

РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ

DETERMINATION OF THE LONGITUDINAL VENTILATION ROAD TUNNELS PARAMETERS

Дата введения 2013-06-03

Предисловие

Сведения о рекомендациях

1 РАЗРАБОТАНЫ творческим коллективом специалистов некоммерческого партнерства "Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике" (НП "АВОК"):

Е.П.Вишневецкий, канд. техн. наук (ЗАО "Холдинговая компания "Юнайтед Элементс Групп") - руководитель;

А.П.Волков, канд. техн. наук (ЗАО "Холдинговая компания "Юнайтед Элементс Групп");

С.Г.Гендлер, доктор техн. наук, проф. (Национальный минерально-сырьевой университет "Горный");

Г.В.Чепурин, канд. техн. наук (ЗАО "Холдинговая компания "Юнайтед Элементс Групп");

Е.А.Савенков (Национальный минерально-сырьевой университет "Горный").

2 УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ 23 мая 2013 г.

3 ВВОДЯТСЯ ВПЕРВЫЕ.

1 Область применения

1.1 Продольная система вентиляции автодорожных тоннелей представляет собой комплекс объемно-планировочных и инженерно-технических решений, направленных на обеспечение нормативных параметров воздушной среды по содержанию загрязняющих веществ различной химической и физической природы при режимах эксплуатации, определяемых транспортной ситуацией) (нормальное движение, движение с замедленной скоростью, полная остановка движения), и на удаление дыма и пожарных газов в случае аварийной ситуации (при возникновении пожара).

1.2 Настоящие рекомендации распространяются на проектирование продольной системы вентиляции автодорожных тоннелей, использующей струйные вентиляторы.

1.3 Положения настоящих рекомендаций развивают и дополняют требования, изложенные в СП 122.13330.2012 "Тоннели железнодорожные и автодорожные", а также Федерального закона РФ от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.1.004-91* ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.005-88* ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.033-81* ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения

ГОСТ 17.2.2.01-84 Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений

ГОСТ 305-82* Топливо дизельное. Технические условия

ГОСТ 10616-90 (СТ СЭВ 4483-84) Вентиляторы радиальные и осевые. Размеры и параметры

ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров

ГОСТ Р 52033-2003 Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния

СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты

СП 3.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности

СП 4.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям

СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования

СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования противопожарной безопасности

СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003

СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003

СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97

СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений

СНиП 23-01-99* Строительная климатология

Пособие к СНиП 3.05.01-85 Пособие по производству и приемке работ при устройстве систем вентиляции и кондиционирования воздуха

ISO 5801:2007* Industrial fans - Performance testing using standardized airways (ИСО 5801:2007 Вентиляторы промышленные. Эксплуатационные испытания с использованием стандартизованных воздухопроводов)

* Доступ к международным и зарубежным документам, упомянутым в тексте, можно получить, обратившись в Службу поддержки пользователей. - Примечание изготовителя базы данных.

ISO 13349:2010 Fans - Vocabulary and definitions of categories (ИСО 13349:2010 Вентиляторы. Словарь и определение категорий)

ISO 13350:1999 Industrial fans - Performance testing of jet fans (ИСО 13350:1999 Вентиляторы промышленные. Испытание для определения рабочих характеристик струйных вентиляторов)

3 Термины и определения

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 аварийная ситуация в тоннеле: Опасное техногенное происшествие (пожар, прорыв воды, разрушение крепи, выброс ядовитых и взрывоопасных веществ, дорожно-транспортное происшествие и т.п.), создающее в тоннеле и прилегающей к нему территории угрозу жизни и здоровью людей, приводящее к разрушению конструкций тоннеля, нарушению движения транспорта, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

3.2 вентилятор дымоудаления: Вентилятор высоконапорный, сохраняющий работоспособность при температуре перемещаемого воздуха 400-600 °С в течение 2 ч и предназначенный для удаления дымовых и пожарных газов из очага пожара.

3.3 взвешенные частицы невыхлопного происхождения: Частицы пыли, как правило, диаметром 2,5 мм, образующиеся в результате разрушения дорожного полотна, тормозных колодок и т.п.

3.4 видимость, м: Отношение светового потока, прошедшего в воздухе без изменения направления путь, равный 1 м, к световому потоку, вошедшему в воздух в виде параллельного пучка.

3.5 выбросы загрязняющих веществ, г/ч ($\text{м}^2/\text{ч}$): Весовое количество загрязняющих веществ различной химической и физической природы, выделяющихся в единицу времени при движении транспортных средств по тоннелю.

3.6 габарит приближения строений и оборудования автодорожных тоннелей (габарит приближения): Предельное поперечное (перпендикулярное оси проезжей части) очертание, внутрь которого не должны заходить никакие части сооружений и строительных конструкций, всех видов оборудования и устройств (устройства вентиляции, электроснабжения, освещения, сигнализации, связи, направляющие, дренажные, водоотводные, противопожарные и др.) с учетом нормируемых допусков на их изготовление и монтаж.

3.7 дефлекторы: Пластины, устанавливаемые на выходе воздушного потока из струйного вентилятора и отклоняющие воздушный поток на заданный угол от линии, параллельной оси тоннеля.

3.8 дорожный уклон тоннеля, %: Отношение разности высот начала и конца рассматриваемого участка тоннеля к проекции длины этого участка на горизонтальную плоскость.

3.9 естественная тяга, Па: Перепад давлений (депрессия), создаваемый вследствие разности средней температуры воздуха в тоннеле и температуры атмосферного воздуха у портала с меньшей высотной отметкой относительно уровня моря; разности средних температур столбов атмосферного воздуха, имеющих высоту, соответствующую высоте приземного слоя атмосферы у порталов тоннеля; ветрового напора.

3.10 тяга струйного вентилятора, Н: Реактивная сила, равная произведению массового расхода воздуха, подаваемого вентилятором, и средней скорости воздуха в его выходном сечении.

3.11 интенсивность движения транспортных средств: Количество транспортных средств различного типа, проходящих через тоннель в единицу времени (с, ч, сут).

3.12 коэффициент ослабления, м^{-1} : Потери интенсивности светового потока относительно начальной интенсивности светового потока у источника после прохождения им единичного расстояния через воздушную среду в тоннеле.

3.13 критическая скорость воздуха, м/с: Скорость воздушного потока, при которой в случае пожара исключается распространение дыма от очага пожара в сторону, противоположную направлению движения воздуха.

3.14 нереверсивный струйный вентилятор: Вентилятор, сконструированный с возможностью подачи

воздушной струи только в одном направлении.

3.15 ниша: Выемка (или специально выгороженное пространство) в боковой части или своде автодорожного тоннеля, имеющая заданные размеры и форму, предназначенная для размещения струйных вентиляторов.

3.16 подшивной потолок: Вентиляционный канал, по которому дымовые и пожарные газы удаляются из очага пожара.

Примечание - Сооружается в сводовой части тоннеля путем установки продольной перегородки из негорючего материала, отделяющей подсводовое пространство от остальной части автодорожного тоннеля.

3.17 полуограниченная струя (настилающаяся струя): Воздушная струя, развивающаяся вдоль твердой поверхности.

3.18 поршневой эффект транспортных средств, Па: Разность давлений (депрессия), возникающая в тоннеле вследствие движения по нему транспортных средств со скоростью, превышающей скорость перемещения воздушного потока.

3.19 приведенная интенсивность движения транспортных средств при их нормальной или замедленной скоростях, усл. лег. авт./ч: Интенсивность движения транспортных средств, состоящих из автомобилей различного типа (легковые и грузовые машины и автобусы), приведенная к интенсивности движения только легковых машин.

3.20 приведенное количество транспортных средств при полной остановке движения, усл. лег. авт./км пол.: Количество транспортных средств всех типов, находящихся в тоннеле на каждой полосе движения при полной остановке движения, приведенное к количеству только легковых машин.

3.21 продольная система вентиляции тоннелей: Схема вентиляции, при которой вектор направления движения воздуха параллелен оси тоннеля.

3.22 реверсивный струйный вентилятор: Вентилятор, сконструированный с возможностью подачи воздушной струи в противоположных направлениях при равных значениях тяги.

3.23 струйный вентилятор: Вентилятор, реализующий принцип работы, основанный на передаче энергии от струи, исходящей из выходного отверстия вентилятора, к окружающему воздуху.

3.24 эжекция: Увлечение потоком с более высоким давлением, движущимся с большой скоростью, среды с низким давлением.

4 Общие положения

4.1 Выбор схемы вентиляции автодорожных тоннелей следует осуществлять на основе следующих принципов:

- обеспечение нормативных параметров воздушной среды при безаварийных режимах: нормальное движение транспортных средств, замедленное движение, транспортная пробка;
- организация безопасной эвакуации людей при возникновении чрезвычайной ситуации;
- создание благоприятных условий для тушения пожара.

4.2 Для проветривания тоннеля могут использоваться естественная тяга, поршневой эффект транспортных средств и вентиляторы различного типа и конструкции (струйные, высоконапорные осевые или центробежные).

Вентиляторы дымоудаления, используемые в период возникновения чрезвычайной ситуации для удаления

дымовых и пожарных газов с температурой 400-600 °С должны быть рассчитаны на безаварийную и эффективную работу в течение 2 ч.

4.3 Естественная вентиляция допускается в тоннелях длиной, не превышающей 300 м, при условии обоснования возможности ее применения на основе проведения натурных измерений.

Продольную вентиляцию с подачей и удалением воздуха через порталы тоннеля рекомендуется применять в тоннелях длиной до 1,0 (1,5) км (значение в скобках относится к тоннелям с односторонним движением).

4.4 При необходимости организации принудительного продольного перемещения воздуха непосредственно по тоннелю следует использовать струйные вентиляторы, обеспечивающие поступление в тоннель свежего воздуха за счет эффекта эжекции воздушной струи, исходящей из выходного отверстия вентилятора со средней по сечению скоростью 15-30 м/с.

4.5 Конструктивные и аэродинамические параметры струйных вентиляторов обеспечивают:

- перемещение по тоннелю большого количества воздуха при небольших статических давлениях;
- возможность 100%-го реверсирования воздушного потока при неизменном КПД;
- возможность совместной работы двух и более вентиляторов;
- минимальные массовые и габаритные характеристики;
- низкие уровни шума и вибраций;
- простоту и минимальную трудоемкость технического обслуживания;
- высокую коррозионную устойчивость;
- надежную работу и продолжительный срок службы.

4.6 Выбор параметров струйных вентиляторов определяется величиной импульса силы, требуемой для подачи в тоннель необходимого количества воздуха. Величина импульса при прочих равных условиях (скорость выходящего потока, мощность двигателя и частота его вращения) зависит от диаметра выходного отверстия $d_{\text{вент}}$ и повышается с его увеличением (рисунок 1).

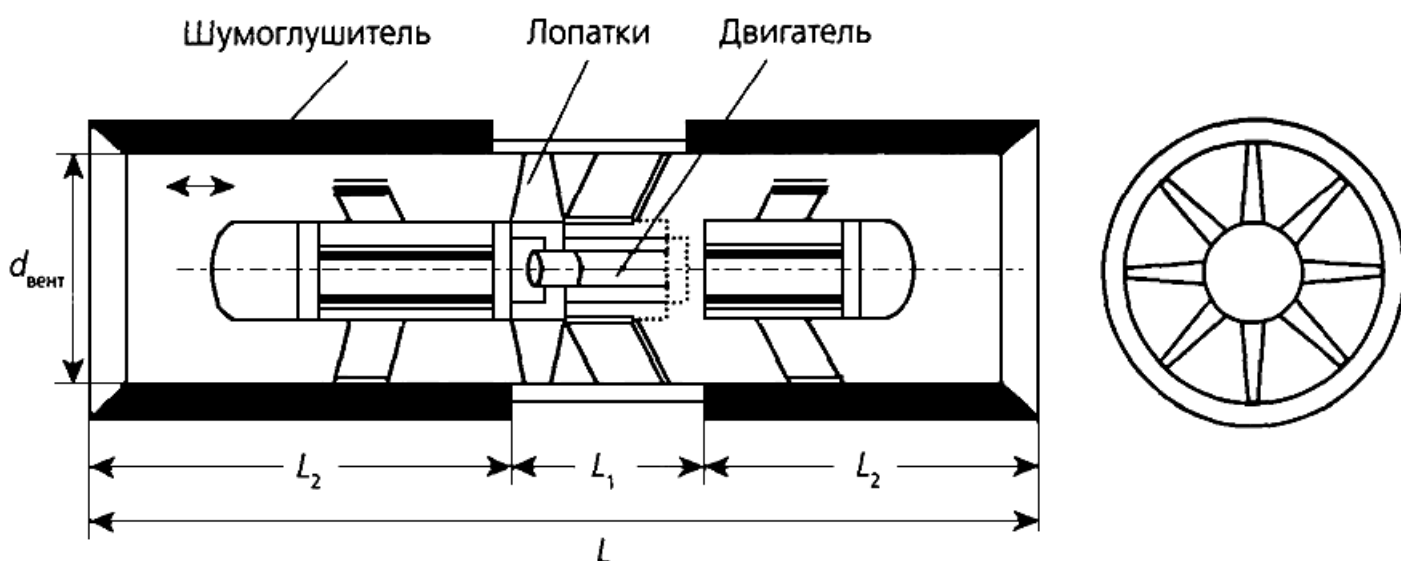


Рисунок 1 - Конструктивная схема реверсивного струйного вентилятора: L - общая длина струйного вентилятора; L_1 - длина вентилятора с двигателем и крыльчаткой; L_2 - длина шумоглушителя

4.7 Струйные вентиляторы могут использоваться как основное вентиляционное оборудование для проветривания тоннелей при продольной системе вентиляции (рисунок 2). При других схемах -

комбинированной с использованием стволов (каналов) для удаления загрязненного воздуха и подачи свежего воздуха (рисунок 3), продольно-поперечной (рисунок 4), поперечной (рисунок 5) - применение струйных вентиляторов возможно в качестве вспомогательного оборудования, предназначенного для увеличения расхода воздуха, поступающего в тоннель через порталы, или обеспечения необходимого распределения воздушных потоков по различным участкам тоннеля.

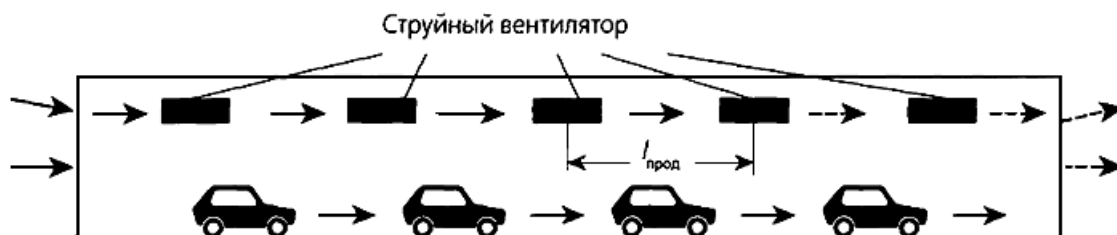


Рисунок 2 - Продольная система вентиляции, использующая струйные вентиляторы; $I_{\text{прод}}$ - расстояние между группами струйных вентиляторов по длине тоннеля; сплошными черными стрелками показано движение свежего воздуха, пунктирными - загрязненного воздуха

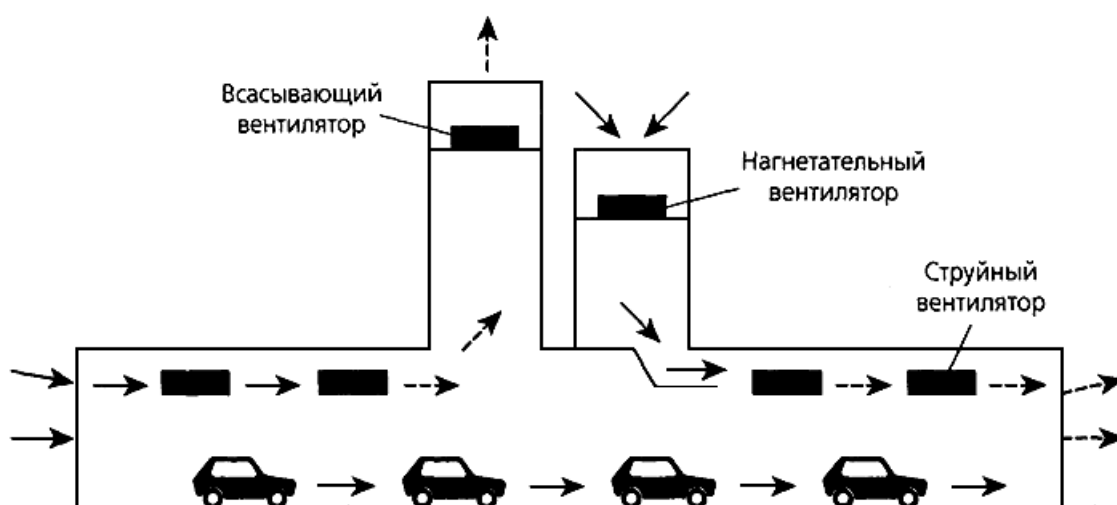


Рисунок 3 - Комбинированная вентиляция с использованием стволов (каналов) для удаления загрязненного воздуха и подачи свежего воздуха; сплошными черными стрелками показано движение свежего воздуха, пунктирными - загрязненного воздуха

