

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Анете Г.Л.

соискатель степени канд.техн.наук,
ФГБОУ ВО ТулГУ «Тульский государственный университет»,
г. Тула, Россия

ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ СТРОЯЩИХСЯ ТОННЕЛЕЙ ПО ФАКТОРУ МЕТАНОВОЙ ОПАСНОСТИ

Аннотация. Одним из важнейших моментов при строительстве горных выработок является проветривание. Сущность проветривания горных выработок при их проходке заключается в создании нормальных атмосферных условий; в исключении вредного воздействия на человека содержащихся в рудничной атмосфере ядовитых газов, высоких и низких температур, а также в предотвращении образования опасных скоплений вредных газов.

На этой базе, статья посвящена иному методу расчета количества воздуха, необходимого для проветривания строящихся тоннелей с учетом метановой опасности. Данный изложенный метода расчета основывается на тщательном математическом моделировании аэродинамических обстоятельств при проведении тоннелей. Решение поставленной задачи позволяло нам вывести адекватную формулу для расчета потребного количества воздуха, которое должно быть обеспечено вентилятором местного проветривания.

Abstract. One of the most important points in the construction of mining excavations is ventilation. The essence of ventilation of mining excavations during their sinking is to create normal atmospheric conditions; to eliminate the harmful effects on humans of toxic gases contained in the mine atmosphere, high and low temperatures, as well as to prevent the formation of dangerous accumulations of harmful gases.

On this basis, the article is devoted to a different method for calculating the amount of air required to ventilate tunnels in construction, taking into account the methane hazard. This stated calculation method is based on a thorough mathematical simulation of aerodynamic circumstances of tunnels in construction. The solution of this problem allowed us to derive an adequate formula for calculating the required amount of air, which should be provided by a local ventilation fan.

Ключевые слова. Строящийся тоннель, метановая опасность, стационарная диффузия газа, конвективный перенос метана, вентилятор местного проветривания, предельно допустимая концентрация (ПДК).

Keywords. tunnel in construction, methane hazard, stationary gas diffusion, convective transport, local ventilation fan, maximum permissible concentration (MPC).

Теоретическое обоснование динамического метода расчета количества воздуха, необходимого для проветривания строящихся тоннелей, основывается на решении стационарных задач диффузии газов в вентиляционных струях.

Для прогноза метановой опасности строящегося тоннеля примем математическую модель стационарной диффузии:

$$\frac{d^2c}{dx^2} - \frac{Q_{CT}}{DS_{CT}} \frac{dc}{dx} - \frac{Q_{CT}}{D\Omega_{CT}} \left(c - \frac{I_{CT}}{Q_{CT}} \right) = 0 \quad (1)$$

$$c(0) = 0, \lim_{x \rightarrow \infty} c(x) \neq \infty \quad (2)$$

где: Q_{CT} – среднее количество воздуха, протекающего по строящемуся тоннелю; S_{CT} – площадь поперечного сечения строящегося тоннеля в свету.

Решение краевой задачи (1) и (2) получено в следующем виде:

$$c(x) - c_n = \frac{I_{CT}}{Q_{CT}} \times \left\{ 1 - \exp \left\{ \left[\frac{Q_{CT}}{2DS_{CT}} - \sqrt{0,25 \left(\frac{Q_{CT}}{DS_{CT}} \right)^2 + \frac{Q_{CT}}{D\Omega_{CT}}} \right] x \right\} \right\} \quad (3)$$

Для удобства графического представления введем безразмерный комплекс:

$$C_{CT} = [c(x) - c_n] Q_{CT} / I_{CT}$$

Зависимость (3) позволила провести вычислительный эксперимент, результаты которого представлены на рисунке 1.

Анализ полученной кривой показывает, что она близка к линейной функции, и при необходимости позволяет использовать начальные слагаемые при разложении экспоненты в формуле (3) в бесконечный ряд.

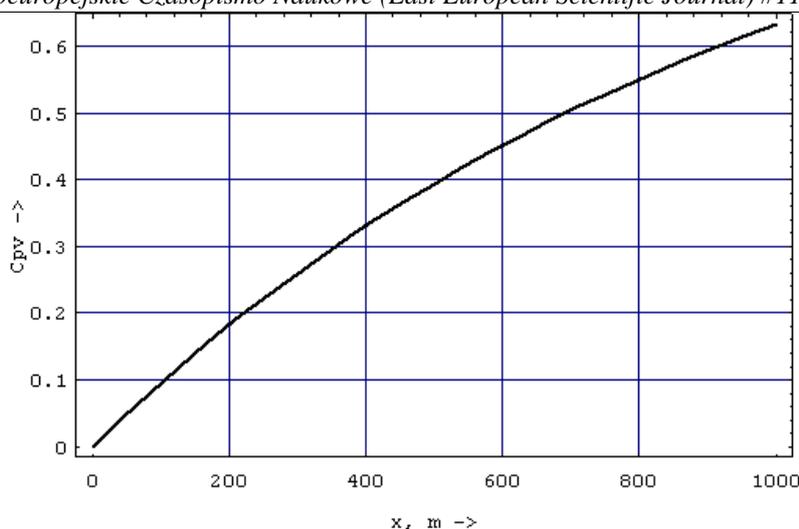


Рис. 1. График зависимости $C_{СТ}$ от хода строящегося тоннеля длиной 1000 м

Следовательно, можно записать:

$$Q_{СТ} = Su = Q_{ВМП}\eta = Q_{ВМП}[1 - a(L_{мп} - x)]$$

где: $L_{мп} = L_{СТ} - L_{н.з}$

$L_{мп}$ – длина вентиляционного трубопровода;

