

ВЕНТИЛИРАНЕ НА ТРАНСПОРТНИТЕ ТУНЕЛИ ПО ВРЕМЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИЯ

доц. д-р инж. Юлиан ТОТЕВ

*Университет по архитектура, строителство и геодезия
бул. "Христо Смирненски" №1, София 1406, БЪЛГАРИЯ
Факултет по транспортно строителство*

Ключови думи: тунели, вентилация

Резюме: *Описани са факторите, оказващи влияние върху естественото вентилиране на тунелите, и е посочена границата, до която може да се разчита на него. Разгледани са системите за изкуствена вентилация и са очертани сферите на тяхното приложение. Дадени са двата основни метода за изчисляване на количеството чист въздух: а/ съобразно съдържанието на въглероден окис и приравнените към него други вредни газове и б/ според степента на замърсяването.*

Замърсяването на въздуха в тунелите по време на експлоатация се дължи основно на отделящите се вредни газове при работа на двигателите с вътрешно горене (дизеловите локомотиви при железопътните тунели, леките и товарни коли при пътните тунели и други машини). Най-често срещаните газове са: въглероден двуокис (CO_2), въглероден окис (CO), метан (CH_4) и ненаситени въглеводороди (ацетилен, етилен, пропилен и др.). Двигателите отделят още топлина и водни пари, а при непълно изгаряне на горивото – пушек. Температурата в тунела се повишава и от различните инсталации, задвижвани от електромотори, както и от осветлението. Качеството на въздуха в тунела се влошава и за сметка на влажността и постъпващите от обкръжаващия масив газове. Освен вредното въздействие върху хората, намиращи се в тунела, голямата концентрация на газове и влага влияят неблагоприятно върху осветлението, сигнализацията и другите инсталации. Всичко това налага подмяна на въздуха в тунела, която се осъществява аналогично както по време на строителството – по естествен или изкуствен начин.

А. Естествено вентилиране

Най-важните фактори за естественото вентилиране са: разликата между температурите на въздуха отвън и вътре в тунела; разликата в барометричното налягане при двата портала и скоростта и направлението на вятъра.

Освен тези фактори, върху естествената тяга на въздуха в тунела влияят

още неговата дължина, сечение, план и надлъжен профил.

С помощта на емпирични формули се изчислява скоростта на въздуха в тунела, вследствие на естественото вентилиране.

Обемът на свежия въздух (Q_m), постъпващ в тунела в продължение на един час, трябва да бъде не по-малък от необходимия обем за вентилиране (Q):

$$(1) \quad Q_m = 3600V_m F \geq Q, \quad m^3/h,$$

където:

V_m – скоростта на въздуха в тунела, m/s ;

F - светлото напречно сечение на тунела, m^2 .

В противен случай е необходима изкуствена вентилация.

Съществено влияние на вентилирането оказва буталното действие на преминаващите през тунела возила. Количеството въздух, преместващо се по тунела за сметка на това действие, при определени условия може да бъде значително. Създава се тяга, която способства за увеличаване или за намаляване на естественото вентилиране в зависимост от това дали съвпада или не с неговата посока. В отделни случаи буталното действие на возилата може да уравни естественото проветряване или да промени временно движението на въздуха в обратна посока.

Особено значим е буталният ефект при еднопътните железопътни тунели, тъй като влакът заема голяма част от сечението на тунела и има дължина, съизмерима с дължината на тунела.

При двупътните жп тунели оставащото свободно пространство между влака и облицовката е значително по-голямо, което отслабва буталното действие. При разминаване на два влака в тунела се образуват силни вихрови движения във въздуха и резултатното общо движение има посоката на влака, който се движи с по-голяма скорост и има по-голяма дължина.

При пътните тунели, строящи се обикновено за двупосочно движение, създаденото от колите въздушно течение се променя често и съдейства за увеличение или намаление на естественото проветряване. Буталният ефект при тях е чувствително по-малък в сравнение с железопътните тунели поради значително по-малкото съотношение на напречните размери и дължините на колите, отнесени към тези на тунелното съоръжение. Ефектът се проявява по-осезателно при движението на колона от транспортни средства с минимални интервали между тях.