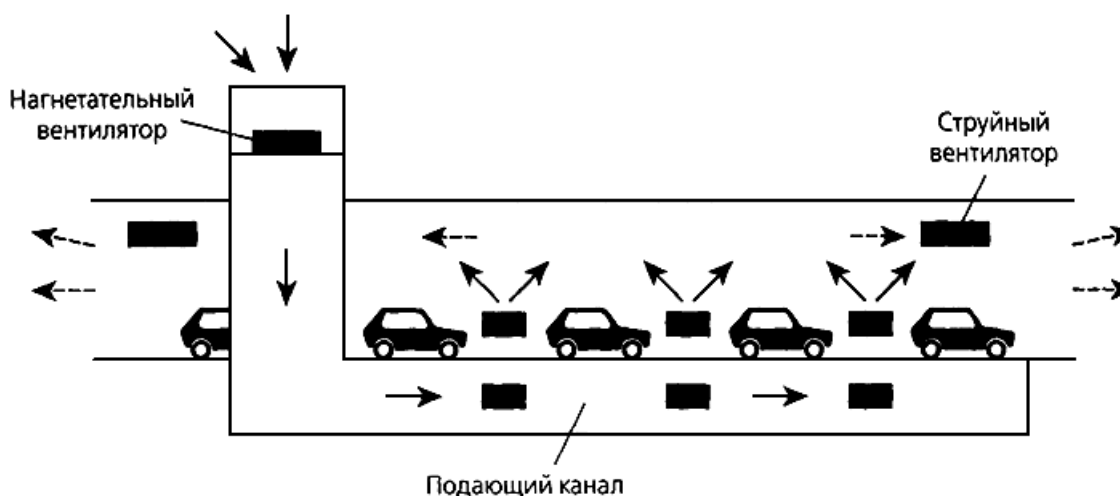


Рисунок 4 - Продольно-поперечная вентиляция; сплошными стрелками показано движение свежего воздуха, пунктирными - загрязненного воздуха

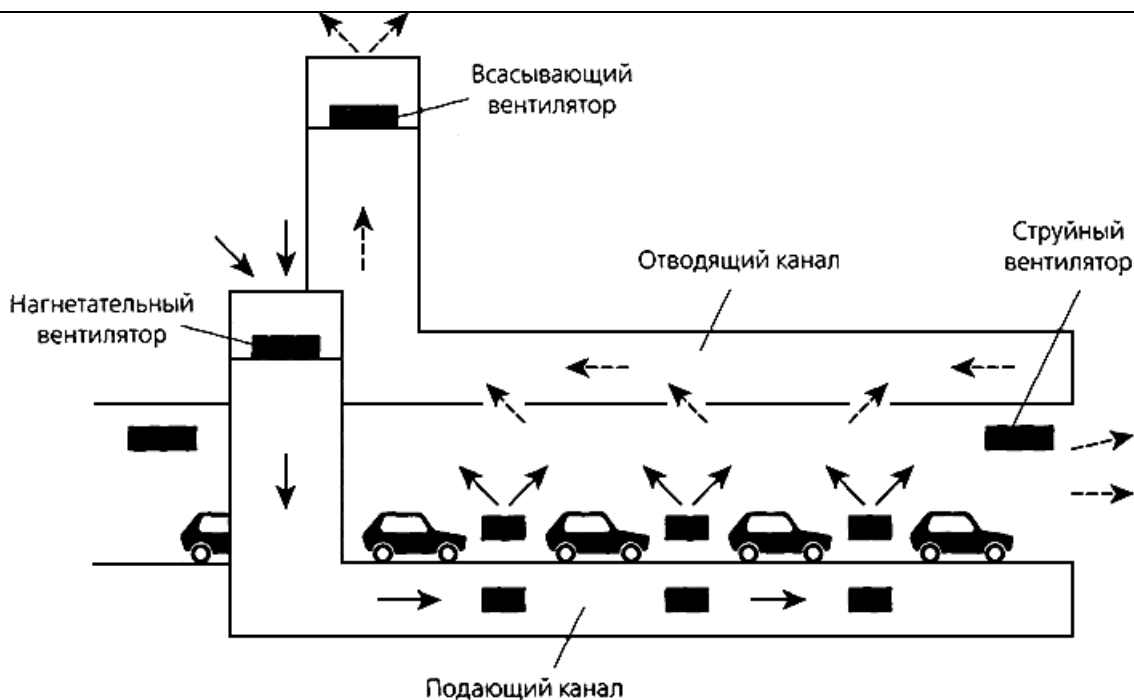


Рисунок 5 - Поперечная вентиляция; сплошными стрелками показано движение свежего воздуха, пунктирными - загрязненного воздуха

4.8 Использование в тоннелях продольной вентиляции при отсутствии системы дымоудаления через специальный вентиляционный канал (например, подшивной потолок у свода тоннеля) определяется возможностями как обеспечения нормативных параметров воздушной среды в случае нормального или замедленного движения транспортных средств или его полной остановки (транспортная пробка) при условии ограничения скорости воздуха принятой предельно допустимой величиной, так и достижения критической скорости воздуха при возникновении пожара (рисунок 2).

4.9 В тоннелях, в которых для дымоудаления при возникновении пожара используется специальный вентиляционный канал, применение продольной схемы при нормальном и замедленном движении транспортный* средств или его полной остановке (транспортная пробка) ограничивается возможностью обеспечения нормативных параметров воздуха с помощью струйных вентиляторов, размещенных на участках тоннеля, свободных от вентиляционного канала (рисунок 6).

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

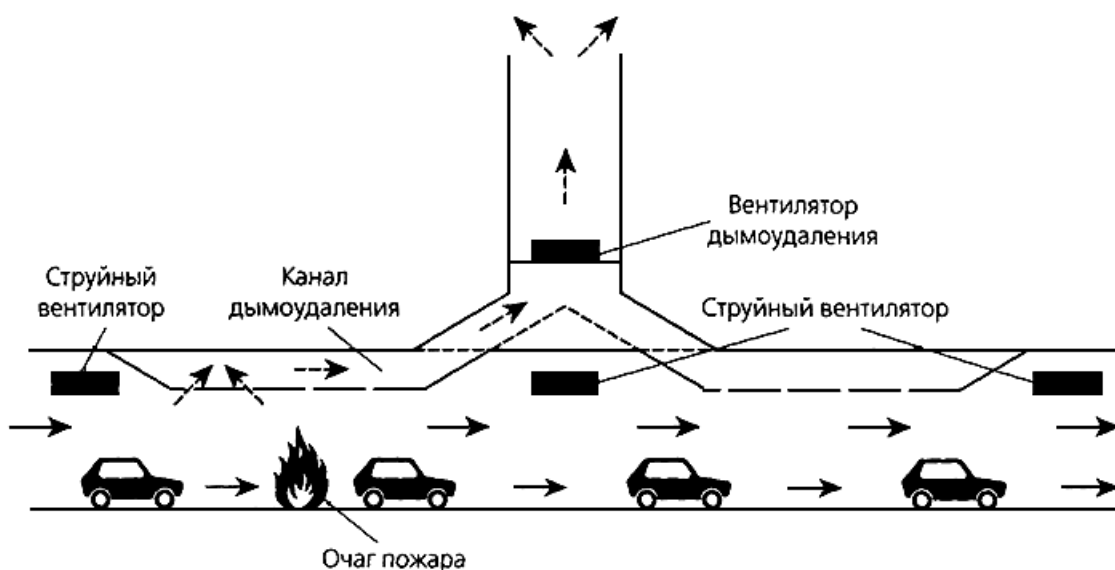


Рисунок 6 - Продольная система вентиляции при безаварийном режиме эксплуатации (направление движения воздуха показано сплошными черными стрелками) и при аварийной ситуации (направление удаления дымовых газов показано пунктирными стрелками)

5 Типовые объемно-планировочные и инженерно-технические решения для реализации продольной системы вентиляции, использующей струйные вентиляторы

5.1 Места размещения струйных вентиляторов в автодорожных тоннелях определяются величиной сечения тоннеля и его формой; габаритом приближения, зависящим от категории дороги; диаметром струйного вентилятора; протяженностью участков, занятых вентиляционными сооружениями, предназначенными для использования при авариях; возможностью сооружения специальных ниш (рисунок 7).

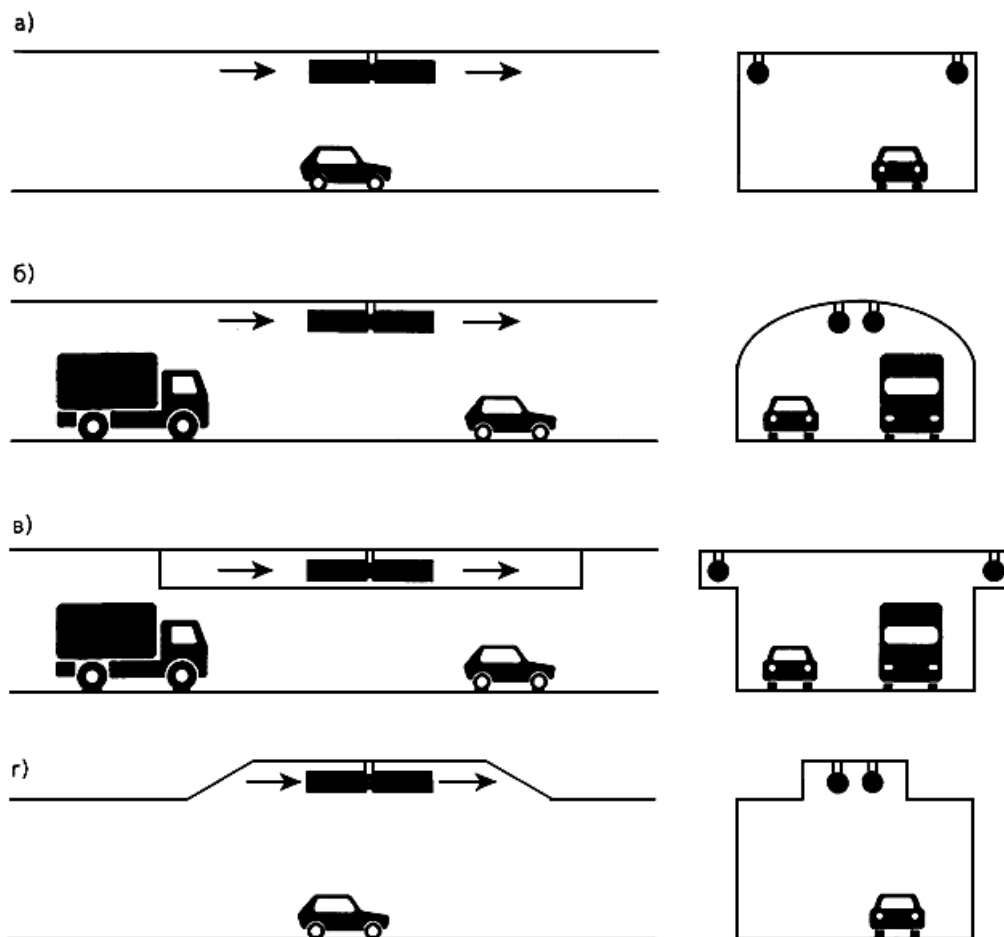


Рисунок 7 - Типичные варианты расположения струйных вентиляторов в тоннеле:

а, б - у свода тоннеля; в - в нишах на стенах тоннеля; г - в нише у свода тоннеля

5.2 Струйные вентиляторы устанавливают как параллельно оси тоннеля, так и под углом к горизонтальной оси не более 15° . В последнем случае могут применяться только нереверсивные струйные вентиляторы.

5.3 При размещении струйных вентиляторов у свода тоннеля соблюдают следующие условия:

- расстояние между центрами струйных вентиляторов в сечении тоннеля $l_{\text{вент}}$ не должно быть меньше двух диаметров выходного отверстия вентилятора $d_{\text{вент}}$, т.е. $l_{\text{вент}} \geq 2d_{\text{вент}}$ (рисунок 8);

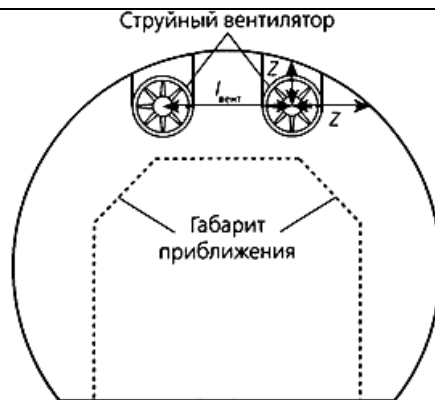


Рисунок 8 - Размещение струйных вентиляторов в сечении у свода тоннеля: $I_{\text{вент}}$ - расстояние между центрами вентиляторов в сечении тоннеля; Z - расстояние от центра вентилятора до поверхности свода тоннеля

- расстояние, отсчитываемое от центров струйных вентиляторов до поверхности свода тоннеля или его стены, Z должно быть максимальным в пределах габарита приближения тоннеля;

- расстояние между группами струйных вентиляторов по длине тоннеля $I_{\text{прод}}$ при их расположении параллельно оси тоннеля и отсутствии дефлекторов не должно быть меньше 10 гидравлических диаметров тоннеля D_T , т.е. $I_{\text{прод}} \geq 10D_T$ (см. рисунок 2);

- при использовании дефлекторов, отклоняющих воздушную струю, выходящую из вентилятора, на $5-10^\circ$, минимальное значение $I_{\text{прод}}$ может быть уменьшено до $6-8D_T$;

- минимальное расстояние от сечения, где установлены струйные вентиляторы, до портала тоннеля с исходящей воздушной струей не должно быть меньше $10D_T$. Сокращение этого расстояния приводит к снижению импульса струйных вентиляторов.

5.4 В случае размещения струйных вентиляторов в нишах у свода тоннеля выполняют следующие требования:

- ниша должна иметь геометрическую форму и размеры, минимизирующие потери давления при выпуске воздуха (рисунок 9);

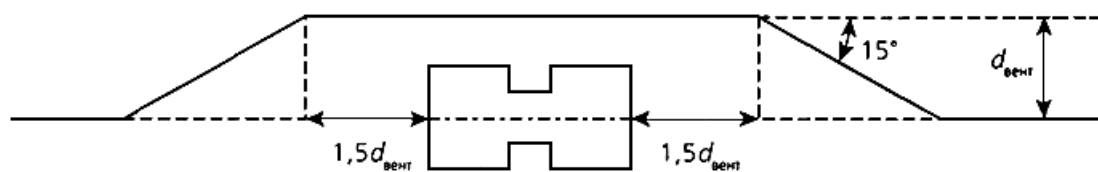


Рисунок 9 - Размещение струйного вентилятора в нише у свода тоннеля:

$d_{\text{вент}}$ - диаметр выходного отверстия вентилятора

- геометрические параметры ниши определяют длиной вентилятора с учетом шумоглушителей и диаметром выходного отверстия $d_{\text{вент}}$ (отклонение геометрических параметров ниши от параметров, указанных на рисунке 9, приводит к снижению импульса струйного вентилятора).

При размещении струйных вентиляторов в нише, выполненной в стене тоннеля, учитывают следующее:

- конструкция ниши соответствует конструкции ниши у свода тоннеля;

- вентиляторы размещают по высоте ниши (рисунок 10), при этом расстояние между центрами вентиляторов должно составлять не менее двух диаметров выходного отверстия.

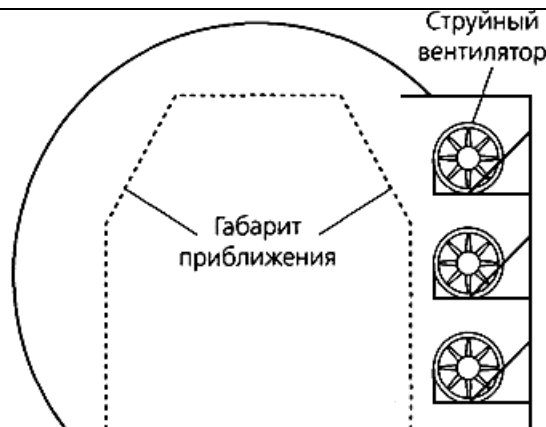


Рисунок 10 - Размещение струйных вентиляторов в нише, выполненной в стене тоннеля

6 Методика выбора параметров продольной системы вентиляции

6.1 Общие положения

6.1.1 Выбор параметров продольной системы вентиляции осуществляют для периодов, характеризующихся существенным различием интенсивности движения транспортных средств и значений выбросов загрязняющих веществ. Для последующего проектирования выбирают вариант, обеспечивающий нормативные параметры воздушной среды в тоннеле при наиболее неблагоприятных условиях.

6.1.2 Выбор параметров продольной системы вентиляции тоннеля осуществляют для следующих режимов движения транспорта:

- А (нормальный) - безостановочное движение транспорта с расчетной скоростью при интенсивности, соответствующей часу пик;
- Б (замедленный) - безостановочное движение транспорта со скоростью менее 20 км/ч;
- В (транспортная пробка) - остановка транспорта с работающими двигателями.

6.1.3 В случае аварийной ситуации продольная система вентиляции должна обеспечивать:

- устойчивый вентиляционный поток в заданном направлении с расходом, гарантирующим достижение критической скорости воздуха;
- время достижения системой вентиляции необходимого расхода воздушного потока с момента включения или реверсирования струйных вентиляторов не менее 5 мин;
- подпор воздуха не менее 20 Па, гарантирующий отсутствие дыма на путях эвакуации людей.

6.1.4 Требуемые параметры воздушной среды в тоннелях (содержание загрязняющих веществ, видимость, максимальная и минимальная скорость воздуха и т.п.) принимают по нормативным документам, действующим на момент начала проектирования.

6.1.5 Метеорологические параметры атмосферного воздуха у порталов тоннеля выбирают на основании данных специальных метеорологических изысканий. При их отсутствии допускается использовать для определения метеорологических параметров положения СНиП 23-01-99* "Строительная климатология".