$L_{СТ}$ – проектная длина строящегося тоннеля;

$L_{н.з}$ – длина призабойной зоны;

a – эмпирический коэффициент, характеризующий уменьшение коэффициента доставки воздуха с увеличением расстояния;

x – текущая координата.

Не менее важный вывод, качественно подтверждающий адекватность разработанной модели – это возрастание концентрации по направлению движения струи воздуха. Следовательно, зависимость (3) является базовой закономерностью для разработки способа определения метановой опасности строящегося тоннеля. Динамический метод расчета количества воздуха для проветривания строящегося тоннеля также основывается на решении стационарного уравнения диффузии, но при этом учитывают только конвективный перенос метана. Пусть количество воздуха, подаваемого в подготовительный забой $Q_{зп}$, определяют как произведение подачи вентилятора

местного проветривания $Q_{ВМП}$ на коэффициент доставки воздуха η . При этом количество воздуха, протекающего по строящемуся тоннелю

$Q_{СТ}$, увеличивается по мере приближения к ее устью. Расчетная схема воздухообмена и диффузионного переноса метана показана на рисунке 2.

Натурные наблюдения показывают, что продольной турбулентной диффузией метана можно пренебречь и рассматривать только его конвективный перенос. Тогда уравнение стационарной одномерной конвективной диффузии можно записать в следующем виде:

$$\frac{d}{dx}(uc) = \frac{1}{\Omega} [Q_{ВМП}(c_0 - c) + I_{СТ}] \quad (4)$$

где: u – средняя по сечению продольная скорость воздуха;

Ω – объем строящегося тоннеля;

c – концентрация метана в произвольной точке строящегося тоннеля;

c_0 – концентрация метана в свежей струе воздуха;

$I_{СТ}$ – метановыделение в строящемся тоннеле.

Дивергентную часть уравнения (4) можно представить следующим образом:

$$\frac{d}{dx}(uc) = \frac{d}{dx} \left\{ \frac{Q_{ВМП}c}{S_{СТ}} [1 - a(L_{мп} - x)] \right\} = \frac{Q_{ВМП}}{S_{СТ}} \left\{ ac + [1 - a(L_{мп} - x)] \frac{dc}{dx} \right\}$$