Б. Изкуствено вентилиране

Начинът на вентилиране по време на експлоатация (естествено или изкуствено) зависи от редица фактори и на първо място – от дължината и вида на тунела (пътен или железопътен).

Естествена вентилация се допуска както следва:

- за пътни тунели с дължина до 150 m ;
- за железопътни тунели: при дизелова тяга – с дължина до 500 m ; при електрическа тяга – с дължина до 1000 m .

Когато пътните и железопътните тунели са с по-големи от посочените дължини, необходимостта от изкуствена вентилация следва да се докаже. За цел-

та за всеки отделен случай – в зависимост от конкретните условия – трябва да се извърши проверка до каква дължина на тунела може да се разчита на естественото проветряване. Особено внимателно трябва да се подхожда в случаите, когато са налице дълбоки предпортални изкопи с неблагоприятни за въздушното течение вертикални ракордирания в тях или в тунела, както и ако тунелът е изцяло в хоризонтална крива. Изкуствено вентилиране се налага винаги при дълбоко прокарани подземни градски железници и при тунели под реки.

Задачата на изкуствената вентилация на тунелите по време на експлоатация е:

- ◆ да се намали концентрацията на вредните газове до степен, която не представлява опасност за човешкия организъм;
- ◆ да се отстрани пушекът и да се осигури добра видимост в тунела;
- ◆ да се намали температурната разлика на въздуха вътре и вън от тунела;
- ◆ да се запазят инсталациите в тунела и облицовката му от разрушителното действие на газовете и влагата.

При изкуственото вентилиране се предвижда подаването на чист въздух, така че по цялата дължина на тунела (включително нишите, камерите, уширенията за отбиване и напречните галерии) съдържанието на вредни вещества да не превишава допустимите норми.

Вентилацията на тунелите се проектира въз основа на:

- данни за движението (интензивност, посочност, скорост, вид на транспортните средства и др.);
- геометрични данни за тунела (напречно сечение, дължина, план и надлъжен профил);
- *вида на облицовката.*

Има съществени различия при изчисляване на необходимото количество чист въздух при пътните и при железопътните тунели.

За пътните тунели се прилагат “методът на въглеродния окис (СО)” (при преобладаващо движение на леки превозни средства) и “методът на задимяването” (когато броят на тежкотоварните коли превишава 5% от общия брой). Меродавно е по-голямото количество чист въздух, изчислено по един от двата метода.

С метода на въглеродния окис се определя необходимото количество чист въздух (Q), който разрежда отделяното от превозните средства количество въглероден окис и други газове, приведени към него, до допустимите норми:

$$(2) \quad Q = \frac{10^3}{60} \frac{qnf_i f_h}{\delta}, \quad m^3/s.km,$$

където:

q – отделяното средно количество въглероден окис от едно превозно средство при движение по наклон до 0,5% и надморска височина до 400 m , l/min ; определя се от графика [2];

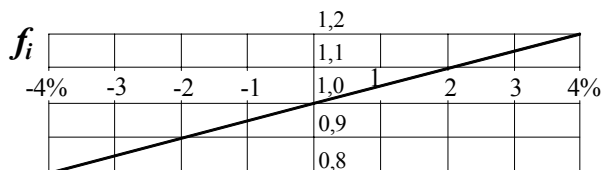
n – брой на превозните средства на 1 km от тунела, който се определя въз основа на резултатите от прогнозиране на движението:

$n = \frac{N}{V}$ (N е броят на превозните средства за 1 час, а V – средната скорост на движение, km/h);

f_i - корекционен коефициент за отчитане влиянието на надлъжния наклон (при наклони по-големи от 0,5%); определя се от фиг. 1.