6.1.6 Величину выбросов от транспортных средств принимают в зависимости от планируемого года эксплуатации тоннеля с учетом технологических стандартов А, В, С, предложенных Техническим комитетом по эксплуатации автодорожных тоннелей Мировой дорожной ассоциации (PIARC) [6].

Технологический стандарт А определяет характеристики выбросов загрязняющих веществ единичных транспортных средств, эмиссионные стандарты которых соответствуют эмиссионному законодательству Евросоюза и годам введения в действие этих стандартов. Возможность его использования для определения выбросов рассчитывается исходя из относительного количества транспортных средств в машинном парке,

применяющем топливо с различными экологическими стандартами (таблица 1).

Таблица 1 - Ориентировочный состав машинного парка (доля машин различного типа от общего количества машин), характеризующий технологический стандарт А

В процентах

Тип машин	Экологический стандарт						
	До Евро-1	Евро-1	Евро-2	Евро-3	Евро-4	Евро-5	Евро-6
Легковые с бензиновым двигателем	14,87	3,95	12,40	20,87	43,64	4,27	0,00
Легковые с дизельным двигателем	2,34	1,75	8,11	32,70	49,25	5,85	0,00
Легкие грузовые с бензиновым двигателем	36,20	14,31	20,93	22,68	5,87	0,00	0,00
Легкие грузовые с дизельным двигателем	4,36	1,97	8,26	37,80	47,60	0,00	0,00
Тяжелые грузовые с дизельным двигателем	4,07	5,11	16,08	28,45	12,07	34,22	0,00

Технологический стандарт В используют для стран, которые приняли эмиссионные стандарты Евросоюза или похожие стандарты с отставанием в 10 лет. Стандарт С применяют в странах, которые приняли эмиссионные стандарты, но не осуществляют эффективный контроль возраста транспортных средств.

6.1.7 Выбор технологического стандарта может быть осуществлен на основании анализа машинного парка для конкретного региона, в котором планируется сооружение автодорожного тоннеля. Критерием выбора при этом может являться количество транспортных средств различного типа, использующих топливо экологического стандарта ниже Евро-1 (таблица 2).

Таблица 2 - Выбор технологического стандарта (отчетный год - 2010)

В процентах

Тип машин	Количество транспортных средств с экологическим стандартом ниже Евро-1, принятое для технологического стандарта		
	А	В	С
Легковые с бензиновым двигателем	<20	20-30	>30
Легковые с дизельным двигателем	<5	5-30	>30
Легкие грузовые с бензиновым двигателем	<40	40-60	>60
Легкие грузовые с дизельным двигателем	< 5	5-25	>25
Тяжелые грузовые с дизельным двигателем	<5	5-40	>40

6.2 Выбор исходных данных

6.2.1 Район размещения тоннеля (город, за городом).

6.2.2 Геометрические характеристики тоннеля:

- длина L_T , м;

- площадь сечения (периметр) $F_T (U_T)$, м² (м);

- протяженность участка, предназначенного для аварийной остановки транспорта, $L_{ав.ост}$, м;
- сечение тоннеля на участке, предназначенном для аварийной остановки транспорта, $S_{ав.ост}$, м²;

Примечание - Относительно сечения тоннеля на участке аварийной остановки транспорта: сечение тоннеля является сечением узкой части $F_T = S_{уз.с}$, сечение участка аварийной остановки - сечением широкой части $S_{ав.ост} = S_{ш.с}$

- профиль трассы, определяющий дорожные уклоны различных участков тоннеля;
- тип обделки, определяющий шероховатость поверхности и коэффициенты трения;
- количество расширений (сужений) сечения по трассе тоннеля; при установке в тоннеле подшивного потолка - его общая протяженность и сечение.

6.2.3 Аэродинамические характеристики тоннеля:

- коэффициент трения $\lambda_{тр}$; принимают в зависимости от шероховатости поверхности обделки тоннеля; среднее значение - 0,024, коэффициент изменяется в интервале 0,015-0,060 (меньшее значение относится к сплошной обделке с гладкой поверхностью, большее - к поверхности с грубой шероховатостью, например тубинговой крепи);

- коэффициент местного сопротивления портала ξ_m с исходящей $\xi_{вых}$ и входящей $\xi_{вх}$ вентиляционной струей; $\xi_{вых}$ принимают равным 1,0; $\xi_{вх}$ зависит от формы портала и для портала с раструбом составляет 0,1, а для обычной формы сечения портала - 0,5;

- коэффициент обтекания портала C_0 ; при воздействии ветровой нагрузки принимают равным 0,7;

- коэффициенты местного сопротивления при внезапном расширении $\xi_{расш.пл}$ и сужении $\xi_{суж.пл}$; рассчитывают в зависимости от соотношений сечений тоннеля в узком и широком местах $S_{уз.с}/S_{ш.с}$.

6.2.4 Характеристика транспортного потока:

- число полос движения $n_{пол}$;

- направление движения транспортных средств по полосам движения (однаправленное или двунаправленное);

- установленная скорость движения по каждой полосе $V_{тр.ср}$, км/ч;

- приведенные интенсивности движения транспортных средств для часа пик при нормальной $D_{пр.чп.уст}$ и при замедленной скоростях $D_{пр.чп.зам}$, усл. лег. авт./ч; соотношение δ между величинами $D_{пр.чп.зам}$ и $D_{пр.чп.уст}$ в зависимости от района размещения и направления движения транспортных средств по полосам движения приведено в таблице 3;

- приведенное количество транспортных средств при полной остановке движения $D_{пр.проб}$, усл. лег. авт./км пол.; принимают для тоннелей в городе 165 усл. лег. авт./км пол. и для тоннелей за городом 150 усл. лег. авт./км пол.;

- интенсивности движения, тр. ср./ч, легковых машин $A_{л}$ (с бензиновым $A_{л.б}$ и дизельным $A_{л.д}$ двигателями), легких грузовых машин массой до 3,5 т $B_{л.гр}$ (с бензиновым $B_{л.гр.б}$ и дизельным $B_{л.гр.д}$ двигателями), тяжелых грузовых машин $B_{т.гр}$ (с дизельным двигателем) массой 15 т (грузовики и автобусы) $B_{т.гр.15}$ и 32 т (грузовики с прицепом и полуприцепом) $B_{т.гр.32}$. При отсутствии данных об их количествах значения интенсивностей принимают в зависимости от процентного соотношения между интенсивностями движения транспортных средств различного типа и общей интенсивностью движения всех транспортных

средств в час пик, определяемого коэффициентами:

ψ - отношение интенсивности движения тяжелого грузового транспорта к общей интенсивности движения; $\psi = 100B_{т.гр} / C_{чл.уст}$;

χ - отношение интенсивности движения легкого грузового транспорта к интенсивности движения легковых машин; $\chi = 100E_{л.гр} / A_{л}$;

ω - отношение интенсивности движения легковых машин с дизельным двигателем к общей интенсивности движения легковых машин; $\omega = 100A_{л.д} / A_{л}$;

σ - отношение интенсивности движения легкого грузового транспорта с дизельным двигателем к общей интенсивности движения легкого грузового транспорта; $\sigma = 100E_{л.гр.д} / E_{л.гр}$;

β - отношение интенсивности движения тяжелого грузового транспорта, представленного грузовиками и автобусами массой 15 т, к общей интенсивности движения тяжелого грузового транспорта; $\beta = 100B_{т.гр.15} / B_{т.гр}$.

Таблица 3 - Соотношение δ между интенсивностями при замедленном и нормальном движении

Тоннель в городе с направлением движения		Тоннель за городом с направлением движения	
однонаправленным	двунаправленным	однонаправленным	двунаправленным
0,50	0,57	0,39-0,47	0,43

Процентные значения коэффициентов приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Коэффициенты, определяющие процентное соотношение между интенсивностями движения транспортных средств различного типа и общей интенсивности движения всех транспортных средств в час пик

В процентах

Коэффициент	ψ	χ	ω	σ	β
Значение	20	10-25	20-30	4-50	58-83

Примечание - Приведены значения, ориентировочно установленные при анализе структуры усредненного транспортного потока в России, странах Евросоюза, Австралии, Алжире и Китае.

6.2.5 Аэродинамические характеристики транспортных средств (таблица 5):

- миделево сечение S_m , м²;

- коэффициент лобового сопротивления транспортных средств $C_{л}$.

Таблица 5 - Значения аэродинамических характеристик различных транспортных средств

Характеристика	Легковые машины		Легкие грузовые машины		Тяжелые грузовые машины (дизельные)	
	С бензиновым двигателем	С дизельным двигателем	С бензиновым двигателем	С дизельным двигателем	Грузовики и автобусы массой 15 т	Грузовики с прицепом и полуприцепом массой 32 т

$S_M, \text{ м}^2$	2	2	3	3	5	7
$C_{Л}$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,80	0,80
$C_{Л}^*$	0,4	0,4	0,4	0,4	1,0	1,0
Примечание - $C_{Л}^*$ - коэффициент лобового сопротивления стоящей машины.						

6.2.6 ПДК загрязняющих веществ в воздухе тоннеля, максимально допустимая скорость воздуха и коэффициент ослабления (согласно требованиям СП 122.13330.2012):

- при нормальном режиме ПДК оксида углерода (СО) как индикатора всего набора выхлопных газов не должна превышать 70 мг/м³; ПДК оксида азота (NO_x) (в пересчете на NO₂) - 5 мг/м³;

- при замедленном режиме ПДК СО не должна превышать 150 мг/м³; ПДК NO_x (в пересчете на NO₂) - 5 мг/м³;

- при транспортной пробке ПДК СО не должна превышать 200 мг/м³; ПДК NO_x (в пересчете на NO₂) - 5 мг/м³; ПДК сажи - 4 мг/м³;

Примечание - Длительность замедленного режима и режима транспортной пробки при вышеуказанных ПДК не должна превышать 15 мин.

- предельно допустимая видимость не должна быть ниже 130 м при коэффициенте ослабления $K_{осл}$ более 0,0075 м⁻¹; при этом при расчете вентиляции не следует принимать во внимание возможное ухудшение видимости вследствие тумана у порталов тоннеля;

- в ряде случаев (например, при проектировании вентиляции тоннелей в мегаполисах) следует ориентироваться на ПДК СО в воздухе тоннеля, рекомендованные для использования в странах Евросоюза (таблица 6);

- максимальное значение средней по сечению тоннеля скорости воздуха V_{max} , м/с, без учета уменьшения сечения тоннеля из-за наличия транспортных средств не должно превышать 6 м/с (при специальном обосновании - 10 м/с);

- минимальную скорость воздуха V_{min} , м/с, определяют из расчета трехкратного часового объема проветривания тоннеля или обеспечения средней скорости воздуха не менее 1,5 м/с.

Таблица 6 - ПДК_{СО} в воздухе тоннеля, рекомендованные для использования в странах Евросоюза

Транспортная ситуация	Коэффициент ослабления $K_{осл}$, м ⁻¹	ПДК СО, мг/м ³ *
Движение в час пик при скорости 50-100 км/ч	0,005	≈ 80
Ежедневное замедленное движение, остановка на всех полосах движения	0,007	≈ 80
Исключительное замедленное движение, остановка на всех полосах движения	0,009	≈ 115
Проведение в тоннеле плановых ремонтных работ	0,003	20
Закрытие тоннеля	0,012	200
* Выполнен перевод из промилей (ppm) в мг/м ³ .		

6.2.7 Метеорологические параметры атмосферного воздуха у порталов тоннеля и внутри тоннеля, орографическая характеристика местности, фоновый уровень загрязнений атмосферного воздуха:

- температура наружного воздуха t_n , °С;

- относительная влажность наружного воздуха ϕ_n , %;

- атмосферное давление воздуха $P_{ат}$, мм рт. ст.;

- для автодорожных тоннелей в гористой местности дополнительно учитывают высотные отметки порталов тоннеля над уровнем моря, м; максимальную высоту горы, через которую проходит тоннель, H_T , м; температуру атмосферного воздуха t_T , °С, и давление воздуха на этой высоте P_T , мм рт. ст.;

- характеристика розы ветров у каждого из порталов; с помощью данной характеристики устанавливают сочетание направления ветра относительно оси тоннеля и его скорости $V_{ветр}$, м/с, приводящее к максимальной величине ветрового напора, Па;

- средняя температура воздуха в тоннеле $t_{ср}$, °С; ориентировочно принимают на 3-5 °С выше температуры наружного воздуха у портала, куда поступает воздух.

6.2.8 Проектная мощность пожара $Q_{п}$, МВт; выбирают в зависимости от прогнозной причины пожара в соответствии с данными таблицы 7.

Таблица 7 - Значение проектной мощности пожара

В мегаваттах

Очаг пожара	Значение
Легковая машина	5
Автобус	20
Тяжелая грузовая машина	20-30
Автомобиль-цистерна	100

6.3 Расчет необходимого количества воздуха для проветривания тоннеля

6.3.1 Определение количества транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле, для условий часа пик при нормальном и замедленном движении, а также его полного прекращения (транспортная пробка)

6.3.1.1 Количество транспортных средств, тр. ср., различного типа, одновременно находящихся в тоннеле, при известных величинах интенсивности движения в час пик по всем полосам определяют по формулам

$$n_{п.б} = \frac{A_{п.б} L_T}{V_{п}}; \quad (1)$$

$$n_{п.д} = \frac{A_{п.д} L_T}{V_{п}}; \quad (2)$$

$$n_{п.гр.б} = \frac{B_{п.гр.б} L_T}{V_{п.гр}}; \quad (3)$$

$$n_{п.гр.д} = \frac{B_{п.гр.д} L_T}{V_{п.гр}}; \quad (4)$$

$$n_{т.гр.15} = \frac{B_{т.гр.15} L_T}{V_{т.гр}}; \quad (5)$$

$$n_{т.гр.32} = \frac{B_{т.гр.32} L_T}{V_{т.гр}}, \quad (6)$$

где $A_{л.б}$, $A_{л.д}$, $E_{л.гр.б}$, $E_{л.гр.д}$, $B_{т.гр.15}$, $B_{т.гр.32}$ - интенсивность движения соответственно легковых машин с бензиновым и дизельным двигателями, легких грузовых машин до 3,5 т с бензиновым и дизельным двигателями, тяжелых грузовых машин с дизельным двигателем массой 15 т (грузовики и автобусы) и 32 т (грузовики с прицепом и полуприцепом), тр. ср./ч; при отсутствии данных принимают по 6.3.1.3;

L_T - длина тоннеля, км;

$V_{л}$, $V_{л.гр}$, $V_{т.гр}$ - скорость движения соответственно легковых, легких грузовых, тяжелых грузовых машин, включая автобусы, км/ч; определяют по 6.3.1.2.

6.3.1.2 Скорость движения транспортных средств задают только для нормального режима. Для замедленного движения скорость транспортных средств принимают равной, например, 10 км/ч и определяют исходя из этого значения количество транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле.

6.3.1.3 При отсутствии данных об интенсивностях движения транспортных средств различного типа вычисление этих величин осуществляют в следующей последовательности:

- устанавливают (или принимают) процент от тяжелого грузового транспорта в общей величине транспортного потока ψ ;

- рассчитывают общую интенсивность движения транспортных средств в час пик $C_{чп.уст}$, тр. ср./ч, используя предположение о том, что автобус или грузовая машина занимают место, эквивалентное двум-трем легковым автомобилям:

$$C_{чп.уст} = \frac{D_{пр.чп}}{\left(1 - \frac{\psi}{100}\right) + \frac{\psi}{100} \cdot (2 \text{ или } 3)}, \quad (7)$$

где $D_{пр.чп}$ - приведенная интенсивность движения транспортных средств в час пик, усл. лег. авт./ч;

ψ - процент от тяжелого грузового транспорта в общей величине транспортного потока, %;

- находят интенсивности движения транспортных средств различного типа, тр. ср./ч:

$$A_{л.б} = C_{чп.уст} (1 - 0,01\psi) \frac{1 - 0,01\omega}{1 + 0,01\chi}; \quad (8)$$

$$A_{л.д} = C_{чп.уст} (1 - 0,01\psi) \frac{0,01\omega}{1 + 0,01\chi}; \quad (9)$$

$$E_{л.гр.б} = (1 - 0,01\sigma) C_{чп.уст} (1 - 0,01\psi) \frac{0,01\chi}{1 + 0,01\chi}; \quad (10)$$

$$E_{л.гр.д} = C_{чп.уст} (1 - 0,01\psi) \frac{0,0001\chi\sigma}{1 + 0,01\chi}; \quad (11)$$

$$B_{т.гр.15} = 0,0001\psi\beta C_{чп.уст}; \quad (12)$$

$$B_{т.гр.32} = 0,01\psi (1 - 0,01\beta) C_{чп.уст}; \quad (13)$$

где $C_{чп.уст}$ - общая интенсивность движения транспортных средств в час пик, тр. ср./ч;

ψ - то же, что в формуле (7);

ω , χ , σ , β - коэффициенты, определяющие процентное соотношение между интенсивностями движения транспортных средств различного типа и общей интенсивностью движения всех транспортных средств в час пик, %; определяют по 6.2.4.

Примечания:

1 При замедленном движении для расчета интенсивности движения транспортных средств используют приведенную интенсивность движения транспортных средств $D_{\text{пр.чп.зам}}$, усл. лег. авт./ч. При этом в формулах (7)-(13) вместо $C_{\text{чп.уст}}$ используют $C_{\text{чп.зам}}$.

2 Количество транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле, устанавливают по формулам (1)-(6) при скорости движения, соответствующей нормальному и замедленному режимам.

