© В.Н. Макишин, 2005

УДК 69.035.4:622.4

В.Н. Макишин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ВЫРАБОТОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО УСЛОВИЯМ ИХ ПРОВЕТРИВАНИЯ

Семинар № 13

Горно-геологические, климатические, горнотехнические условия и рельеф поверхности в районе подземного строительства оказывают существенное влияние на глубину заложения подземного объекта – протяженность транспортных выработок, пространственное расположение подземных камер и их линейные параметры. Большое значение при выборе глубины заложения подземного объекта имеет его назначение. Протяженность транспортно-вентиляционных выработок в отдельных случаях может составлять от нескольких сотен метров до десяти и более километров.

В зависимости от своего назначения подземные сооружения промышленного, хозяйственного и социального назначения могут иметь значительные объемы. Многие их них составляют сотни тысяч кубических метров. Это оказывает существенное влияние на определение оптимальных условий проветривания подземного сооружения, а, соответственно, и на параметры транспортных и воздухоподающих выработок.

Так, объем подземных камер подземной атомной электростанции составил примерно 35000 м^3 [1], подземного склада товаров в г. Хельсинки – 12200 м^3, подземного хранилища низко- и среднерадиоактивных отходов в Швеции – 90000 м^3 [2].

Для обеспечения надлежащих условий труда согласно требованиям Правил техники безопасности необходимо обеспечивать 4-кратный обмен воздуха в подземном сооружении в течение часа [3].

Несложно подсчитать, что для проветривания подземной камеры объемом 50000 м^3 необходимо подать 50000×4=200000 м^3 свежего воздуха в час, что соответствует производительности вентиляционной установки 200000/3600 = 55,5 м^3/с и сопоставимо с потребностями небольшого горнодобывающего предприятия.

С учетом этого обстоятельства становится очевидным, что для обеспечения свежим воздухом крупного по объему подземного объекта промышленного, хозяйственного или социального назначения необходимо использование высокопроизводительных вентиляционных установок.

В тоже время по условиям проветривания скорость воздуха, подаваемого по выработке, не должна превышать 8 м/с. Поэтому при определении рационального способа проветривания подземного сооружения необходимо проходить транспортные выработки, сечение которых соответствовало бы параметрам применяемых транспортных средств, условиям проветривания при перевозке людей, грузов, и оборудования.

Результаты исследований в области проветривания выработок горных предприятий и подземных сооружений изложены во многих работах [4-9]. В них в основном решались проблемы выбора оптимальных условий проветривания подземного пространства и установление параметров главной вентиляционной установки. В связи с этим нами предпринята попытка определить оптимальные сечения вскрывающих транспортных выработок по условию их проветриваемости.

Научные исследования в этом направлении вели многие известные ученые, такие как Л.Д. Шевяков, К.З Ушаков, К.И. Татомир, П.З. Звягин и другие.

П.З. Звягин решил задачу "…оптими-зации поперечного сечения выработки путем отыскания наиболее выгодной скорости вентиляционной струи в выработке"[4].

Определение протяженности вентиляционно-транспортных выработок подземных хозяйственных сооружений при различных условиях проветривания

Сечение выработки в свету, м^2	Аэродинамическое сопротивление трения $\alpha \cdot 10^4$, Н·с^2/м^4	Длина транспортной выработки, м	
		А = 1 м^2	А = 2 м^2
5,98	12,1	278,0	69,0
6,67	11,7	378,0	94,5
7,44	11,3	514,0	128,5
8,85	11,0	815,0	203,0
9,62	10,8	1022,0	255,0
10,36	10,6	1252,0	313,0
11,36	10,4	1608,0	402,0
12,71	10,1	2200,0	550,0
13,6	9,9	2650,0	662,0
14,49	9,8	3130,0	784,0
16,02	9,5	4150,0	1035,0
18,0	9,06	5830,0	1458,0
22,0	8,69	10040,0	2510,0
27,0	8,33	17480,0	4370,0

Л.Д. Шевяков предложил аналитическое и графическое решение определения сечения отдельной выработки с учетом затрат на ее проведение, поддержание и проветривание [5].

К.И. Татомир разработал методику определения сечений сети подземных выработок угольных шахт. Он считает, что "…расчет оптимальных сечений надо вести комплексно, в отличие от опубликованных ранее способов расчета отдельно взятой изолированной выработки, так как площади поперечных сечений выработок взаимно влияют друг на друга: и изменением одной изменяются и иные" [6].

Горнодобывающее предприятие представляет собой целый комплекс выработок, объем и протяженность которых постоянно изменяются во времени в процессе проведения подготовительных выработок и добычи полезных ископаемых.