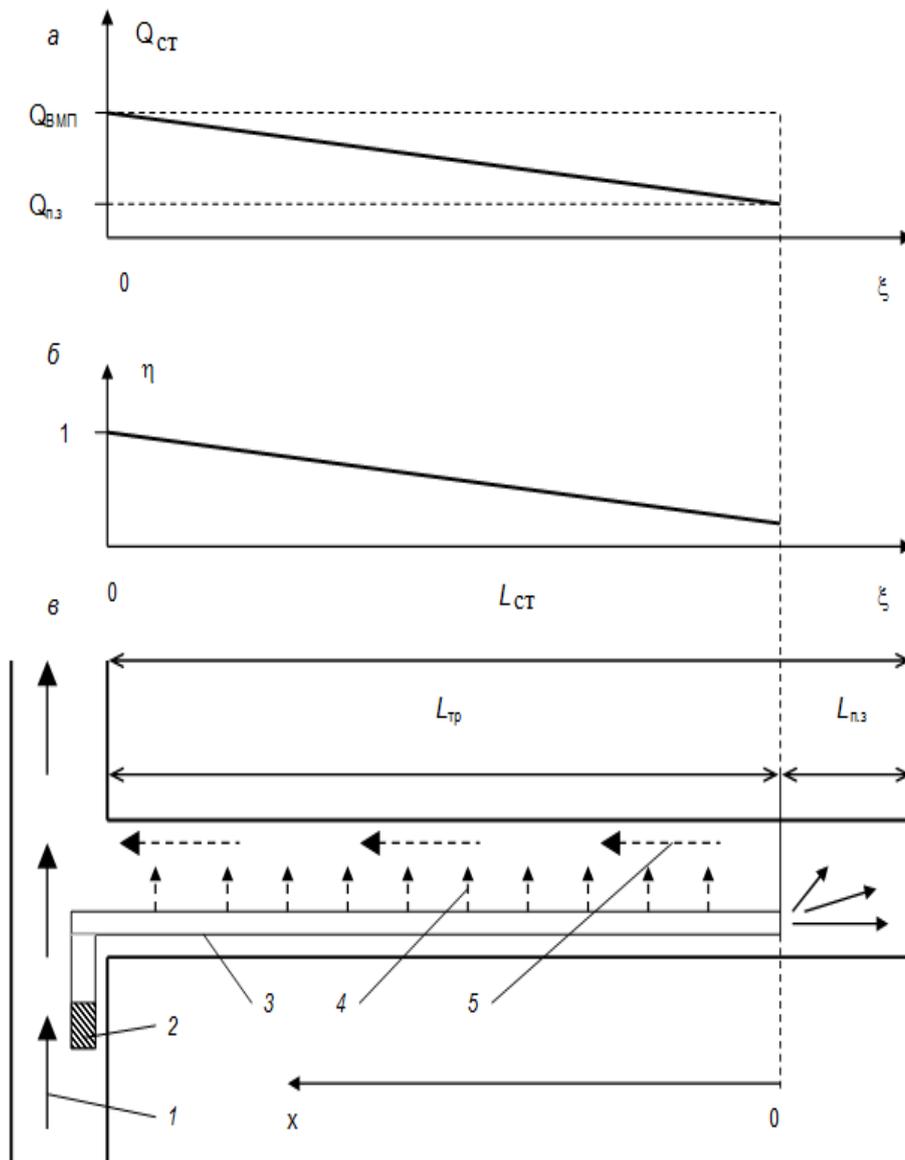


Рис.4.10. Расчетная схема воздухообмена и диффузионного переноса метана в строящемся тоннеле

a – изменение количества воздуха в направлении от устья выработки к забою; *б* – изменение коэффициента доставки воздуха в направлении от устья выработки к подготовительному забою; *в* – схема вентиляции; 1 – свежая струя воздуха; 2 – вентилятор местного проветривания (ВМП); 3 – вентиляционный трубопровод; 4 – утечки воздуха из вентиляционного трубопровода; 5 – исходящая струя воздуха.

Тогда уравнение (4) примет вид:

$$\left[1 - a(L_{mp} - x)\right] \frac{d}{dx} = \left(\frac{1+aL_{CT}}{L_{CT}}\right) \left[\frac{Q_{ВМП}c_0 + I_{CT}}{Q_{ВМП}(1+aL_{CT})} - c\right] \quad (5)$$

Разделяя переменные в уравнении (5), получим, что в соответствии с действующими правилами безопасности справедливо равенство:

$$\int_{c_{н.з.}}^{ПДК} \left[\frac{Q_{ВМП}c_0 + I_{CT}}{Q_{ВМП}(1+aL_{CT})} - c\right]^{-1} dc = \left(\frac{1+aL_{CT}}{L_{CT}}\right) \int_0^{L_{mp}} \frac{dx}{1-a(L_{mp}-x)} \quad (6)$$

где: ПДК – предельно допустимая концентрация метана в воздухе строящегося тоннеля; $c_{н.з.}$ – концентрация метана в призабойном пространстве.

Отсюда следует, что формула для расчета количества воздуха, необходимого для проветривания строящегося тоннеля с учетом конвективного переноса метана, имеет следующий вид:

$$Q_{ВМП} = I_{СТ}[1 - \exp(-\lambda_1 \ln \lambda_2)] \times \{(1 + aL_{СТ})[ПДК - c_{нз} \exp(-\lambda_1 \ln \lambda_2)] - c_0[1 - \exp(-\lambda_1 \ln \lambda_2)]\}^{-1} \quad (7)$$

где: $\lambda_1 = \frac{1+aL_{СТ}}{L_{СТ}}$ и $\lambda_2 = \frac{1}{1+aL_{мп}}$

Структурно формула (7) совпадает с известной формулой для подсчета количества воздуха. Анализ формулы (7) показывает, что учет процессов конвективного переноса газа позволяет уменьшить расчетное количество воздуха для строящихся тоннелей, не повышая при этом уровня метановой опасности.

Следовательно, динамический метод расчета воздуха для проветривания строящихся выработок, во-первых, повышает адекватность моделей воздухообмена в горных выработках и, во-вторых, позволяет существенно снизить затраты на вентиляцию строящихся тоннелей, не повышая уровень метановой опасности.

Список литературы

1. Скочинский А. А. Рудничная атмосфера, изд. 2-е, ОНТИ НКТП СССР, 1933.
2. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий : Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1987. — 421 с.

3. Стась Галина Викторовна, Апете Гоку Ландри, Афанасьев Олег Александрович, Стась Виктор Павлович. Аэрогазодинамические процессы и модели газовых ситуаций при проведении подготовительных выработок и строительстве тоннелей // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. №4.

4. Рудничная вентиляция:/Справочник по ред. Ушаков К.З. – М.: Недра, ГИАБ,1988.

3. Качурин Н.М., Фатуев В.А., Качурин А.Н. Математические модели газодинамики тоннелей в период строительства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 1. Ч. 2. С 100-113.

4. Качурин Н.М., Воробьев С.А., Левин А.Д., Ботов Ф.М. Моделирование аэрогазодинамических процессов при проветривании выработок большого поперечного сечения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. Вып. 1. С.56-64.

© Апете Г.Л., 2019