6.3.1.4 Общее приведенное количество транспортных средств при полной остановке движения $\sum D_{\text{пр.проб}}$, усл. лег. авт., рассчитывают по формуле

$$\sum D_{\text{пр.проб}} = D_{\text{пр.проб}} L_{\text{т}} n_{\text{пол}}, \quad (14)$$

где $D_{\text{пр.проб}}$ - приведенное количество транспортных средств при полной остановке движения, усл. лег. авт./км пол.; принимают по 6.2.4;

$L_{\text{т}}$ - то же, что в формуле (1);

$n_{\text{пол}}$ - число полос движения.

Для преобразования полученного значения в общее количество транспортных средств (с учетом автобусов и грузовых автомобилей) используют предположение, что в транспортной пробке автобус или грузовая машина занимают место, эквивалентное трем-четырем легковым машинам. При известном ψ общее количество транспортных средств, одновременно находящихся в тоннеле, $n_{\text{тр.ср.проб}}$, тр. ср., определяют по формуле

$$n_{\text{тр.ср.проб}} = \frac{\sum D_{\text{пр.проб}}}{\left(1 - \frac{\psi}{100}\right) + \frac{\psi}{100} \cdot (3 \text{ или } 4)}, \quad (15)$$

где $\sum D_{\text{пр.проб}}$ - общее приведенное количество транспортных средств при полной остановке движения, усл. лег. авт.; определяют по формуле (14);

ψ - то же, что в формуле (7).

Количество легковых машин с бензиновым и дизельным двигателями, легких грузовых машин с бензиновым и дизельным двигателями, а также грузовых машин и автобусов различной грузоподъемностью определяют по формулам (8)-(13).

6.3.2 Определение выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств, находящихся в тоннеле

6.3.2.1 Значения выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств (CO, NO₂, сажи) определяют на основании:

- "Технического регламента о требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ" [1];

- публикаций технического комитета по эксплуатации автодорожных тоннелей Мировой дорожной ассоциации "Автодорожные тоннели. Выбросы от транспорта и требования к воздуху для вентиляции" [5, 6].

6.3.2.2 Расчет выбросов осуществляют по величине, принятой в 2010 г. для технологического стандарта А, с учетом поправочных коэффициентов $f_{ст}$, f_h , f_t , f_m , $f_{ст,h}$ (приложение Г).

6.3.2.3 Выбросы Q CO, NO_x (в пересчете на NO₂), г/ч, сажи, частиц невыхлопного происхождения, м²/ч, для легковых и легких грузовых машин с бензиновым и дизельным двигателями вычисляют по формуле

$$Q_{л.г.р} = q_{баз} f_h f_t f_{ст} f_{ст,h} + q_{вв}, \quad (16)$$

где $q_{баз}$ - базовое значение выбросов CO, NO_x и сажи, г/ч или м²/ч; для легковых и легких грузовых машин с бензиновым и дизельным двигателями определяют в зависимости от средней скорости движения $V_{тр.ср}$, км/ч, и дорожного уклона тоннеля i , %, по таблицам А.1-А.3 (приложение А), таблицам Б.1-Б.3 (приложение Б) и таблицам В.1-В.2 (приложение В);

f_h - поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов с увеличением высоты над уровнем моря у легковых машин для технологического стандарта А; принимают по таблице Г.2 (приложение Г);

f_t - поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у легковых машин до 2030 г. относительно 2010 г. для технологического стандарта А; принимают по таблице Г.1 (приложение Г);

$f_{ст}$ - поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у транспортных средств различного типа для технологического стандарта В или С относительно технологического стандарта А; принимают соответственно по таблицам Г.6 и Г.7 (приложение Г);

$f_{ст,h}$ - поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у транспортных средств различного типа для стандарта В или С относительно технологического стандарта А с повышением высоты над уровнем моря; принимают по таблице Г.8 (приложения Г);

$q_{вв}$ - выбросы взвешенных частиц невыхлопного происхождения, образующихся в результате разрушения дорожного полотна, тормозных колодок, м²/ч; для частиц диаметром 2,5 мм определяют по таблице Д.1 (приложение Д).

Примечание - Выбросы сажи, м²/ч, рассчитывают только для машин с дизельными двигателями. Для пересчета от размерности м²/ч к размерности г/ч используют переводной коэффициент 4,7, т.е. 1 г=4,7 м².

6.3.2.4 Выбросы Q CO, NO_x (в пересчете на NO₂), г/ч, и сажи, м²/ч, для тяжелых грузовых машин с дизельным двигателем вычисляют аналогично выбросам от легковых и легких грузовых машин, за исключением дополнительного учета массы транспортных средств:

$$Q_{т.г.р} = q_{баз} f_h f_t f_{ст} f_m f_{ст,h} + q_{вв}, \quad (17)$$

где $q_{баз}$ - то же, что в формуле (16); для тяжелых грузовых машин определяют в зависимости от средней скорости движения $V_{тр.ср}$, км/ч, и дорожного уклона тоннеля i , %, по таблице А.4 (приложение А), таблице Б.4 (приложение Б) и таблице В.3 (приложение В);

f_h , f_t , $f_{ст}$, $f_{ст,h}$, $q_{вв}$ - то же, что в формуле (16);

f_m - поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов в зависимости от массы тяжелых грузовых машин с дизельным двигателем для стандарта А; принимают по таблице Г.5 (приложение Г).

Примечание - Выбросы сажи, м²/ч, рассчитывают только для машин с дизельными двигателями. Для пересчета от размерности м²/ч к размерности г/ч используют переводной коэффициент 4,7, т.е. 1 г=4,7 м².

6.3.3 Определение потребного количества воздуха при безаварийном режиме эксплуатации тоннеля

6.3.3.1 Объемный расход воздуха, необходимый для обеспечения ПДК CO, NO_x (в пересчете на NO₂) и сажи, G_{з.в}, м³/с, рассчитывают по формуле

$$G_{з.в} = \frac{1}{C_{ПДК} - C_{вх}} \cdot 0,28 (n_{л.б} Q_{л.б} + n_{л.д} Q_{л.д} + (n_{л.гр.б} + n_{л.гр.д}) Q_{л.гр} + n_{т.гр.15} Q_{т.гр.15} + n_{т.гр.32} Q_{т.гр.32}), \quad (18)$$

где C_{ПДК} - предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ, мг/м³; определяют по 6.2.6;

C_{вх} - концентрация загрязняющих веществ на входе в тоннель, мг/м³;

n_{л.б}, n_{л.д}, n_{л.гр.б}, n_{л.гр.д}, n_{т.гр.15}, n_{т.гр.32} - количество транспортных средств* различного типа, одновременно находящихся в тоннеле в час пик по всем полосам движения, тр. ср.; определяют соответственно по формулам (1)-(6);

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Q_{л.б}, Q_{л.д}, Q_{л.гр}, Q_{т.гр.15}, Q_{т.гр.32} - выбросы загрязняющих веществ (CO, NO₂ и сажи) соответственно от легковых машин с бензиновым и дизельным двигателями, от легких грузовых машин в расчете на комбинацию бензинового и дизельного двигателей, тяжелых грузовых машин массой 15 и 32 т, г/ч и м²/ч; определяют по формулам (16) и (17).

6.3.3.2 Объемный расход воздуха, обеспечивающий предельно допустимое значение видимости, G_{вид}, м³/с, рассчитывают по формуле

$$G_{вид} = \frac{1}{K_{осп}} \cdot 0,00028 (n_{л.б} Q_{л.б} + n_{л.д} Q_{л.д} + (n_{л.гр.б} + n_{л.гр.д}) Q_{л.гр} + n_{т.гр.15} Q_{т.гр.15} + n_{т.гр.32} Q_{т.гр.32}), \quad (19)$$

где K_{осп} - коэффициент ослабления, м⁻¹;

n_{л.б}, n_{л.д}, n_{л.гр.б}, n_{л.гр.д}, n_{т.гр.15}, n_{т.гр.32} - то же, что в формуле (18);

Q_{л.б}, Q_{л.д}, Q_{л.гр}, Q_{т.гр.15}, Q_{т.гр.32} - то же, что в формуле (18); вычисляют как сумму выбросов сажи и взвешенных частиц невыхлопного происхождения и измеряют в м²/ч.

6.3.3.3 Расчет объемного расхода воздуха выполняют для нормального режима с учетом выбросов CO и взвешенных частиц; для замедленного режима - с учетом выбросов CO, NO₂, сажи и взвешенных частиц; для режима транспортной пробки - с учетом выбросов CO, NO₂ и сажи.

Для дальнейших вычислений принимают наибольшее из вычисленных значений объемного расхода воздуха G_{max}, м³/с.

6.3.4 Определение расхода воздуха при возникновении пожара в тоннеле (без использования канала дымоудаления)

6.3.4.1 При возникновении пожара скорость движения воздушного потока в тоннеле должна превышать критическое значение, при котором отсутствует движение дымовых и пожарных газов от очага пожара в сторону, противоположную направлению движения воздуха (рисунок 11) [3].

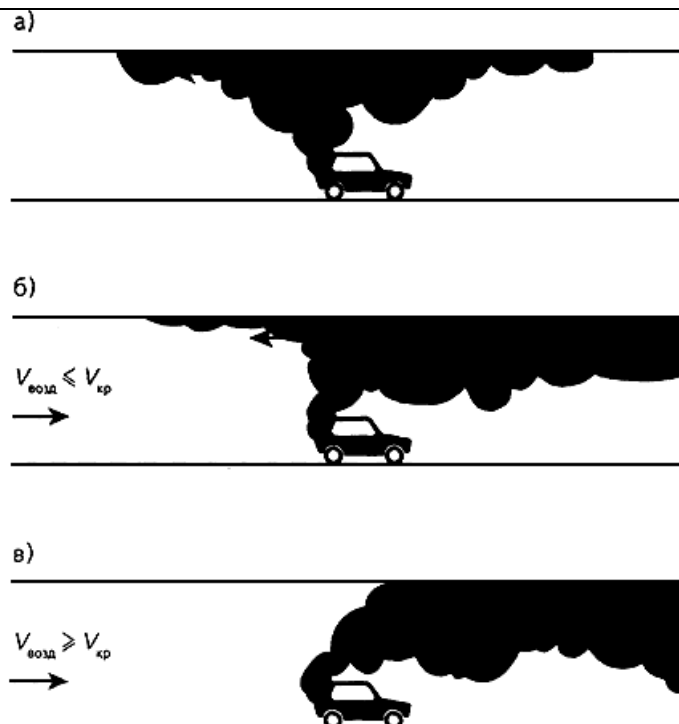


Рисунок 11 - Механизмы формирования противоположного вентиляционному потоку движения дымовых или пожарных газов при возникновении пожара в автодорожном тоннеле в зависимости от скорости воздуха в тоннеле $V_{\text{возд}}$: а - распространение дымовых или пожарных газов при отсутствии движения воздуха по тоннелю; б - вентиляция не предотвращает движение дымовых или пожарных газов в направлении, противоположном воздушному потоку (скорость движения воздуха меньше критической); в - вентиляция предотвращает движение дымовых или пожарных газов в направлении, противоположном воздушному потоку (скорость движения воздуха превышает критическую скорость)

6.3.4.2 Критическую скорость движения воздушного потока при пожаре $V_{\text{кр}}$, м/с, определяют по формуле

$$V_{\text{кр}} = A \left[\left(M \left(1 + \left(1 - \frac{2}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \right) - 1 \right)^{\frac{1}{3}} + \left(M \left(1 - \left(1 - \frac{2}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \right) - 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right], \quad (20)$$

где A - параметр, рассчитываемый по формуле

$$A = \frac{Q_{\text{п}}}{3\rho_{\text{в}}C_{\text{p}}F_{\text{T}}T_0}, \quad (21)$$

где $Q_{\text{п}}$ - конвективная мощность пожара, кВт;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха при температуре T_0 , кг/м³;

C_{p} - теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К); принимают $C_{\text{p}}=1,005$ кДж/(кг·К);

F_{T} - площадь сечения тоннеля, м²;

T_0 - температура входящего воздушного потока, К; $T_0 = t_0 + 273$;

M - параметр, рассчитываемый по формуле

$$M = \frac{1,5gH_{\text{T}}K_1^3K_{\text{г}}^3}{A^2}, \quad (22)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²;

H_T - высота тоннеля в месте возникновения пожара, м;

K_1 - коэффициент, равный 0,606;

K_g - коэффициент, учитывающий дорожный уклон тоннеля; при положительном дорожном уклоне тоннеля $K_g = 1$, при отрицательном уклоне с градиентом от 0 до 6% K_g возрастает от 1,00 до 1,15);

A - то же, что в формуле (20).

6.3.4.3 Расход воздуха, рассчитанный для аварийного режима, равный $G_{авар} = V_{кр} F_T$, м³/с, сравнивают со значениями объемного расхода воздуха, вычисленными из условия обеспечения нормативных параметров воздушной среды в тоннеле по CO, NO_x, саже, а также сочетанию сажи и взвешенных частиц невыхлопного происхождения, определяющих нормативное значение коэффициента ослабления $K_{осл}$.

Для дальнейших расчетов выбирают наибольшее из сравниваемых значений объемного расхода воздуха в тоннеле G_{max} (G_{CO} , G_{NO_x} , $G_{сажи}$, $G_{K_{осл}}$, $G_{авар}$).

6.4 Расчет потерь давления при движении воздуха по тоннелю

6.4.1 Общие потери давления при движении воздуха по тоннелю $\Delta P_{общ}$, Па, определяют по формуле

$$\Delta P_{общ} = \Delta P_{вх} + \Delta P_{вых} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{расш(суж)} + \Delta P_{ветр} + \Delta P_{гр} + \Delta P_{бар} + \Delta P_{порш}, \quad (23)$$

$\Delta P_{вх}$, $\Delta P_{вых}$ - потери давления соответственно на входном портале тоннеля и на портале тоннеля с исходящей вентиляционной струей, Па; $\Delta P_{вх}$ определяют по формуле (24), $\Delta P_{вых}$ - по формуле (26);

$\Delta P_{тр}$ - потери давления от трения воздуха о стены тоннеля, Па; определяют по формуле (27);

$\Delta P_{расш(суж)}$ - потери давления на преодоление сопротивлений при расширении (сужении) воздушного потока, Па; определяют по формуле (28);

$\Delta P_{ветр}$, $\Delta P_{гр}$, $\Delta P_{бар}$ - потери, связанные с действием соответственно ветровой, гравитационной и барометрической составляющей естественной тяги, Па; определяют соответственно по формулам (31)-(33);

$\Delta P_{порш}$ - потери давления на преодоление аэродинамического сопротивления движущихся (стоящих) транспортных средств, Па; определяют по формулам (34) и (35).

6.4.2 Потери давления на портале тоннеля с входящей вентиляционной струей $\Delta P_{вх}$, Па, определяют по формуле

$$\Delta P_{вх} = \xi_{вх} \frac{\rho_{вх} G_{max}^2}{2F_T^2}, \quad (24)$$

где $\xi_{вх}$ - коэффициент местного сопротивления портала с входящей вентиляционной струей; принимают по 6.2.3;

$\rho_{вх}$ - плотность воздуха при температуре у портала с входящей вентиляционной струей, кг/м³; рассчитывают по формуле

$$\rho_{вх} = 0,465 \frac{P_{ат}}{T_{вх}}, \quad (25)$$

где $P_{ат}$ - атмосферное давление, мм рт.ст.;

$T_{\text{вх}}$ - температура наружного воздуха на входе в тоннель, К; $T_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} + 273$;

G_{max} - объемный расход воздуха в тоннеле, м³/с; принимают по 6.3.4.3;

F_T - то же, что в формуле (21).

6.4.3 Потери давления на портале тоннеля с исходящей вентиляционной струей $\Delta P_{\text{вых}}$, Па, определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{вых}} = \xi_{\text{вых}} \frac{\rho_{\text{вых}} G_{\text{max}}^2}{2F_T^2}, \quad (26)$$

где $\xi_{\text{вых}}$ - коэффициент местного сопротивления портала с исходящей вентиляционной струей; принимают по 6.2.3;

$\rho_{\text{вых}}$ - плотность воздуха при температуре воздуха на выходе из тоннеля, кг/м³;

G_{max} - то же, что в формуле (24);

F_T - то же, что в формуле (21).

6.4.4 Потери давления от трения воздуха о стены тоннеля $\Delta P_{\text{тр}}$, Па, определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,125 \lambda_{\text{тр}} \frac{\rho_{\text{в}} U_T L_T G_{\text{max}}^2}{F_T^3}, \quad (27)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ - коэффициент трения; принимают по 6.2.3;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха, рассчитанная по средней температуре воздуха в тоннеле, кг/м³;

U_T - периметр тоннеля, м;

L_T - то же, что в формуле (1); измеряют в метрах;

G_{max} - то же, что в формуле (24);

F_T - то же, что в формуле (21).

6.4.5 Потери давления на преодоление сопротивлений при расширении (сужении) воздушного потока $\Delta P_{\text{расш(суж)}}$, Па, определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{расш(суж)}} = 0,5 \xi_{\text{расш(суж)}} \frac{G_{\text{max}}^2 \rho_{\text{в}}}{S_{\text{уз.с}}^2}, \quad (28)$$

где $\xi_{\text{расш(суж)}}$ - коэффициент местных сопротивлений внезапного расширения (сужения) потока для тоннеля, имеющего коэффициент трения $\lambda_{\text{тр}}$; рассчитывают по формулам

$$\xi_{\text{расш}} = \xi_{\text{расш.пл}} (1 + 12,5 \rho_{\text{в}} \lambda_{\text{тр}}); \quad (29)$$

$$\xi_{\text{суж}} = \xi_{\text{суж.пл}} (1 + 9,62 \rho_{\text{в}} \lambda_{\text{тр}}); \quad (30)$$

где $\xi_{\text{расш.пл}}$, $\xi_{\text{суж.пл}}$ - коэффициенты местного сопротивления соответственно на расширение и сужение потока без учета вида поверхности тоннеля (без шероховатости); определяют по рисунку 12;

$\rho_{\text{в}}$, $\lambda_{\text{тр}}$ - то же, что в формуле (27);

C_{\max} - то же, что в формуле (25);

$S_{уз.с}$ - сечение тоннеля в узком месте, м².