В тоже время подземные сооружения после окончания строительства имеют практически постоянный объем. Кроме того, многие из них представляют одиночные выработки большого сечения, в которых располагаются различные объекты хозяйственного, промышленного или культурного назначения. Поэтому для значительного числа из них можно произвести расчет как для одиночной транспортной выработки большого сечения. Значительная часть подземных сооружений по условиям использования предполагает создание в подземных камерах постоянного микроклимата (например, подземные холодильники, зернохранилища, заводы по производству высокоточной аппаратуры). В этих условиях проветривание транспортных выработок и технологических камер осуществляется обособленно – самостоятельными вентиляционными струями. Существует опыт строительства подземных камер вдоль горизонтальных железнодорожных и автотранспортных и наклонных автотранспортных выработок, которые при обеспечении подземных сооружений выполняют функции вентиляционных. Поэтому для решения задачи определения оптимального сечения транспортно-вентиляционных выработок по условиям их проветривания нам представляется использование методик, разработанных применительно к одиночным выработкам.

По условиям проветривания все горные предприятия целесообразно разделить на три группы. Основным критерием здесь является эквивалентное отверстие [7, 8].

Эквивалентное отверстие – это круглое отверстие в тонкой стенке, через которое проходит такое же количество воздуха, что и через рудник, под влиянием разности давления, равной депрессии рудника [7, 9].

При эквивалентном отверстии $A \le 1$ предприятие относится к труднопроветриваемым (узким); при $1 \le A < 2$ - к среднепроветриваемым и при $A \ge 2$ - к легкопроветриваемым (широким).

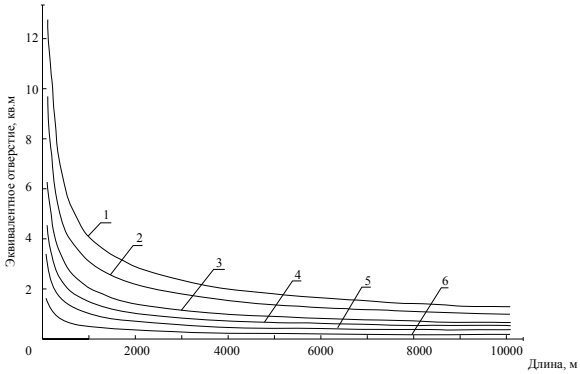

Рис. 1. Изменение эквивалентного отверстия подземного сооружения промышленного, хозяйственного или социального назначения в зависимости от протяженности транспортных коммуникаций при сечении транспортной выработки: *1* – 27,0 м^2; *2* – 22,0 м^2; *3* – 16,0 м^2; *4* – 10,3 м^2; *5* – 7,5 м^2; *6* – 6,0 м^2

Эквивалентное отверстие рассчитывается по формуле [7]:

$$A = 0{,}121/\sqrt{R}\text{, м}^2, \qquad (1)$$

где R - аэродинамическое сопротивление, Н·с^2/м^8.

$$R = \alpha \cdot P \cdot L / S^3\text{, Н·с}^2/\text{м}^8, \qquad (2)$$

где α - аэродинамическое сопротивление трения, Н·с^2/м^4; P - периметр выработки, м; L - длина выработки, м; S - площадь поперечного сечения выработки, м^2.

Попытаемся определить изменение сечения транспортной выработки S в зависимости от ее протяженности L при постоянных значениях эквивалентного отверстия A.

Для выполнения расчетов по определению аэродинамического сопротивления выработок воспользуемся известным соотношением между сечением выработки с арочным сводом и ее периметром [5, 6]:

$$P = 3{,}8 \cdot \sqrt{S}\text{, м.} \qquad (3)$$

Из формулы (1) выражаем величину аэродинамического сопротивления R:

$$\sqrt{R} = 0{,}121/A \quad \text{или} \quad R = 0{,}0146/A^2 .$$

Произведем преобразования:

$$\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{S^3} = \frac{\alpha \cdot 3{,}8 \cdot \sqrt{S} \cdot L}{S^3} = \frac{0{,}0146}{A^2},$$

$$\frac{\sqrt{S}}{S^3} = \frac{0{,}0146}{3{,}8 \cdot A^2 \cdot \alpha \cdot L}$$

или

$$\frac{S^3}{\sqrt{S}} = S^{\frac{5}{2}} = \frac{3{,}8 \cdot A^2 \cdot \alpha \cdot L}{0{,}0146} = 260{,}27 \cdot A^2 \cdot \alpha \cdot L \cdot$$

Затем

$$S = \sqrt[5]{(260{,}27 \cdot A^2 \cdot \alpha \cdot L)^2}\text{, м}^2.$$

И окончательно

$$S = 9{,}25 \cdot \sqrt[5]{(A^2 \cdot \alpha \cdot L)^2}\text{, м}^2. \qquad (4)$$

Протяженность выработки будет равна

$$L = \frac{3{,}84 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 \cdot \sqrt{S}}{A^2 \cdot \alpha}\text{, м.} \qquad (5)$$

