

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ
ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ**

Москва 1983

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Н. В. СМЕРНОВ
18 апреля 1983 г**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ
ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ**

Одобрены Главтоннельметростроем

Москва 1983

УДК 624.191.94(083.75)

© Всесоюзный научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации предназначены для проектных и проектно-исполнительных организаций. В соответствии с этим они содержат систематизированные материалы по вентиляции подземных выработок сооружений тоннелей; методики расчетов вентиляции по возможности упрощенные; в приложениях даны примеры.

В основу Рекомендаций положены результаты научно-исследовательских работ ЦНИИСа, справочные данные специального характера, а также некоторые материалы опыта устройств и эксплуатации рудничной вентиляции и проветривания выработок гидротехнических сооружений, переработанные применительно к специфике строительства транспортных тоннелей; включена некоторая часть положительного опыта публиковавшихся работ ЦНИИСа [1,2].

Ряд предлагаемых в Рекомендациях способов вентиляции и ее расчетов использовался СКБ Главтоннельмостостроя при разработке [1].

Рекомендации разработали канд. техн. наук А.М. Листов, инженеры А.Б. Скворцова, М.В. Ивлев, И.К. Юзов.

Замечания и предложения просим присылать по адресу: 129329 Москва, ул. Кольская, д. 1, ЦНИИС.

**Зав. отделением транспортных
зданий**

К.И. Хабибулин

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Настоящие Рекомендации распространяются на объекты сооружения горных транспортных тоннелей, проектирование и строительство которых ведется подразделениями Минтрансстроя.

Рекомендации не охватывают вопросов вентиляции метаносопесных выработок, проходка которых должна вестись согласно требованиям [4].

I.2. По объему материалов и их содержанию Рекомендации учитывают, что устройство систем вентиляции тоннельных выработок, их эксплуатация, а также технологические процессы строительства, влияние на состав и температуру воздуха, как правило, ведутся по проекту, но не исключается вероятность принятия оперативных решений и их реализация строительными подразделениями при условии последующего обязательного согласования с проектной организацией.

I.3. В Рекомендациях отнесены следующие специфические условия строительства тоннелей из БЖБ:

низкие температуры наружного воздуха в зимнее время;

длительный период с отрицательными температурами наружного воздуха;

наличие взрывоопасных пород;

возможность высоких температур породного массива в зоне проходки тоннелей;

большая длина глухих участков тоннельных выработок;

применение при строительстве нового, в том числе импортного оборудования.

I.4. При изготовлении элементов, монтаже и эксплуатации вентиляционных систем следует уделять особое внимание их качеству, для чего рекомендуется в проектах предусматривать соответствующие устройства по определению показателей качества.

I.5. Выбор системы вентиляции целесообразно вести на стадии рассмотрения вариантов организации и способов производства работ по сооружению тоннеля, оценивая рациональность решений комплексно.

При этом должны учитываться:

реальность получения требуемых характеристик воздушной среды в тоннельных выработках;

итоговая, т.е. общая для всего комплекса строительно-монтажных работ, степень экономичности;

возможность и рациональность использования комбинированных способов улучшения воздушной среды.

1.6. Следует различать санитарно-гигиенические и технологические требования к воздушной среде.

Санитарно - гигиенические требования подразделяются на требования к составу воздуха в рабочей зоне и метеорологические условия для различных мест этой зоны.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) газовых примесей и аэрозолей в воздухе рабочей зоны надлежит принимать по ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования"¹.

Характеристики наиболее распространенных в практике тоннелестроения вредных воздействий даны в приложениях 1 и 2.

Значения допустимых величин метеорологических параметров воздушной среды в тоннельных выработках приведены в [5], дополненные данными по оптимальным величинам метеорологических параметров - в приложении 3.

Технологические требования включают условия, необходимые для нормального протекания технологических процессов, и также пожаро- и взрывобезопасности.

К ним относятся:

а) скорость движения воздуха в любом месте тоннельной выработки должна быть не менее 0,1 м/с (для обеспечения эффективной работы вентиляции);

б) температура воздуха на отдельных участках должна соответствовать требованиям твердения бетона, бесперебойности водоотвода, сохранения мерзлого состояния породы и т.п., в случае противоречия требований гигиены и технологии ототупления от первых необходимо согласовывать с органами санитарного надзора;

в) влажность воздуха - не более 90 % (с точки зрения обеспечения видимости в выработках).

1.7. До разработки проекта вентиляции объекта, а также в процессе строительства тоннеля целесообразно рассмотреть возможности

¹ Величины ПДК для углекислого газа CO_2 и минимально допустимое содержание кислорода O_2 государственными стандартами не регламентированы; их значения приведены в [2].

применении различных средств улучшения воздушной среды, к которым (кроме вентиляции) следует отнести:

- способы снижения выделений вредных веществ;
- уменьшение интенсивности выделения во времени;
- применение средств поглощения вредных веществ и их локализации;

тепловой среды.

Характеристики некоторых из перечисленных средств приведены в следующей главе настоящих Рекомендаций.

2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Взрывы при разработке породы в забоях

2.1. Основными вредными веществами, выделяющимися при взрывании породы являются:

- окись углерода;
- диоксид углерода;
- окисли азота;
- пыль.

2.2. Все выделяющиеся газы обычно приводятся по токсическому действию к окиси углерода, причем для грубых подсчетов считается, что 1 кг взрывчатых веществ (ВВ) выделяет 40 л условной окиси углерода (50 г).

Руководство по проектированию и организации проветривания шахт [6], выпущенное ВНИИОМШС, дает более конкретные значения газовойсти ВВ (табл. I).