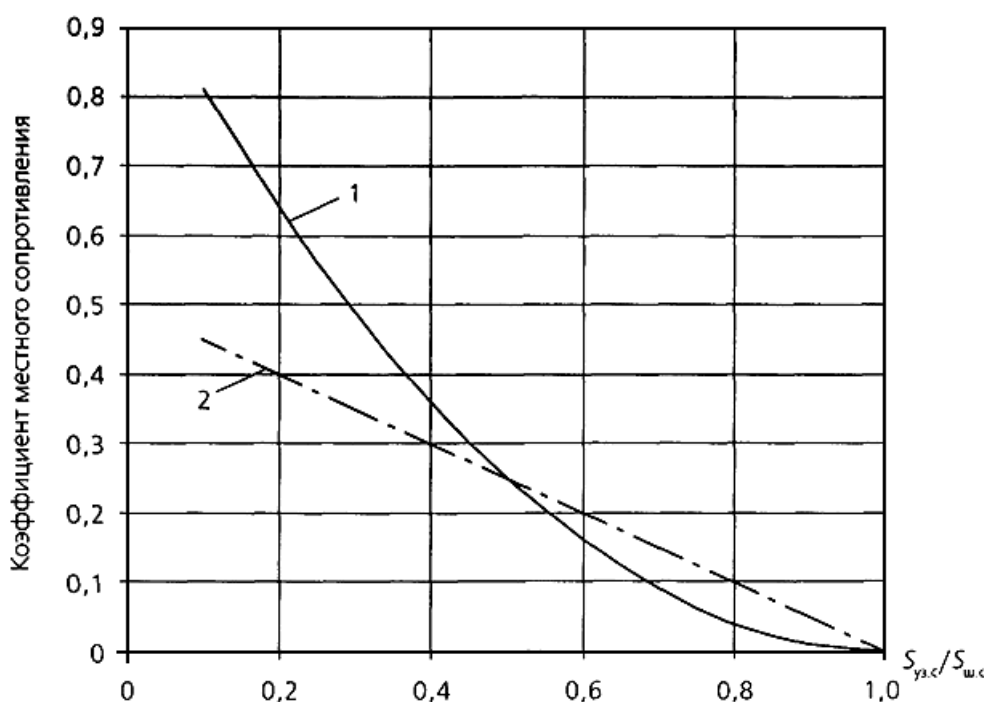


Рисунок 12 - Значения коэффициентов местного сопротивления при внезапном расширении $\xi_{расш.гл}$ (1) и сужении $\xi_{суж.гл}$ (2) потока без учета шероховатости: $S_{уз.с} / S_{ши.с}$ - отношение сечений тоннеля в узком и широком местах

6.4.6 Ветровой напор (нагрузку) $\Delta P_{ветр}$, Па, вычисляют по формуле

$$\Delta P_{ветр} = 0,5 C_0 \rho_{н} V_{ветр}^2 \cos^2 \psi_{ветр}, \quad (31)$$

где C_0 - коэффициент обтекания портала; принимают по 6.2.3;

$\rho_{н}$ - плотность наружного воздуха, кг/м³;

$V_{ветр}$ - скорость ветра, м/с;

$\psi_{ветр}$ - угол между направлением ветра и горизонтальной осью тоннеля, град.

6.4.7 Гравитационную (тепловую) составляющую естественной тяги $\Delta P_{гр}$, Па, определяют по формуле

$$\Delta P_{гр} = \frac{0,232 g \Delta H (P_A + P_B) (t_{ср} - t_B)}{(273 + t_{ср})(273 + t_B)}, \quad (32)$$

где g - то же, что в формуле (22);

ΔH - разность высотных отметок порталов с большей А и меньшей В высотными отметками, м;

P_A, P_B - атмосферное давление соответственно у порталов с большей и меньшей высотными отметками, мм рт. ст.;

$t_{ср}, t_B$ - соответственно средняя температура воздуха в тоннеле и температура атмосферного воздуха у портала с меньшей высотной отметкой, °С.

6.4.8 Барометрическую составляющую естественной тяги (орографическую добавку к гравитационному напору) $\Delta P_{бар}$, Па, обусловленную температурной неоднородностью воздушной среды у различно ориентированных горных склонов, определяют как разность атмосферных давлений у порталов тоннеля,

приведенных к одному уровню. При отсутствии точных данных о величинах атмосферных давлений величину $\Delta P_{\text{бар}}$, Па, рассчитывают по формуле

$$\Delta P_{\text{бар}} = \frac{0,93gH_{\Gamma}(t_A - t_B)P_{\Gamma}}{2t_A + 546 - 0,042H_{\Gamma}} \times \frac{1}{t_B + t_A + 546 - 0,042H_{\Gamma}}, \quad (33)$$

где g - то же, что в формуле (22);

H_{Γ} - высота горы, отсчитываемая от портала с большей высотной отметкой, м;

t_A - температура атмосферного воздуха у портала с большей высотной отметкой, °С;

t_B - то же, что в формуле (32);

P_{Γ} - давление воздуха в наивысшей точке горы, через которую проходит тоннель, мм рт.ст.

6.4.9 Потери давления на преодоление аэродинамического сопротивления $\Delta P_{\text{порш}}$, Па, движущихся в противоположных направлениях, в одном направлении и стоящих транспортных средств, находящихся в тоннеле, определяют относительными скоростями движения воздуха и транспортных средств, соотношением миделева сечения транспортных средств и сечения тоннеля и коэффициентами лобового сопротивления транспортных средств.

6.4.9.1 Зависимость для вычисления $\Delta P_{\text{порш}}$, Па, при движении вышеперечисленных типов транспортных средств по полосам в противоположных направлениях имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{порш}} = & \frac{0,5\rho_{\text{в}}}{F_{\text{T}}} ([n_{\text{л}}S_{\text{мл}}C_{\text{лл}}(V_{\text{л}} - V_{\text{ср}})^2 + n_{\text{л.гр}}S_{\text{мл.гр}}C_{\text{лл.гр}}(V_{\text{л.гр}} - V_{\text{ср}})^2 + \\ & + (n_{\text{т.гр.15}} + n_{\text{т.гр.32}}) \times n_{\text{т.гр}}S_{\text{мт.гр}}C_{\text{лт.гр}}(V_{\text{т.гр}} - V_{\text{ср}})^2] - [n'_{\text{л}}S_{\text{мл}}C_{\text{лл}}(V_{\text{л}} - V_{\text{ср}})^2 + \\ & + n'_{\text{л.гр}}S_{\text{мл.гр}}C_{\text{лл.гр}}(V_{\text{л.гр}} - V_{\text{ср}})^2 + (n'_{\text{т.гр.15}} + n'_{\text{т.гр.32}}) \times S_{\text{мт.гр}}C_{\text{лт.гр}}(V_{\text{т.гр}} - V_{\text{ср}})^2]). \end{aligned} \quad (34)$$

где $\rho_{\text{в}}$ - то же, что в формуле (27);

F_{T} - то же, что в формуле (21);

$n_{\text{л}}$, $n_{\text{л.гр}}$, $n_{\text{т.гр.15}}$, $n_{\text{т.гр.32}}$, $n_{\text{т.гр}}$, $n'_{\text{л}}$, $n'_{\text{л.гр}}$, $n'_{\text{т.гр.15}}$, $n'_{\text{т.гр.32}}$ - количество транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле и движущихся по полосам в противоположных направлениях; принимают по формулам (1)-(6); штрихи у обозначений относятся к транспорту, движущемуся против воздушного потока;

$S_{\text{мл}}$, $S_{\text{мл.гр}}$, $S_{\text{мт.гр}}$ - миделево сечение соответственно легковой, легкой грузовой и тяжелой грузовой машин, м²; принимают по таблице 5;

$C_{\text{лл}}$, $C_{\text{лл.гр}}$, $C_{\text{лт.гр}}$ - коэффициент лобового сопротивления соответственно легковой, легкой грузовой и тяжелой грузовой машин; принимают по таблице 5;

$V_{\text{л}}$, $V_{\text{л.гр}}$, $V_{\text{т.гр}}$ - то же, что в формулах (1)-(6);

$V_{\text{ср}}$ - средняя скорость воздуха, м/с.

6.4.9.2 При движении транспортных средств в одном направлении в формуле (34) второй многочлен в квадратных скобках принимают равным нулю.

6.4.9.3 Потери давления на преодоление аэродинамического сопротивления $\Delta P_{\text{порш}}$, Па, стоящих в тоннеле транспортных средств (скорость движения транспортных средств принимают равной нулю) определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{порш}} = \frac{0,5\rho_{\text{в}}V_{\text{ср}}^2}{F_{\text{T}}} ((n_{\text{л}} + n'_{\text{л}}) S_{\text{мл}} C_{\text{лл}} + (n_{\text{л.гр}} + n'_{\text{л.гр}}) \times S_{\text{мл.гр}} C_{\text{лл.гр}} + (n_{\text{т.гр.15}} + n_{\text{т.гр.32}} + n'_{\text{т.гр.15}} + n'_{\text{т.гр.32}}) \times S_{\text{мт.гр}} C_{\text{лт.гр}}), \quad (35)$$

где $\rho_{\text{в}}$ - то же, что в формуле (27);

$V_{\text{ср}}$, $n_{\text{л}}$, $n'_{\text{л}}$, $S_{\text{мл}}$, $C_{\text{лл}}$, $n_{\text{л.гр}}$, $n'_{\text{л.гр}}$, $S_{\text{мл.гр}}$, $C_{\text{лл.гр}}$, $n_{\text{т.гр.15}}$, $n_{\text{т.гр.32}}$, $n'_{\text{т.гр.15}}$, $n'_{\text{т.гр.32}}$, $S_{\text{мт.гр}}$, $C_{\text{лт.гр}}$ - то же, что в формуле (34);

F_{T} - то же, что в формуле (21).

Если принять, что при возникновении пожара часть транспортных средств, находящихся по обе стороны от очага пожара, по направлению их движения покинет тоннель, то при вычислении $\Delta P_{\text{порш}}$ необходимо учесть только те транспортные средства, которые остались в тоннеле перед очагом пожара.

6.5 Расчет количества струйных вентиляторов

6.5.1 Суммарную тягу струйных вентиляторов $N_{\text{общ}}$, Н, обеспечивающую в тоннеле заданный расход воздуха, находят по формуле

$$N_{\text{общ}} = \Delta P_{\text{общ}} F_{\text{T}}, \quad (36)$$

где $\Delta P_{\text{общ}}$ - общие потери давления при движении воздуха по тоннелю, Па; рассчитывают по формуле (23);

F_{T} - то же, что в формуле (21).

6.5.2 Величину тяги, развиваемую одним струйным вентилятором, $N_{\text{вент}}$, Н, определяют по формуле

$$N_{\text{вент}} = N_{\text{ном}} k_1 k_2 k_3 k_4 k_5, \quad (37)$$

где $N_{\text{ном}}$ - номинальная величина тяги, измеренная во время стендовых испытаний, Н;

k_1 - коэффициент, учитывающий снижение передачи импульса струйного вентилятора относительно номинального вследствие отличия средней скорости воздушного потока $V_{\text{ср}}$ в тоннеле от нулевого значения, имевшего место при испытаниях; вычисляют по формуле

$$k_1 = \frac{V_0 - V_{\text{ср}}}{V_0}, \quad (38)$$

где V_0 - скорость воздушного потока на выходе из струйного вентилятора, м/с;

$V_{\text{ср}}$ - то же, что в формуле (34);

k_2 - коэффициент, учитывающий снижение передачи импульса струйного вентилятора относительно номинального вследствие эффекта трения воздушного потока, выходящего из вентилятора, о поверхности обделки в своде или стенах тоннеля при различном расположении вентилятора в сечении тоннеля (см. рисунок 8); коэффициент k_2 в зависимости от параметра $2Z/(D_{\text{T}} - d_{\text{вент}})$ (где Z - расстояние от центра вентилятора до поверхности свода тоннеля или его стены, м; D_{T} - гидравлический диаметр тоннеля, м; $d_{\text{вент}}$ - диаметр выходного отверстия вентилятора, м) определяют по рисунку 13;

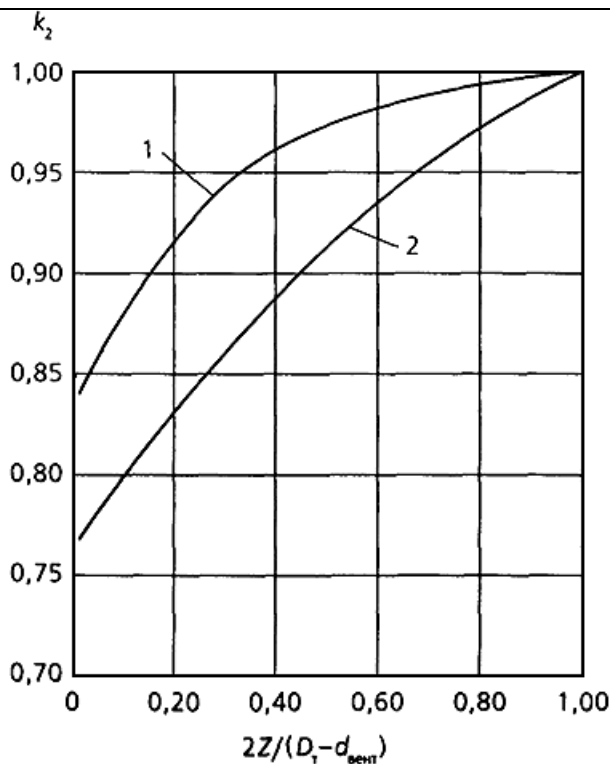


Рисунок 13 - Величина коэффициента k_2 в зависимости от параметра $2Z/(D_T - d_{\text{вент}})$ при размещении вентилятора у свода тоннеля (1) и на сопряжении свода и боковой поверхности тоннеля (в углу) (2)

k_3 - коэффициент, учитывающий изменение импульса струйного вентилятора относительно номинального вследствие снижения потерь на трение при отклонении выходящей вентиляционной струи от поверхности обделки тоннеля; коэффициент k_3 в зависимости от угла отклонения воздушного потока для различных величин параметра $2Z/(D_T - d_{\text{вент}})$ определяют по рисунку 14;

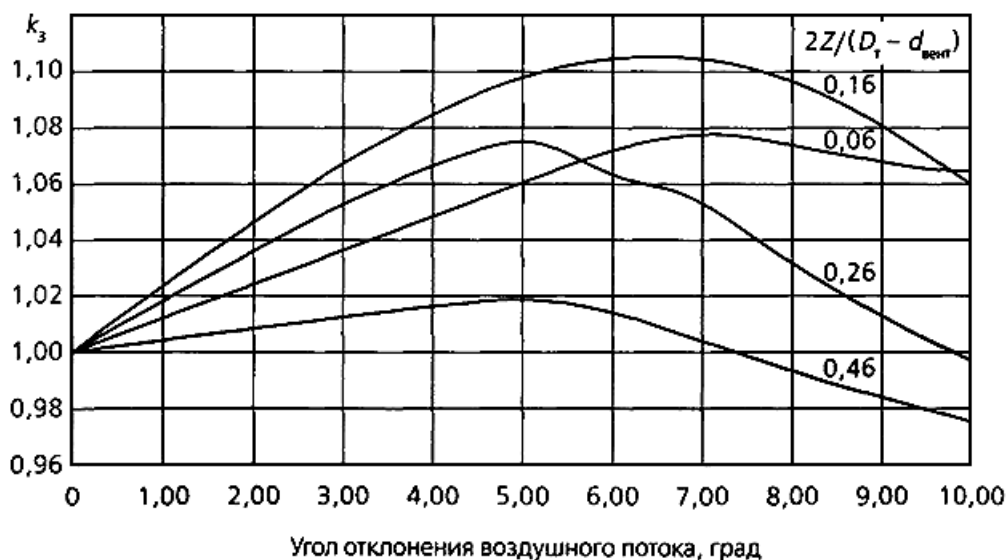


Рисунок 14 - Величина коэффициента k_3 в зависимости от угла отклонения воздушного потока для различных величин параметра $2Z/(D_T - d_{\text{вент}})$

Примечание - При размещении струйных вентиляторов в нише, выполненной у свода тоннеля или в его стене (см. рисунки 9, 10), используют результирующий коэффициент, учитывающий потери на трение из-за взаимодействия воздушного потока с поверхностью обделки в нише, $k_{\text{рез}} = k_2 k_3$, определяемый по таблице 8. Таблица 8 характеризует значение коэффициентов для одиночного вентилятора. При размещении в нише двух и более вентиляторов величины, приведенные в таблице 8, уменьшают на 15%. Установка дефлекторов позволяет избежать прямого столкновения воздушного потока с поверхностями ниши. Вследствие этого

величина $k_{рез}$ при расположении вентиляторов параллельно оси тоннеля повышается на 0,10-0,15 относительно значения, приведенного в таблице 8 при нулевом угле отклонения воздушного потока, град.

