28, № 11. – С. 45–54.
7. Grimitlin M.I. HVAC systems for underground parking garages // ASHRAE Journal. – 2017. – Vol. 59, No. 3. – P. 24–31.
8. Etheridge D.W., Sandberg M. Building Ventilation: Theory and Measurement. – Chichester: John Wiley & Sons, 1996. – 720 p.

Literature

1. SP 113.13330.2016. Car Parks. Updated Version of SNiP 21-02-99*. Moscow: Standartinform, 2016. 52 p.
2. SP 60.13330.2020. Heating, Ventilation, and Air Conditioning. Updated Version of SNiP 41-01-2003. Moscow: Standartinform, 2020. 84 p.
3. SP 7.13130.2013. Heating, Ventilation, and Air Conditioning. Fire Safety Requirements. Moscow: EMERCOM of Russia, 2013. 30 p.

4. Kuvshinov Yu.Ya., Samarin O.D. Fundamentals of Ensuring the Microclimate of Buildings. – Moscow: ASV Publishing House, 2018. – 288 p.
5. Bodrov V.I., Zaitsev O.N. Ventilation systems for underground parking lots using jet fans // Plumbing, heating, air conditioning. – 2020. – No. 4. – Pp. 36–40.
6. Naumov A.L., Kapko D.V. Modeling smoke ventilation of underground parking lots // Fire and explosion safety. – 2019. – Vol. 28, No. 11. – Pp. 45–54.
7. Grimitlin M.I. HVAC systems for underground parking garages // ASHRAE Journal. – 2017. – Vol. 59, No. 3. – Pp. 24–31.
8. Etheridge D.W., Sandberg M. Building Ventilation: Theory and Measurement. – Chichester: John Wiley & Sons, 1996. – 720 p.