При надлъжен профил с различни наклони $f_i = \frac{\sum_{i=1}^m f_i L_i}{\sum_{i=1}^m L_i}$;

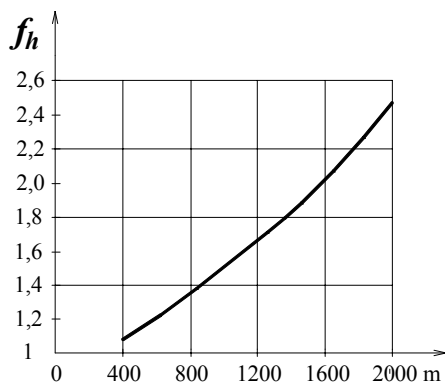
L_i - дължината на участъците с постоянен надлъжен наклон, m ; m - броят на участъците;



Фиг. 1

f_h - корекционен коефициент за отчитане влиянието на надморската височина (когато тя е над 400 m); определя се от фиг. 2;

δ - допустимата концентрация на въглероден окис в ppm (една милионна част по обем); зависи от местоположението на тунела, режима на движение и изискванията за безопасност и се отчита от таблица [2].



Фиг. 2

С метода на задимяването се определя количеството чист въздух, необходимо за разреждане на димните газове, за да се запази разстоянието за видимост при разрешената скорост на движение:

$$(3) \quad Q = \frac{1}{3600} \frac{k_0}{k_1} f_i f_h f_v N v_0, \quad m^3/s.km,$$

където:

k_0 - коефициент на гъстота на димните (3) газове; приема се средно $k_0 = 0,3$;

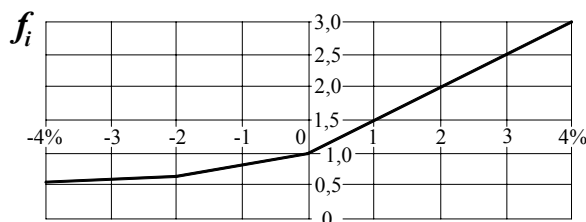
v_0 - средният обем на отделяните димни газове от едно тежкотоварно превозно средство:

$v_0 = 5 m^3/km$ за тежкотоварни превозни средства до 100 kN и $v_0 = 14 m^3/km$ за над

100 kN;

Стойностите за k_0 и v_0 са валидни за скорости на движение $V = 40 \div 60 \text{ km/h}$, наклон $i = 0,5\%$ и надморска височина до 400 m.

k_1 - коефициент на допустимото задимяване в тунела, свързан с необходимото разстояние за видимост; отчита се от таблица [2];



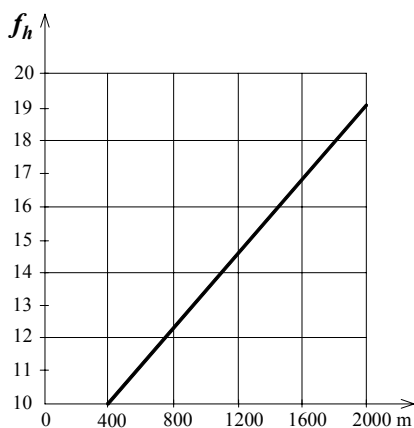
Фиг. 3

f_i - корекционен коефициент, който отчита влиянието на надлъжния наклон; определя се от фиг. 3;

f_h - корекционен коефициент, отчитащ влиянието на надморската височина, съгласно фиг. 4;

f_v - корекционен коефициент, който отчита влиянието на скоростта на движение извън стойностите от 40 до 60 km/h и се приема: $f_v = 1,5$ за скорост 80 km/h;

$f_v = 2$ за средна скорост от 10 до 20 km/h.



Фиг. 4

При железопътните тунели необходимото количество чист въздух се изчислява по формулите:

- когато движението на въздуха съвпада с движението на влака

$$(4) \quad Q = \frac{c}{c_d} \cdot \frac{V}{V + V_e}, \quad m^3/s.km ;$$

- когато движението на въздуха е с противоположна посока на движението на влака

$$(5) \quad Q = \frac{c}{c_d} \cdot \frac{V}{V - V_e}, \quad m^3/s.km ,$$

където:

c – отделяното количество условен СО, $m^3/s.km$;

c_0 - допустимата концентрация на СО в ppm ; при времепътуване на влака в тунела до 30 min се приема

$c_0 = 50 ppm$; при извършване на ремонтни работи, в ремонтната зона на тунела

$c_0 \leq 20 ppm$;

V – скорост на влака, m/s ;

V_e - скорост на въздуха, m/s .

Скоростта на въздуха в транспортните тунели не трябва да превишава 6 m/s , а по изключение при технико-икономическа обосновка – 10 m/s .