Таблица 8 - Значение коэффициента $k_{рез}$ при размещении вентилятора в нише

Угол отклонения воздушного потока, град	$k_{рез}$
0	0,82
5	0,88
10	0,93
15	0,90

k_4 - коэффициент, учитывающий снижение передачи импульса струйного вентилятора относительно номинального при уменьшении продольного расстояния между группами струйных вентиляторов, размещенных по длине тоннеля, ниже величины $10D_T$ в случае установки вентиляторов параллельно оси тоннеля и ниже величины $6-8D_T$ при использовании дефлекторов, отклоняющих воздушный поток, выходящий из вентилятора, на $5^\circ-10^\circ$; при $L_{прод} > 10D_T$ или $L_{прод} > 6-8D_T$ принимают $k_4=1,0$;

k_5 - коэффициент, учитывающий изменение импульса струйного вентилятора относительно номинального в зависимости от расстояния между порталом с исходящей вентиляционной струей и местом установки струйных вентиляторов; коэффициент k_5 определяют по рисунку 15.

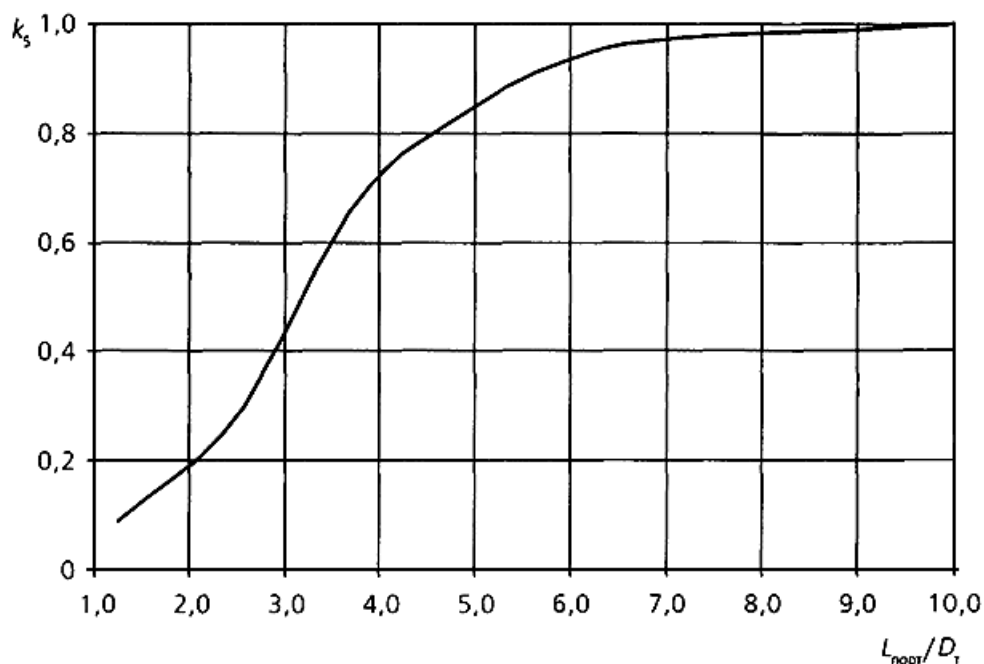


Рисунок 15 - Значение коэффициента k_5 в зависимости от расстояния между порталом с исходящей вентиляционной струей и местом установки струйных вентиляторов: $L_{порт}/D_T$ - отношение расстояния между порталом с исходящей вентиляционной струей и местом установки струйных вентиляторов к гидравлическому диаметру

6.5.3 Количество струйных вентиляторов $n_{вент}$, обеспечивающих в тоннеле заданный расход воздуха, будет равно

$$n_{вент} = \frac{N_{общ}}{N_{вент}}, \quad (39)$$

где $N_{общ}$ - суммарная тяга струйных вентиляторов, обеспечивающая в тоннеле заданный расход воздуха, Н; определяют по формуле (36);

$N_{\text{вент}}$ - фактическая величина тяги, развиваемая одним струйным вентилятором, Н; определяют по формуле (37).

6.5.4 Типоразмер струйного вентилятора выбирают с учетом габарита приближения тоннеля, возможности размещения в одном сечении не менее двух струйных вентиляторов, выполнения условия, определяющего величину продольного расстояния между местами установки вентиляторов $l_{\text{прод}} \geq 10D_T$, и необходимости резервирования требуемого количества вентиляторов для обеспечения работоспособности системы вентиляции в случае выхода из строя части из них.

7 Пример расчета продольной системы вентиляции автодорожного тоннеля

7.1 Исходные данные

Необходимо осуществить выбор параметров продольной вентиляции для автодорожного тоннеля, запланированного к пуску в 2015 году и имеющего следующие характеристики:

7.1.1 Район размещения тоннеля - город.

7.1.2 Геометрические характеристики тоннеля:

- длина $L_T = 1200 \text{ м} = 1,2 \text{ км}$;

- площадь сечения $F_T = 75 \text{ м}^2$;

- периметр $U_T = 31 \text{ м}$.

7.1.3 Характеристики транспортного потока:

- число полос движения $n_{\text{полл}} = 2$;

- направление движения транспортных средств по полосам движения - двустороннее;

- приведенная интенсивность движения транспортных средств в нормальном режиме для часа пик $D_{\text{пр.чп}} = 1800 \text{ усл. лег. авт./ч}$;

- установленная (нормальная) скорость движения по каждой полосе $V_{\text{тр.ср}} = 60 \text{ км/ч}$;

- скорость движения транспортных средств при замедленном движении $V_{\text{тр.ср}} = 10 \text{ км/ч}$;

- приведенная интенсивность движения транспортных средств для часа пик при замедленном движении $D_{\text{пр.чп.зам}}$ - 57% от приведенной интенсивности при нормальном движении $D_{\text{пр.чп.уст}}$;

- относительное количество в транспортном потоке машин разного типа: $\psi = 20\%$, $\chi = 10\%$, $\omega = 20\%$, $\sigma = 49\%$, $\beta = 70\%$.

7.1.4 Метеорологические параметры атмосферного воздуха у порталов тоннеля, орографическая характеристика местности, фоновый уровень загрязнений атмосферного воздуха:

- высота горы, через которую проходит тоннель, $H_T = 300 \text{ м}$;

- высотная отметка портала А над уровнем моря - 100 м;

- высотная отметка портала В над уровнем моря - 76 м;

- дорожный уклон тоннеля $i = 2\%$;

- скорость ветра у портала В $V_{В.ветр}=5$ м/с;
- угол между направлением ветра и горизонтальной осью тоннеля $\psi_{ветр}=60^\circ$;
- скорость ветра у портала А $V_{А.ветр}=0$ м/с;
- температура атмосферного воздуха у портала А $t_A=15$ °С;
- атмосферное давление воздуха у портала А $P_A=755$ мм рт. ст.;
- температура атмосферного воздуха у портала В $t_B=16$ °С;
- атмосферное давление воздуха у портала В $P_B=757,5$ мм рт.ст.;
- атмосферное давление воздуха на высотной отметке горы, через которую проходит тоннель, $P_T=734$ мм рт.ст.;
- средняя температура воздуха в тоннеле $t_{ср}=20$ °С;
- повышение температуры воздуха в тоннеле по направлению движения воздушной струи $\Delta t=10$ °С.

7.1.5 ПДК загрязняющих веществ в воздухе тоннеля, коэффициент ослабления:

- технологический стандарт, определяющий величину выбросов от транспортных средств, - С;
- ПДК СО для режимов А, Б - 80 мг/м³, для режима В - 115 мг/м³ (см. таблицу 6);
- ПДК NO₂ для режимов Б и В - 5 мг/м³;
- ПДК сажи (взвешенных частиц выхлопного происхождения) для режимов Б и В - 4 мг/м³;
- коэффициент ослабления - для режима А $K_{осл}=0,005$ м⁻¹, для режима Б $K_{осл}=0,007$ м⁻¹; для режима В $K_{осл}=0,009$ м⁻¹ (см. таблицу 6);
- коэффициент трения $\lambda_{тр}=0,031$;
- протяженность участка, предназначенного для аварийной остановки транспорта, $L_{ав.ост}=30$ м; периметр $U_{ав.ост}=33,6$ м;
- сечение тоннеля на участке, предназначенном для аварийной остановки транспорта, $S_{ав.ост}=90$ м²;
- периметр сечения участка аварийной остановки $U_{ав.ост}=33,6$ м;
- высота тоннеля в месте возникновения пожара - 8,5 м.

7.1.6 Проектная мощность пожара $Q_{п}=100$ МВт.

7.2 Расчет необходимого количества воздуха для проветривания тоннеля

7.2.1 Определение количества транспортных средств каждого типа, одновременно находящихся в тоннеле, для условий часа пик и полного прекращения движения

Данные об интенсивностях движения транспортных средств отсутствуют, поэтому расчет выполняют по заданной величине приведенной интенсивности движения транспортных средств с использованием формул (1)-(13).

Общую интенсивность движения транспортных средств в час пик для нормального режима находят по формуле (7) при $D_{пр,чп} = 1800$ усл. лег. авт./ч:

$$C_{чп,уст} = \frac{1800}{\left(1 - \frac{20}{100}\right) + \frac{20}{100} \cdot 2} = 1500 \text{ тр. ср./ч.}$$

Интенсивности движения транспортных средств различного типа находят по формулам (8)-(13):

$$A_{п.б} = 1500 (1 - 0,01 \cdot 20) \frac{1 - 0,01 \cdot 20}{1 + 0,01 \cdot 10} = 873 \text{ тр. ср./ч;}$$

$$A_{п.д} = 1500 (1 - 0,01 \cdot 20) \frac{0,01 \cdot 20}{1 + 0,01 \cdot 10} = 218 \text{ тр. ср./ч;}$$

$$E_{л.гр} = (E_{л.гр.б} + E_{л.гр.д}) = 1500 (1 - 0,01 \cdot 20) \frac{0,01 \cdot 10}{1 + 0,01 \cdot 10} = 109 \text{ тр. ср./ч;}$$

$$B_{т.гр.15} = 0,0001 \cdot 20 \cdot 70 \cdot 1500 = 210 \text{ тр. ср./ч;}$$

$$B_{т.гр.32} = 0,01 \cdot 20 (1 - 0,01 \cdot 70) \cdot 1500 = 90 \text{ тр. ср./ч.}$$

Количество транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле, в час пик по всем полосам движения устанавливают по формулам (1)-(6):

$$n_{п.б} = \frac{873 \cdot 1,2}{60} = 18 \text{ тр. ср.};$$

$$n_{п.д} = \frac{218 \cdot 1,2}{60} = 4 \text{ тр. ср.};$$

$$n_{л.гр} = \frac{109 \cdot 1,2}{60} = 2 \text{ тр. ср.};$$

$$n_{т.гр.15} = \frac{210 \cdot 1,2}{60} = 4 \text{ тр. ср.};$$

$$n_{т.гр.32} = \frac{90 \cdot 1,2}{60} = 2 \text{ тр. ср.}$$

Для замедленного режима и режима транспортной пробки интенсивности движения и количество транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле, определяют аналогичным образом при приведенной интенсивности движения транспортных средств для часа пик, составляющей 57% от приведенной интенсивности при нормальном движении и приведенном количестве транспортных средств различного типа при полной остановке движения из расчета 165 усл. лег. авт./км. пол.

Результаты вычислений сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Интенсивности движения, тр. ср./ч, и количество транспортных средств различного типа, одновременно находящихся в тоннеле, тр. ср., для режимов А, Б и В

Режим движения	Легковые с бензиновым двигателем		Легковые с дизельным двигателем		Легкие грузовые в комбинации бензинового и дизельного двигателя		Тяжелые грузовые массой 15 т		Тяжелые грузовые массой 32 т	
	$A_{п.б}$	$n_{п.б}$	$A_{п.д}$	$n_{п.д}$	$E_{л.гр}$	$n_{л.гр}$	$B_{т.гр.15}$	$n_{т.гр.15}$	$B_{т.гр.32}$	$n_{т.гр.32}$
А	873	18	218	4	109	2	210	4	90	2
Б	497	60	124	15	62	7	120	14	51	6
В	-	165	-	41	-	21	-	40	-	17

7.2.2 Определение выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств, находящихся в тоннеле

Базовые значения выбросов загрязняющих веществ (CO, NO_x, сажи), установленные для технологического стандарта А в зависимости от типа транспортного средства, режимов его движения и дорожного уклона тоннеля (приложения А-В), а также значения выбросов взвешенных частиц невыхлопного происхождения (приложение Д) приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Базовые значения выбросов CO, NO₂, сажи, взвешенных частиц невыхлопного происхождения от транспортных средств различного типа

Загрязняющее вещество	Легковые машины с бензиновым двигателем						Легковые машины с дизельным двигателем						Легкие грузовые машины (с бензиновым и дизельным двигателями)						Тяжелые грузовые машины массой 23 т с дизельным двигателем					
	Дорожный уклон тоннеля, %																							
	2		-2		2		-2		2		-2		2		-2		2		-2					
	Режим движения																							
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
CO, г/ч	97,5	32	20,5	49,4	27,8	20,5	3,3	5,1	1,0	3,4	2,2	1,0	21,6	16,5	2,3	18,2	8,7	2,3	67,2	44,5	12,5	35,4	32,8	12,5
NO ₂ , г/ч	15,7	5,1	1,6	4,9	3,3	1,6	50,3	15,8	6,3	10,7	6,3	6,3	50,0	18,3	9,1	19,8	10,4	9,1	467,8	192,8	12,5	150,0	115,9	12,5
Сажа (взвешенные частицы выхлопного происхождения)*, м ² /ч	-	-	-	-	-	-	14,4	4,1	1,4	2,6	1,4	1,4	17,1	4,1	6,4	4,8	1,3	6,4	43,6	21,4	11,0	17,5	15,5	11,0
Взвешенные частицы невыхлопного происхождения, м ² /ч	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	29,3	4,9	-	29,3	4,9	-

* Только в расчете на дизельный двигатель.

Значения выбросов загрязняющих веществ для технологического стандарта С, планируемого года пуска тоннеля, высоты над уровнем моря, массы машин определяют с учетом поправочных коэффициентов, принятых по приложению Г. Значения этих коэффициентов, а также величины суммарного поправочного коэффициента $f_{общ}$ приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Поправочные коэффициенты на величины выбросов загрязняющих веществ

Коэффициент	Легковые машины с бензиновым двигателем			Легковые машины с дизельным двигателем			Легкие грузовые машины (с бензиновым и дизельным двигателями)			Тяжелые грузовые машины массой 15 т с дизельным двигателем			Тяжелые грузовые машины массой 32 т с дизельным двигателем		
	CO	NO ₂	Сажа	CO	NO ₂	Сажа	CO	NO ₂	Сажа	CO	NO ₂	Сажа	CO	NO ₂	Сажа
f_T	0,75	0,65	-	0,74	0,76	0,55	0,72	0,76	0,54	0,58	0,61	0,59	0,58	0,61	0,59
f_h	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	0,70	0,70	1,90	1,90	1,90

$f_{ст}$	2,90	2,80	-	4,00	1,20	2,00	3,50	1,50	2,60	2,30	1,80	2,80	2,30	1,80	2,80
$f_{ст.h}$	1,46	1,00	-	1,33	1,00	1,00	1,40	1,00	1,00	1,33	1,00	1,00	1,33	1,00	1,00
$f_{общ} =$ $= f_{т} f_{h} f_{м} f_{ст} f_{ст.h}$	3,18	1,82	-	3,94	0,91	1,10	3,53	1,14	1,40	1,24	0,77	1,16	3,37	2,09	3,14

Данные таблиц 10-11 используют для вычисления выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств различного типа.

Например, выбросы NO_x (в пересчете на NO_2) от тяжелых грузовых машин массой 32 т для замедленного режима с учетом формулы (17) составят

$$Q_{NO_2} = q_{баз} f_{общ} = 192,8 \cdot 2,09 = 403,0 \text{ г/ч.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 12.

Таблица 12 - Значения выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств различного типа с учетом корректирующих коэффициентов

Загрязняющее вещество	Легковые машины с бензиновым двигателем						Легковые машины с дизельным двигателем						Легкие грузовые машины (с бензиновым и дизельным двигателями)						Тяжелые грузовые машины массой 15 т с дизельным двигателем						Тяжелые грузовые машины массой 32 т с дизельным двигателем					
	Дорожный уклон тоннеля, %																													
	2		-2		2		-2		2		-2		2		-2		2		-2		2		-2							
	Режим движения																													
	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В	A	Б	В
CO, г/ч	310,1	101,8	65,2	157,1	88,4	65,2	13,0	20,1	3,9	13,4	8,7	3,9	76,2	58,2	8,1	64,2	30,7	8,1	83,3	55,2	15,5	43,9	40,7	15,5	226,5	150,0	42,1	119,3	110,5	42,1
NO ₂ , г/ч	28,6	9,3	2,9	8,9	6,0	2,9	45,8	14,4	5,7	9,7	5,7	5,7	57,0	20,9	10,4	22,6	11,9	10,4	360,2	148,5	9,6	115,5	89,2	9,6	977,7	403,0	26,1	313,5	242,2	26,1
Сажа (взвешенные частицы выхлопного происхождения)*, м ² /ч	-	-	-	-	-	-	15,8	4,5	1,5	2,9	1,5	1,5	23,9	5,7	9,0	6,7	1,8	9,0	50,6	24,8	12,8	20,3	18,0	12,8	136,9	67,2	34,5	55,0	48,7	34,5
Взвешенные частицы невыхлопного происхождения, м ² /ч	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	7,9	1,3	-	29,3	4,9	-	29,3	4,9	-	29,3	4,9	-

* Только в расчете на дизельный двигатель.