В справочной литературе приведены значения аэродинамического сопротивления трения α для сечений выработок, проходимых без крепления, в диапазоне от 5,98 до 16,02 м^2 [7, 8]. Для сечений выработок от 16 до 27 м^2 расчет величин α нами использовалась формула [8]:

$$\alpha \cdot 10^3 = 0{,}981/\{0{,}141 + 0{,}163 \cdot \lg[2 \cdot S/(P \cdot d_0)]\}^2,$$

Н·с^2/м^4. (6)

Применительно к методике работы [7], эту формулу можно представить в следующем виде:

$$\alpha \cdot 10^4 = 1/\{0{,}141 + 0{,}163 \cdot \lg[2 \cdot S/(P \cdot d_0)]\}^2,$$

Н·с^2/м^4. (7)

Здесь d_0 - высота выступа шероховатости, м. Для наших расчетов принималась с учетом рекомендаций работы [8] равной 0,15 м.

Диапазон расчетов принят нами с учетом параметров большинства применяемых подземных транспортных средств и сечений проходимых на рудниках транспортных выработок. Результаты расчетов приведены в таблице.

На рис. 1 приведены графики, иллюстрирующие изменение условий проветривания горных выработок различного сечения в свету при увеличении их протяженности. Как видно из рисунка, с увеличением длины выработки условия проветривания ухудшаются.

По результатам математических расчетов нами были построены зависимости сечений горных выработок от их протяженности при различных величинах эквивалентного отверстия A, равных 1 и 2, и выделены области проветривания подземных выработок, соответст-

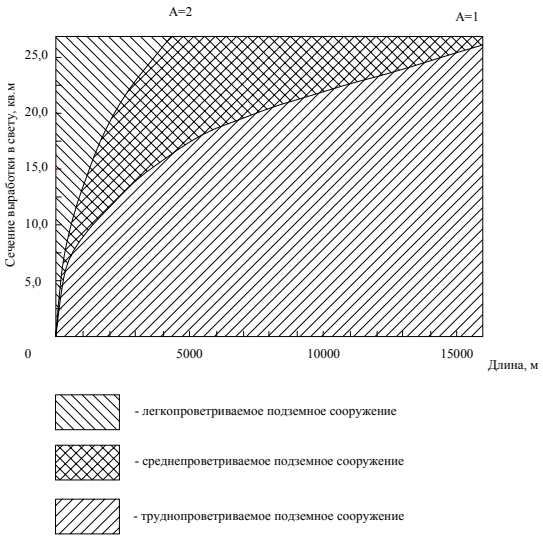

Рис. 2. Области условий проветривания подземного сооружения промышленного, хозяйственного или социального назначения в условиях горной местности при использовании в качестве основных транспортно-вентиляционных выработок штолен, наклонных стволов и съездов

вующих трудным, средним и легким условиям проветривания (рис. 2).

Как видно из графиков рис. 2, для обеспечения легких условий проветривания протяженность горизонтальной транспортной выработки сечением в свету 16 м^2 не должна превышать 1050 м. При принятии решения о более глубоком горизонтальном заложении подземного объекта необходимо учитывать увеличение затрат на его проветривание, пройти транспортную штольню большим сечением в свету или дополнительную вентиляционную выработку.

Таким образом, при определении глубины заложения подземного объекта промышленного, хозяйственного или социального назначения следует учитывать условия проветривания подземных камер. Выбор сечения транспортных воздухоподающих выработок необходимо осуществлять с учетом их протяженности на основе определения их аэродинамических сопротивлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Котенко Е.А.* Создание подземных атомных станций. - М.: ЦНИИатоминформ, 1996. - 98 с.
2. Mining Engineering of Finland. - London, 1990. - 190 p.
3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. – М.: НПО ОБТ,1996. –228 с.
4. *Звягин П.З.* О наивыгоднейшем значении скорости движения воздушной струи по выработкам // Уголь, № 71-72, 1931.
5. *Шевяков Л.Д.* Основы теории проектирования угольных шахт. –М.: Углетехиздат, 1958.
6. *Татомир К.И.* Расчет оптимальных сечений горных выработок шахт. – Киев: Наукова Думка, 1971. – 239 с.
7. Справочник по горнорудному делу. / Под ред. В.А. Гребенюка, Я.С. Пыжьянова, И.Е. Ерофеева. – М.: Недра, 1983. –816 с.
8. Рудничная вентиляция. Справочник. / Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1988. –440 с.
9. *Ивановский И.Г.* Проектирование проветривания и калориферных установок шахт. Учебное пособие. – Владивосток: изд-во ДВГТУ, 2000. –107 с.

Коротко об авторах

Макишин В.Н. – Горный институт Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ им. В.В. Куйбышева).