Изкуственото вентилиране на тунелите се извършва по една от следните системи:

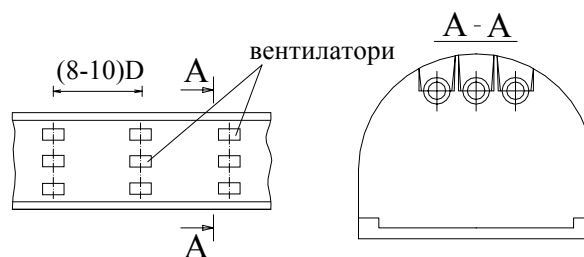
1. Надлъжно вентилиране. При тази система въздухът циркулира надлъжно в тунела. Възможни са няколко варианта:

а/ чистият въздух се нагнетява от единия портал (обикновено от пониския), преминава през тунела, където се смесва със замърсения, и излиза през другия портал;

б/ замърсеният въздух се изсмуква от единия портал, а от другия нахлува чист въздух;

в/ на единия портал се поставя нагнетателен вентилатор, а на другия – смукателен.

Вентилаторите се разполагат близо до портала, навън от напречното сечение на тунела.



Фиг. 5

Струйната система на вентилиране се явява разновидност на надлъжната. При нея под свода или в ниши (в горната част на стените на тунела) се помещават реверсивни струйни вентилатори, променящи автоматично посоката на действие в зависимост от посоката на естественото въздушно течение в тунела. Вентилаторите се разполагат в групи от 1 до 4 броя в едно напречно сечение /фиг. 5/. Разстоянието между две вентилаторни групи се приема $(8 \div 10)D$,

където $D = \frac{4F}{P}$ е хидравличният диаметър на тунела в m ,

F – светлото сечение в m^2 и P – периметърът на тунела в m .

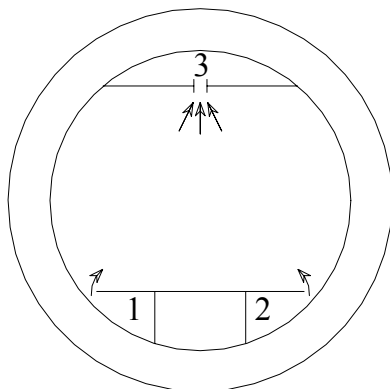
Струйната вентилация намира приложение при пътните тунели.

При надлъжното вентилиране винаги трябва да се държи сметка за посоката на естественото проветряване. Когато тази посока е променлива, използват се два вентилатора (по един за всеки портал) или се прилагат реверсивни вентилатори.

Предимството на надлъжното вентилиране е, че цялото светло сечение на тунела служи като вентилационна тръба, която поради големия ѝ размер оказва малко съпротивление на движението на въздуха, а това намалява мощността на вентилаторите. Неудобствата са: въздушното течение, което се усеща през цялото време на преминаване или престой в тунела; по-голяма е опасността в случай на пожар в тунела; неравномерната концентрация на СО по дължина на тунела и значителното влияние, оказвано от естественото вентилиране и движението на превозните средства.

2. Напречното вентилиране е особено подходящо за пътните тунели. В тунелното сечение се поместват вентилационни канали, служещи за подаване на чистия въздух и за изсмукване на замърсения. Опитът показва, че разполагането на каналите за чист и замърсен въздух може да се осъществи по един от следните начини:

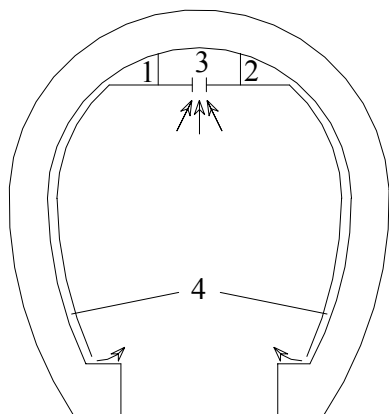
- ◆ каналите за чистия въздух са в долната част на тунелното сечение, а за замърсения – в горната;
- ◆ всичките канали са в горната част на сечението;
- ◆ каналите за чистия въздух са в горната част на сечението, а за замърсения – в долната;
- ◆ каналите са от двете страни на сечението;
- ◆ каналите са в центъра между двата пътя.