Суммарные значения выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств различного типа, находящихся в тоннеле, рассчитывают по их количеству (таблица 9) и значению выбросов (таблица 12). При этом принимают, что количество машин, движущихся по дорожному уклону тоннеля вверх (к порталу А) и вниз (к порталу В), равны между собой.

Например, суммарные значения выбросов NO_x (в пересчете на NO_2) от тяжелых грузовых машин массой 32 т для замедленного режима с учетом формулы (17) составят

$$Q_{NO_2} = 3 \cdot 403,0 + 3 \cdot 242,2 = 1935,6 \text{ г/ч.}$$

Результаты вычислений для рассматриваемых типов транспортных средств и режимов их движения представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Суммарные значения выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств различного типа, находящихся в тоннеле

Режим движения	Загрязняющее вещество	Тип транспортных средств	Всего
----------------	-----------------------	--------------------------	-------

		Легковые с бензиновым двигателем	Легковые с дизельным двигателем	Легкие грузовые в комбинации бензинового и дизельного двигателя	Тяжелые грузовые массой 15 т с дизельным двигателем	Тяжелые грузовые массой 32 т с дизельным двигателем	
А	СО, г/ч	4204,8	52,8	140,4	254,4	345,8	4998,2
	Сажа, м ² /ч	-	37,4	30,6	141,8	191,9	401,7
	Взвешенные частицы невыхлопного происхождения, м ² /ч	142,2	31,6	15,8	117,2	58,6	365,4
Б	СО, г/ч	5706,0	216,0	311,2	671,3	781,5	7686,0
	NO ₂ , г/ч	459,0	150,8	114,8	1663,9	1935,6	4324,1
	Сажа, м ² /ч	-	45,0	26,3	299,6	347,7	718,6
	Взвешенные частицы невыхлопного происхождения, м ² /ч	78,0	19,5	9,1	68,6	29,4	204,6
В	СО, г/ч	10758,0	159,9	170,1	620,0	715,7	12423,7
	NO ₂ , г/ч	478,5	233,7	218,4	384,0	443,7	1758,3
	Сажа, м ² /ч	-	61,5	189,0	512,0	586,5	1349,0
	Взвешенные частицы невыхлопного происхождения, м ² /ч	-	-	-	-	-	-

7.2.3 Определение расхода воздуха при безаварийном режиме эксплуатации тоннеля

Объемный расход воздуха, необходимый для обеспечения ПДК СО, NO_x (в пересчете на NO₂) и сажи, G_{з.в}, м³/с, вычисляют по формуле (18). Принимая для замедленного режима ПДК NO₂ равной 5 мг/м³ и используя представленные в таблице 13 значения выбросов NO₂ от транспортных средств различного типа, получим

$$G_{NO_2} = \frac{1}{5-0} \cdot 0,28(459,0+150,8+114,8+1663,9+1935,6) = 242,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход воздуха, обеспечивающий нормативное значение видимости, G_{вид}, м³/с, рассчитывают по формуле (19). При принятом значении коэффициента ослабления K_{осд} для замедленного режима 0,007 м⁻¹ и рассчитанных суммарных значениях выбросов сажи и взвешенных частиц невыхлопного происхождения (см. таблицу 13) объемный расход воздуха составит

$$G_{\text{вид}} = \frac{0,00028(718,6+204,6)}{0,007} = 36,9 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Результаты расчетов расходов воздуха по остальным параметрам приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Объемный расход воздуха для обеспечения нормативных параметров воздушной среды в тоннеле

В кубических метрах в секунду

Показатель	Расход воздуха при режиме движения		
	А	Б	В
СО	17,5	26,9	30,2
NO ₂	-	242,1	98,5
Сажа	-	42,8	80,4
Видимость	43,0	36,9	42,0

7.2.4 Определение расхода воздуха при возникновении пожара в тоннеле

Для расчета расхода воздуха в аварийном режиме необходимо определить критическую скорость движения воздушного потока при пожаре $V_{кр}$, м/с. Коэффициенты A и M , требуемые для нахождения этой величины, вычисляются соответственно по формулам (21) и (22) при $K_g=1,055$, что соответствует отрицательному углу дорожного уклона тоннеля -2% и $H_T=8,5$ м при движении воздуха по тоннелю в направлении портала В, и плотности воздуха ρ_B при термодинамических параметрах входящей в портал А воздушной струи $1,22$ кг/м³:

$$A = \frac{100 \cdot 10^3}{3 \cdot 1,22 \cdot 1,005 \cdot 75 (273 + 15)} = 1,26;$$

$$M = \frac{1,5 \cdot 9,81 \cdot 8,5 \cdot 0,606^3 \cdot 1,055^3}{1,26^2} = 20,59.$$

Критическую скорость движения воздушного потока при пожаре $V_{кр}$ определяют по формуле (20):

$$V_{кр} = 1,26 \left[\left(20,59 \left(1 + \left(1 - \frac{2}{20,59} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) + \left(20,59 \left(1 - \left(1 - \frac{2}{20,59} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) \right] = 3,41 \text{ м/с.}$$

Тогда расход воздуха при аварийном режиме (возникновение пожара) равен

$$G_{кр.ск} = 3,41 \cdot 75 = 256 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Сравнивая полученную величину с данными таблицы 14, выбирают для дальнейших расчетов наибольшее из этих значений. В данном случае $G_{max} = G_{кр.ск} = 256$ м³/с.

7.3 Расчет потерь давления при движении воздуха по тоннелю

Потери давления на порталах тоннеля с входящей и исходящей воздушной струей определяют соответственно по формулам (24) и (26). При этом плотность воздуха на входе в портал А равна $1,22$ кг/м³ (формула (25)), а плотность воздуха на выходе из тоннеля (портал В) вычисляют при атмосферном давлении, соответствующем высоте портала В - $P_B=757,5$ мм рт.ст., и температуре воздуха, рассчитанной с учетом приращения температуры воздуха в тоннеле $\Delta t=10$ °С, т.е. 25 °С, что составляет $1,18$ кг/м³.

Тогда

$$\Delta P_{вх} = 0,5 \frac{1,22 \cdot 256^2}{2 \cdot 75^2} = 3,55 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{вых} = 1,0 \frac{1,18 \cdot 256^2}{2 \cdot 75^2} = 6,87 \text{ Па.}$$

Потери давления от трения воздуха о стены тоннеля определяют при $\lambda_{тр}=0,031$ по формуле (27) при плотности воздуха $\rho_{ср} = 1,20 \text{ кг/м}^3$, соответствующей средней температуре воздуха в тоннеле $t_{ср}=20 \text{ }^\circ\text{C}$, и среднем атмосферном давлении $P_{ср}=756,3 \text{ мм рт.ст.}$:

$$\Delta P_{тр} = 0,125 \cdot 0,031 \frac{1,20 \cdot 31 \cdot 1200 \cdot 256^2}{75^3} = 26,90 \text{ Па.}$$

Потери давления на преодоление сопротивлений при расширении (сужении) воздушного потока $\Delta P_{расш(суж)}$, Па, на участке, предназначенном для аварийной остановки транспорта, рассчитывают по формуле (28) при плотности воздуха $\rho_{ср}=1,20 \text{ кг/м}^3$.

По рисунку 12 при $S_{уз,с}/S_{ш,с}=0,83$ находят коэффициенты местного сопротивления на расширение $\xi_{расш,гл}=0,045$ и сужение $\xi_{суж,гл}=0,090$. Тогда по формулам (29) и (30)

$$\xi_{расш} = 0,045 (1 + 12,5 \cdot 1,20 \cdot 0,031) = 0,066;$$

$$\xi_{суж} = 0,090 (1 + 9,62 \cdot 1,20 \cdot 0,031) = 0,122.$$

Потери давления составят

$$\Delta P_{расш} = 0,5 \cdot 0,066 \frac{256^2 \cdot 1,20}{75^2} = 0,44 \text{ Па;}$$

$$\Delta P_{суж} = 0,5 \cdot 0,122 \frac{256^2 \cdot 1,20}{75^2} = 0,85 \text{ Па.}$$

Потери давления от трения воздуха о стены тоннеля на участке аварийной остановки транспорта составят

$$\Delta P_{тр.ав.ост} = 0,125 \cdot 0,031 \frac{256^2 \cdot 1,20 \cdot 33,6 \cdot 30}{90^3} = 0,42 \text{ Па.}$$

Общие потери напора на этом участке остановки транспорта составляют $\Delta P_{ав.ост}=1,73 \text{ Па}$.

Ветровой напор (нагрузку) $\Delta P_{ветр}$, Па, определяют по формуле (31) при плотности воздуха, соответствующей термодинамическим параметрам окружающей среды на портале В, т.е. $\rho_B=1,22 \text{ кг/м}^3$:

$$\Delta P_{ветр} = 0,5 \cdot 0,7 \cdot 1,22 \cdot 5^2 \cdot \cos^2 60^\circ = 2,45 \text{ Па.}$$

Направление действия ветрового напора (нагрузки) - от портала В к portalу А.

Гравитационную (тепловую) составляющую естественной тяги $\Delta P_{гр}$ вычисляют по формуле (32):

$$\Delta P_{гр} = \frac{1}{(273+20)(273+16)} \cdot 0,232 \cdot 9,81 \times (100-76) (755+757,5) (20-16) = 3,90 \text{ Па.}$$

Направление действия гравитационной составляющей естественной тяги - от портала В к portalу А.

Барометрическую составляющую естественной тяги $\Delta P_{бар}$ рассчитывают по формуле (33):

$$\Delta P_{бар} = \frac{= 0,93 \cdot 9,81 (300-100) (15-16) \cdot 734}{2 \cdot 15 + 546 - 0,042(300-100)} \times \frac{1}{16 + 15 + 546 - 0,042(300-100)} = -4,15 \text{ Па.}$$

Направление действия барометрической составляющей естественной тяги - от портала А к portalу В.

Суммарное значение естественной тяги составляет

$$\Delta P_{\text{ест}} = 2,45 + 3,90 - 4,17 = 2,20 \text{ Па.}$$

Таким образом, суммарное значение естественной тяги составляет 2,20 Па при направлении действия от портала В к portalу А.

Потери давления на преодоление аэродинамического сопротивления $\Delta P_{\text{порш}}$, Па, стоящих в тоннеле транспортных средств определяют по формуле (35).

Примем, что при возникновении пожара часть транспортных средств по обе стороны от очага пожара по направлению их движения покинет тоннель, а в случае расположения очага пожара в центральной части тоннеля на каждой из полос движения будет находиться половина транспортных средств от их количества, характеризующего транспортную пробку. В этом случае величина $\Delta P_{\text{порш}}$ в соответствии с таблицей 9 и при плотности воздуха $\rho_{\text{ср}} = 1,20 \text{ кг/м}^3$ составит

$$\Delta P_{\text{порш}} = \frac{0,5 \cdot 1,20 \cdot 3,41^2}{75} ((0,5(165+41) \cdot 2 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 21 \cdot 3 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 40 \cdot 5 \cdot 1,0 + 0,5 \cdot 17 \cdot 7 \cdot 1,0) = 23,68.$$

Общие потери давления в тоннеле при вентиляции в аварийной ситуации и движении воздуха по направлению к portalу В определяют по формуле (23):

$$\Delta P_{\text{общ}} = 3,55 + 6,87 + 26,9 + 1,73 + 2,20 + 23,68 = 65,0 \text{ Па.}$$

7.4 Расчет количества струйных вентиляторов и определение мест их расположения в тоннеле

В соответствии с вышеизложенными принципами размещения струйных вентиляторов в тоннеле, его геометрическими размерами и габаритом приближения тоннеля принимаем к установке струйные вентиляторы с диаметром выходного отверстия $d_{\text{вент}} = 1,2 \text{ м}$, установленные попарно у свода тоннеля параллельно его оси на расстояниях от свода тоннеля Z , равных диаметру выходного отверстия, т.е. $Z = 1,2 \text{ м}$.

Скорость воздушного потока в сечении выходного отверстия выбранного вентилятора равна $V_0 = 25,2 \text{ м/с}$, расход воздуха $28,5 \text{ м}^3/\text{с}$, а величина номинальной тяги $N_{\text{ном}} = 819 \text{ Н}$.

Расстояние между группами объединенных попарно струйных вентиляторов выбираем из условия превышения его величины $10D_T$, т.е. $L_{\text{прод}} = 10(4 \cdot 75/31) = 97 \text{ м}$.

Расстояние между порталом А или В и струйным вентилятором $L_{\text{порт}}$ принимаем из условия десятикратного превышения этого расстояния гидравлического диаметра тоннеля, т.е. 97 м.

Фактическую величину тяги каждого из струйных вентиляторов определяем с учетом корректирующих коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 к значению номинального импульса $N_{\text{ном}}$. Значения корректирующих коэффициентов принимаем в соответствии с 6.5.2:

- $k_1 = (25,2 - 3,41)/25,2 = 0,865$;
- $k_2 = 0,935$ при $(2 \cdot 1,2/(9,7 - 1,2)) = 0,28$ (рисунок 13);
- $k_3 = 1,0$ по рисунку 14;
- $k_4 = 1,0$;
- $k_5 = 1,0$ по рисунку 15.

Суммарная величина корректирующего коэффициента равна

$$k_{\text{общ}} = 0,865 \cdot 0,935 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,809.$$

Фактическая величина тяги струйных вентиляторов составляет

$$N_{\text{вент}} = 819 \cdot 0,809 = 662,6 \text{ Н.}$$

Суммарную тягу струйных вентиляторов $N_{\text{общ}}$, обеспечивающую подачу в тоннель необходимого количества воздуха $G_{\text{кр.ск}}=256 \text{ м}^3/\text{с}$, определяют по формуле (36):

$$N_{\text{общ}} = 65,0 \cdot 75 = 4875 \text{ Н.}$$

Количество струйных вентиляторов, обеспечивающих подачу в тоннель необходимого количества воздуха, равно

$$n_{\text{вент}} = 4875/662,6 = 7,4 \approx 8 \text{ вентиляторов.}$$

Согласно сформулированному выше принципу резервирования вентиляторов на случай выхода из строя одной группы, состоящей из двух вентиляторов, при их попадании в зону очага пожара, потребуется установить в рассматриваемом тоннеле 10 струйных вентиляторов (5 групп по два вентилятора).

Расстояние между каждой из групп вентиляторов принимаем равным 200 м, а расстояние от каждого из порталов до первой группы вентиляторов - 100 м.

Подача наружного воздуха в тоннель (направление работы струйных вентиляторов) осуществляется в направлении портала В (нижний портал) (рисунок 16).

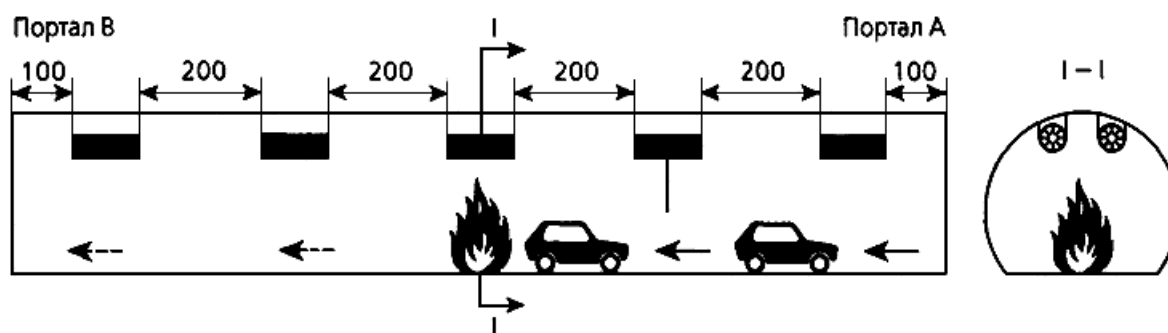


Рисунок 16 - Вентиляция тоннеля в аварийной ситуации

Приложение А
(справочное)

Базовые значения выбросов оксида углерода (СО) для технологического стандарта А (2010 г.)

Таблица А.1 - Легковые машины с бензиновым двигателем

$V_{\text{тр.ср}}$, км/ч	$q_{\text{баз}}$, г/ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
10	24,4	25,9	27,8	29,5	32,0	35,5	42,9
20	28,3	31,4	35,2	38,6	43,6	50,5	65,4
30	28,2	32,9	38,9	46,0	54,6	64,6	87,4
40	28,0	34,5	43,5	56,2	71,7	93,2	120,4
50	27,4	35,5	46,9	63,0	85,4	118,0	163,2
60	27,1	36,0	49,4	68,2	97,5	140,2	221,6
70	26,9	36,3	51,7	75,0	113,2	169,4	290,2
80	26,7	37,1	54,9	85,5	136,6	217,7	369,1
90	27,8	39,4	60,1	99,6	170,3	297,4	483,3

100	32,5	45,2	69,2	117,2	218,1	422,2	643,6
110	44,2	58,0	86,2	143,0	291,6	612,1	1007,4
120	67,2	83,8	119,4	192,7	419,4	889,8	1615,2
130	106,4	132,0	183,5	303,1	660,7	1333,0	2462,1

Таблица А.2 - Легковые машины с дизельным двигателем

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, г/ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,2	2,2	2,2	3,6	5,1	6,7	8,4
20	2,2	2,2	2,4	5,4	8,2	4,1	3,2
30	2,2	2,2	3,0	7,2	4,0	3,3	3,2
40	2,2	2,2	3,2	8,6	3,1	3,3	2,8
50	2,2	2,2	2,9	6,3	3,3	2,9	2,6
60	2,2	2,2	3,4	4,0	3,3	2,7	2,6
70	2,2	2,2	4,6	3,2	2,9	2,4	3,1
80	2,2	2,2	6,6	3,4	2,7	2,8	3,6
90	2,2	2,2	7,8	3,2	2,5	3,2	4,2
100	2,2	2,2	3,2	2,8	2,8	3,8	4,8
110	2,2	2,6	3,4	2,5	3,3	4,4	5,5
120	2,2	6,9	3,1	2,7	3,8	5,0	6,2
130	2,2	3,5	2,7	3,2	4,5	5,7	7,0

Таблица А.3 - Легкие грузовые машины (смешенные выбросы, вычисленные для машин с бензиновым и дизельным двигателями)

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, г/ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
10	8,1	8,1	8,7	13,4	16,5	19,3	16,0
20	8,1	8,1	10,8	17,4	16,1	10,7	11,2
30	8,1	8,1	13,0	18,3	10,3	12,7	18,7
40	8,1	8,1	14,8	13,1	11,6	17,8	29,6
50	8,1	8,1	15,6	10,8	15,2	26,6	43,1
60	8,1	8,1	18,2	10,6	21,6	39,3	57,1
70	8,1	8,1	16,3	15,0	31,7	53,3	74,0
80	8,1	8,1	10,5	21,8	45,9	68,3	94,3
90	8,1	13,7	12,2	32,1	58,8	86,3	118,0
100	8,1	17,0	19,4	47,8	76,2	109,7	147,8
110	8,1	17,1	31,8	63,6	98,1	138,2	183,5
120	14,9	17,2	49,5	83,9	125,2	172,7	196,4
130	11,2	31,2	68,1	109,5	158,4	180,5	212,4

Таблица А.4 - Тяжелые грузовые машины с дизельным двигателем в расчете на массу 23 т

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, г/ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
10	17,5	20,3	32,8	42,5	44,5	44,3	46,8
20	13,5	17,9	30,6	44,8	44,3	51,8	59,0
30	12,4	18,1	38,8	44,9	49,0	60,9	68,9
40	11,2	16,7	40,3	44,6	55,5	68,1	77,7
50	11,2	15,6	38,6	44,8	61,9	74,4	87,6
60	11,2	13,9	35,4	46,3	67,2	81,3	98,6

70	9,8	11,8	31,6	49,9	71,9	88,9	110,3
80	11,2	12,2	35,9	55,7	77,1	98,3	124,4
90	11,2	13,0	38,1	61,7	83,1	108,3	138,6
100	11,2	14,7	43,1	67,4	89,8	118,8	152,8
110	11,2	17,4	46,2	72,8	96,7	129,3	166,9
120	11,2	23,7	50,8	77,0	103,7	139,6	180,9
130	12,3	28,2	57,7	80,5	110,7	149,8	195,1

Приложение Б
(справочное)

Базовые значения выбросов оксида азота (NO_x) для технологического стандарта А (2010 г.)

Таблица Б.1 - Легковые машины с бензиновым двигателем

V _{тр.ср} , км/ч	q _{баз} , г/ч, при i, %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
10	3,3	3,3	3,3	4,4	5,1	5,7	6,3
20	3,3	3,3	3,4	5,3	6,2	8,9	12,4
30	3,3	3,3	4,0	6,0	9,1	13,2	15,3
40	3,3	3,3	4,3	6,7	12,1	15,3	17,6
50	3,3	3,3	4,4	8,1	13,9	17,0	19,5
60	3,3	3,3	4,9	10,3	15,7	18,8	23,8
70	3,3	3,3	5,6	13,3	17,5	21,7	29,7
80	3,3	3,3	6,7	15,1	19,3	27,0	36,4
90	3,3	3,3	9,9	17,0	22,7	32,9	43,8
100	3,3	4,3	13,7	19,0	28,4	40,1	52,4
110	3,3	6,2	16,1	22,8	35,1	48,3	62,2
120	3,3	10,9	18,5	29,1	43,0	57,8	73,3
130	3,7	15,0	22,4	36,8	52,2	68,6	85,7

Таблица Б.2 - Легковые машины с дизельным двигателем

V _{тр.ср} , км/ч	q _{баз} , г/ч, при i, %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
10	6,3	6,3	6,3	11,5	15,8	19,6	23,6
20	6,3	6,3	7,2	16,5	23,0	28,3	36,6
30	6,3	6,3	9,3	20,9	28,6	38,7	51,7
40	6,3	6,3	10,0	24,0	34,6	49,9	68,2
50	6,3	6,3	9,0	25,7	40,7	61,6	83,7
60	6,3	6,3	10,7	28,6	50,3	76,3	103,9
70	6,3	6,3	14,2	34,7	62,5	92,9	127,9
80	6,3	6,3	19,4	43,1	76,4	113,1	154,1
90	6,3	6,3	24,7	54,0	91,9	135,9	182,6
100	6,3	6,3	31,3	68,4	112,5	162,7	215,2
110	6,3	7,9	41,7	85,6	137,2	193,1	251,6
120	6,3	20,0	56,8	107,2	165,8	227,7	292,2
130	6,3	30,1	76,3	134,4	199,0	266,9	337,6

Таблица Б.3 - Легкие грузовые машины (смешенные выбросы, вычисленные для машин с бензиновым и дизельным двигателями)

V _{тр.ср} , км/ч	q _{баз} , г/ч, при i, %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6

0	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
10	9,8	9,8	10,4	15,2	18,3	20,9	21,8
20	9,8	9,8	12,6	19,1	21,8	22,5	28,1
30	9,8	9,8	14,8	21,7	22,6	31,8	44,6
40	9,8	9,8	16,6	22,1	28,9	36,7	62,6
50	9,8	9,8	17,4	22,5	37,6	58,2	80,0
60	9,8	9,8	19,8	26,3	50,0	75,5	108,9
70	9,8	9,8	21,8	37,0	65,5	100,5	145,4
80	9,8	9,8	22,6	50,3	84,5	133,1	188,7
90	9,8	15,6	30,5	66,1	112,4	171,8	239,1
100	9,8	21,8	46,0	88,6	150,0	221,4	301,8
110	9,8	24,5	65,7	122,8	196,7	281,6	376,3
120	16,7	41,8	92,4	166,5	254,2	353,8	402,9
130	22,4	64,8	132,5	221,1	323,9	370,1	435,8

Таблица Б.4 - Тяжелые грузовые машины с дизельным двигателем в расчете на массу 23 т

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, г/ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
10	38,1	55,5	115,9	163,5	192,8	219,5	251,0
20	25,1	40,0	130,0	182,4	223,8	294,9	367,0
30	22,4	41,3	147,6	202,1	271,2	387,4	494,5
40	19,2	36,8	148,0	218,0	329,2	482,9	617,9
50	19,2	32,2	148,1	229,7	397,0	574,7	747,4
60	19,2	25,8	150,0	247,4	467,8	670,1	881,3
70	16,8	20,5	151,0	278,8	535,9	773,9	1017,9
80	19,2	21,4	152,0	327,9	614,7	883,0	1159,0
90	19,2	23,7	153,8	390,1	697,7	990,1	1298,8
100	19,2	29,3	190,9	465,8	779,5	1094,3	1437,6
110	19,2	43,8	231,6	547,9	856,7	1197,2	1575,5
120	19,4	74,6	280,5	613,8	926,6	1299,2	1712,6
130	23,5	105,1	348,4	660,2	997,1	1400,3	1849,7

Приложение В
(справочное)

Базовые значения выбросов взвешенных частиц выхлопного происхождения (сажи) для технологического стандарта А (2010 г.)

Таблица В.1 - Легковые машины с дизельным двигателем

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, м ² /ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
10	1,4	1,4	1,4	2,9	4,1	5,3	6,6
20	1,4	1,4	1,7	4,4	6,4	8,4	10,7
30	1,4	1,4	2,2	5,7	8,5	11,3	14,7
40	1,4	1,4	2,4	6,7	10,2	14,3	19,0
50	1,4	1,4	2,2	7,4	11,8	17,3	22,9
60	1,4	1,4	2,6	8,5	14,4	21,1	27,3
70	1,4	1,4	3,7	10,2	17,5	25,2	31,4
80	1,4	1,4	5,3	12,4	21,1	29,0	35,7
90	1,4	1,4	7,0	15,3	24,9	32,8	40,0
100	1,4	1,4	9,3	19,1	28,9	37,0	44,7
110	1,4	1,8	12,1	23,4	33,0	41,5	49,7

120	1,4	5,5	16,1	27,9	37,5	46,4	54,9
130	1,4	8,9	21,1	32,5	42,4	51,7	60,6

Таблица В.2 - Легкие грузовые машины с дизельным двигателем

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, м ² /ч при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
10	1,1	1,1	1,3	2,8	4,1	5,3	6,6
20	1,1	1,1	1,9	4,5	6,6	8,7	10,9
30	1,1	1,1	2,7	6,1	8,9	12,0	15,7
40	1,1	1,1	3,4	7,5	11,2	13,8	20,4
50	1,1	1,1	3,7	8,6	13,7	19,3	24,3
60	1,1	1,1	4,8	10,5	17,1	23,4	28,9
70	1,1	1,1	6,5	13,5	21,1	27,7	33,9
80	1,1	1,1	8,8	17,2	25,2	32,3	39,1
90	1,1	3,0	11,7	21,3	29,4	37,2	44,6
100	1,1	6,4	16,0	25,8	34,5	42,7	50,6
110	1,1	10,0	21,2	30,9	40,0	48,7	57,2
120	3,4	14,9	26,4	36,5	46,1	55,3	60,3
130	8,4	21,0	32,2	42,7	52,6	56,7	64,6

Таблица В.3 - Тяжелые грузовые машины с дизельным двигателем в расчете на массу 23 т

$V_{тр.ср}$, км/ч	$q_{баз}$, м ² /ч, при i , %						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
10	13,6	13,4	15,5	18,2	21,4	25,1	28,2
20	11,9	13,8	15,0	19,9	25,7	31,5	36,5
30	11,4	13,8	17,3	22,5	29,7	38,0	45,3
40	10,8	13,3	17,8	24,9	33,9	44,6	53,6
50	10,8	13,0	17,6	26,3	38,7	50,6	62,5
60	10,8	12,4	17,5	28,0	43,6	57,1	71,9
70	9,5	11,2	16,5	30,4	48,2	64,0	81,7
80	10,8	11,4	17,4	33,9	53,3	71,8	92,5
90	10,8	11,9	19,6	38,5	58,9	79,8	103,3
100	10,8	12,9	21,9	43,7	64,6	87,8	114,2
110	10,8	13,2	25,5	49,0	70,1	95,8	124,9
120	10,9	15,1	29,6	53,1	75,5	103,7	135,5
130	11,4	18,0	34,6	56,3	80,9	111,5	146,3

Приложение Г
(справочное)

Поправочные коэффициенты на базовые значения выбросов

Таблица Г.1 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у легковых машин до 2030 г. относительно 2010 г. для технологического стандарта А, f_t

Год	СО		NO _x		Взвешенные частицы (дизельный двигатель)
	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель	

2010	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2015	0,75	0,74	0,65	0,76	0,55
2020	0,58	0,65	0,44	0,52	0,29
2025	0,46	0,60	0,30	0,40	0,17
2030	0,40	0,57	0,22	0,35	0,13

Таблица Г.2 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов с увеличением высоты над уровнем моря у легковых машин для технологического стандарта А, f_h^*

Год	СО		NO _x		Взвешенные частицы (дизельный двигатель)
	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель	
2010	2,6	1,0	1,0	1,0	1,0
2015	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2020	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
2025	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2030	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

* Приведены значения коэффициента f_h , соответствующего высоте 2000 м. Для высоты над уровнем моря 1000 м f_h принимают равным 1,0. Значение f_h между 1000 и 2000 м устанавливают на основе линейной интерполяции.

Таблица Г.3 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов от фактора времени для легких грузовых машин (относительно величин, принятых для стандарта А в 2010 г.; среднее значение для машин с дизельным и бензиновым двигателями), f_t

Год	СО	NO _x	Сажа
2010	1,00	1,00	1,00
2015	0,72	0,76	0,54
2020	0,47	0,49	0,30
2025	0,39	0,36	0,20
2030	0,35	0,30	0,15

Таблица Г.4 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов от фактора времени для тяжелых грузовых машин (относительно величин, принятых для стандарта А в 2010 г.), f_t

Год	СО	NO _x	Сажа
2010	1,00	1,00	1,00
2015	0,58	0,61	0,59
2020	0,34	0,35	0,33
2025	0,25	0,23	0,21
2030	0,21	0,18	0,16

Таблица Г.5 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов в зависимости от массы тяжелых грузовых машин с дизельным двигателем для стандарта А, f_m

Тип тяжелой грузовой машины	СО	NO _x	Взвешенные частицы
Грузовые машины, включая автобусы массой 15 т	0,7	0,7	0,7
Грузовые машины в расчете на массу 23 т (средняя масса грузового автотранспорта) (58% грузовиков массой 15 т и 42% грузовиков с прицепом массой 32 т)	1,0	1,0	1,0
Грузовые машины с прицепом (полуприцепом) массой 32 т	1,9	1,9	1,9

Таблица Г.6 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у транспортных

средств различного типа для стандарта В относительно технологического стандарта А, $f_{ст}$

Тип машины	СО	NO _x	Взвешенные частицы
Легковые (среднее значение для машин с бензиновым/дизельным двигателями)	1,5/2,0	1,8/1,1	-/1,4
Легкие грузовые (среднее значение для машин с бензиновым и дизельным двигателями)	2,7	1,4	2,2
Тяжелые грузовые (дизельный двигатель)	1,9	1,6	2,5

Таблица Г.7 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у транспортных средств различного типа для стандарта С относительно технологического стандарта А, $f_{ст}$

Тип машины	СО	NO _x	Взвешенные частицы
Легковые (среднее значение для машин с бензиновым/дизельным двигателями)	2,9/4,0	2,8/1,2	-/2,0
Легкие грузовые (среднее значение для машин с бензиновым и дизельным двигателями)	3,5	1,5	2,6
Тяжелые грузовые (дизельный двигатель)	2,3	1,8	2,8

Таблица Г.8 - Поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов у транспортных средств различного типа для стандарта В относительно технологического стандарта А с повышением высоты над уровнем моря, $f_{ст,h}$

Высота над уровнем моря, м	СО*		NO _x		Сажа (дизельный двигатель)
	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель	
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1000	2,2	1,2	1,0	1,0	1,0
2000	3,0	1,5	1,0	1,0	1,25
3000	4,0	1,5	1,0	1,0	1,5

* Для технологического стандарта С величину выбросов СО следует увеличить на 30% относительно значений, приведенных в таблице. При этом величину выбросов для NO_x и сажи принимают по данным таблицы.

Приложение Д
(справочное)

Значения выбросов взвешенных частиц невыхлопного происхождения диаметром 2,5 мм

Таблица Д.1

Скорость $V_{тр.сп}$, км/ч	Легковые и легкие грузовые машины		Тяжелые грузовые машины	
	г/ч	м ² /ч	г/ч	м ² /ч
0	0	0	0	0
10	0,28	1,3	1,04	4,9
20	0,56	2,6	2,08	9,8
30	0,84	3,9	3,12	14,7
40	1,12	5,3	4,16	19,6
50	1,40	6,6	5,20	24,4
60	1,68	7,9	6,24	29,3
70	1,96	9,2	7,28	34,2
80	2,24	10,5	8,32	39,1
90	2,52	11,8	9,36	44,0
100	2,80	13,2	10,40	48,9
110	3,08	14,5	-	-

120	3,36	15,8	-	-
130	3,64	17,1	-	-

Библиография

- [1] Технический регламент о требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ: утв. Постановлением Правительства РФ от 12 октября 2005 г. N 609.
- [2] Методика определения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом на городских магистралях*. 1997.

* Документ в информационных продуктах не содержится. За информацией о документе Вы можете обратиться в Службу поддержки пользователей. - Примечание изготовителя базы данных.

- [3] Стандарт National Fire Protection Association NFPA 502:2004* Стандарт для дорожных тоннелей, мостов и других дорожных ограждающих конструкций / Национальная ассоциация защиты. 2004 (Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highway. National Protection Association. 2004).

* Доступ к международным и зарубежным документам, упомянутым в тексте, можно получить, обратившись в Службу поддержки пользователей. - Примечание изготовителя базы данных.

- [4] Автодорожные тоннели. Выбросы, вентиляция, окружающая среда / Комитет по автодорожным тоннелям Мировой дорожной ассоциации. 1995 (Road Tunnels: Emissions, Ventilation, Environment. PIARC Committee on Road Tunnel. 1995).
- [5] Автодорожные тоннели. Выбросы от транспорта и требования к воздуху для вентиляции / Технический комитет по эксплуатации автодорожных тоннелей Мировой дорожной ассоциации (C5). 2004 (Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation. PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation (C5). November, 2004).
- [6] Автодорожные тоннели. Выбросы от транспорта и требования к воздуху для вентиляции / Технический комитет по эксплуатации автодорожных тоннелей Мировой дорожной ассоциации. 2012 (Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation. PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation. 2012).
- [7] Требования к выбросам от транспортных средств и окружающему воздуху в тоннелях с продольной вентиляцией / Комитет по автодорожным тоннелям. 1995 (Vehicle Emissions Air Demand Environment Longitudinal Ventilation. Committee on Road Tunnels. 1995).

Электронный текст документа
подготовлен АО "Кодекс" и сверен по:
официальное издание НП "АВОК"
М.: ООО ИИП "АВОК-ПРЕСС", 2013