Фиг. 6

1,2 – чист въздух; 3 – замърсен въздух

Най-често се прилага класическото разположение, при което чистият въздух се нагнетява по канали под пътното платно, а замърсеният се изсмуква по канали в сводовата част на тунела. В това отношение са благоприятни тунелите с кръгло сечение, при които има свободни пространства в долната и горната част на тунелното сечение /фиг. 6/. При тунели с некръгло сечение е за препоръчване каналите за вентилиране да се правят по възможност в горната част на тунела /фиг. 7/, тъй като конструкцията на един таван е по-евтина отколкото плоча за пътното платно. Въглеродният окис като лек газ и замърсеният въздух като по-топъл от чистия въздух се издигат нагоре и с това подпомагат вентилирането.



Фиг. 7

1,2 – чист въздух; 3 – замърсен въздух
4 – напречни канали през 3-10 m

При подаване на чистия въздух през отвори в сводовата част, замърсеният се изсмуква отдолу. Така вредните газове и прахът, които се образуват ниско над пътното платно, не се издигат нагоре, с което се осигурява добра видимост и се намалява концентрацията на СО на височината, на която се намират шофьорите.

Разделянето на тунела на отделни участъци за вентилиране дава възможност за намаляване сечението на каналите, за разпределяне на общото необходимо налягане върху повече вентилатори и за намаляване на загубите от триене вследствие по-малките скорости на движение на въздуха в каналите (от 10 до 12 m/s). Освен това нагаждането на вентилацията към изискванията на движението в тунела е много по-добро.

Приема се дължината на каналите да бъде 600-800 m, което съответства на разстояние между порталите или шахтите за вентилиране, равно на 1200-1600 m.

Предимствата на напречното вентилиране са: бързо премахване на вредните газове от сечението на тунела по най-късия път; постъпване на чист въздух равномерно по цялата дължина на тунела; отсъствие на въздушно течение с големи скорости; независимост от силата на естественото надлъжно течение в тунела и от движещите се коли; съществува възможност за нагаждане към нуждите от чист въздух в отделните участъци от тунела. Недостатък е значително по-голямото напречно сечение на тунела в сравнение с това при надлъжното вентилиране. Каналите за чист и замърсен въздух заемат 20-30% от общото сечение на тунела, а това води до значително увеличаване на разходите за неговото построяване.

3. Полунапречното вентилиране представлява комбинация от напречното и надлъжното вентилиране. Чистият въздух се нагнетява по начина, показан на фиг. 6 и 7, а замърсеният се събира в горната част на свода и – движейки се надлъжно – излиза през порталите или се изсмуква през вентилационни шахти. При две портални станции за вентилиране, всяка от които обслужва по половин дължина от тунела, тази система е приложима за тунели до 1600 m с интензивно автомобилно движение.

4. Полунадлъжно вентилиране. При него замърсеният въздух се изсмуква по вентилационен канал, разположен в свода, а чистият постъпва в тунела през порталите. В този случай не се получава равномерно разпределение на чистия въздух по дължината на тунела.

Проектирането на транспортни артерии за високи скорости в планински терени налага строителството на все по-дълги тунели, което изисква задълбочено проучване и правилно решаване на въпроса с тяхната вентилация.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] ХРАПОВ В.Г., ДЕМЕШКО Е.А., НАУМОВ С.Н., Тоннели и метрополитени. “Транспорт”, Москва, 1989.
- [2] Норми за проектиране на пътни и железопътни тунели. София, 1988.

VENTILATION OF TRANSPORT TUNNELS DURING EXPLOITATION

Yulian Totev

*Univerity of Architecture, Civil Engineering and Geodesy
Boul. Hristo Smirnensky 1, Sofia 1046, Bulgaria*

Keywords: *tunnels, ventilation*

Summary: *The factors, influencing the natural ventilation of tunnels, are described and the limit of their reliability is determined. The systems of artificial ventilation are treated and the spheres of their application are outlined. The two main methods for calculating the amount of fresh air are given: a/ according to the CO₂ content and equalized with it noxious gases and b/ according to the smoking degree.*