Т а б л и ц а I

Условия увлажнения	Расчетные значения газовойсти, л/кг, при коэффициенте крепости пород по М.М. Протодакинову							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Без учета влияния орошения	40	35	30	30	40	55	60	65
С учетом влияния обводненности или искусственного орошения	10	15	20	30	40	50	60	65

2.3. Учитывая, что крепость пород оказывает существенное влияние на газоность ВВ, а также трудности увеличения производительности вентиляции в процессе строительства, можно рекомендовать для расчетов брать величину газоности 40 л/кг до значений коэффициента Протодьяконова, равного 12, и по табл. I для более высоких его значений.

Обводненность забоя или искусственное орошение на стадии разработки проекта учитывать не рекомендуется, так как эффект этих факторов в большой степени зависит от конкретных условий строительства, которые не могут быть известны заранее.

Однако этот эффект может быть весьма значительным, и поэтому при обработке паспортов бурозарывных работ взять все основания для опробования и применения различных способов орошения забоя.

Недо иметь в виду, что некоторое завышение производительности вентиляции, которое получится от условности принятия газоности ВВ, совершенно не означает перерасхода средств, так как оно будет компенсироваться сокращением времени проветривания забоя.

2.4. Зона загромождения выработки (длина зоны отброса газов) при взрыве l_r , м, определяется по формуле

$$l_r = 20 \frac{A}{\gamma_r l_{\text{ср}} \sqrt{F_{\text{ср}}}}, \quad (1)$$

где A — количество взрываемого вещества, кг;

γ_r — плотность породы в естественном состоянии, т/м³;

$l_{\text{ср}}$ — длина плура, м;

$F_{\text{ср}}$ — площадь поперечного сечения выработки, м².

Транспортные машины с двигателями внутреннего сгорания

2.5. Для работы в подземных выработках на всех машинах с двигателями внутреннего сгорания допускается только дизельные, оборудованные нейтрализаторами отходящих газов.

Правила [5] регламентируют состав и расход выхлопных газов до газоочистки (не более 24 г/ч условной окиси углерода на 1 л.с. номинальной мощности) и после газоочистки (не более 100 величин предельно допустимой концентрации окиси углерода и не более 6 м³/мин. сырого воздуха на 1 л.с. для разбавления газов до санитарной нормы).

2.6. Приведенные требования определяют максимальные расчетные характеристики выделений отработанных газов и дымовых газов.

топлива по I л.с. номинальной мощности:

расход газов для машин, м³/о

грузовых 0,001

порожних 0,0008

концентрация условной окиси углерода

для машин, мг/м³

грузовых 2000

порожних 1600

2.7. Количество тепла, выделяемое машинами с двигателями внутреннего сгорания, может подсчитываться по расходу топлива G ,

$$Q_m = 0,7 Q_p^* G, \quad (2)$$

где Q_p^* — низшая теплотворная способность топлива.

Сварочные работы

2.8. Основными вредными веществами, выделяющимися в воздух при электродуге сварки, являются пары металлов и окислы азота.

Значение предельно допустимой концентрации сварочных паров дано в приложении 2.

Величины интенсивности выделений этих веществ в зависимости от марок электродов, силы тока и вида операций приведены в приложении 4. Здесь же помещены коэффициенты неравномерности сварки

K_m , необходимые для расчета воздухообмена.

2.9. Значение выделения тепла у одного сварочного поста может определяться

$$Q_{св} = 36 K_m J B T (Q_{св} - J (K_m J_{кп} \Delta T / z)), \quad (3)$$

где J — сила тока, А.

2.10. Газовая сварка применяется редко и образующиеся при ней вредные вещества (СО, СО₂, углеводороды) могут не учитываться в общем газовом балансе.

Бурение шпуров и скважин

2.11. Основным видом выделяемых при бурении шпуров вредных веществ является пыль, ее характеристики приведены в приложении 2.

Интенсивность выделения пыли при бурении шпуров с промывкой согласно [7] может определяться по формуле

$$A_p = \Delta \delta_f U_{свр} d_{свр}^2 \gamma_c K_1 K_2 K_3, \quad (4)$$

где A_p — интенсивность пылепоступления, мг/с;

Δ_s - коэффициент размерности, определяемый по табл.2;

f - коэффициент крепости породы;

$U_{бр}$ - скорость бурения, мм/мин;

$d_{ш}$ - диаметр шпуре, мм;

γ - плотность грунта, т/м³;

k_1 - коэффициент возрастания интенсивности пылевыведения при одновременной работе нескольких близко расположенных (ближе 3 м) перфораторов. Для одной машины $k_1 = 1$; для двух 1,7; трех 2,3; четырех 2,7. Для буровых кареток k_1 определяется по табл.3;

k_2 - коэффициент, учитывающий направленность шпуре. При бурении восстающих шпуров $k_2 = 1,3$; горизонтальных 1,0 и нисходящих 0,7;

k_3 - коэффициент, учитывающий массу бурильной машины. Для ручных перфораторов (18-25 кг) $k_3 = 1,3$; тяжелых ручных (25-45 кг) 1,0; легких колонковых (46-60 кг) 0,7 и тяжелых колонковых (более 60 кг) 0,5.

2.12. Кроме определенного по формуле (4), следует учитывать дополнительное пылепопущение, обусловленное действием вентиляционного потока. При средней скорости вентиляционного потока

$u_v = 0,1-1,0$ м/с дополнительное попущение пыли изменяется от 10 до 52 %.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Способ и режим бурения	Коэффициент размерности Δ_s
1	При нормализованном бурении с осевой промывкой технически чистой водой	$155 \cdot 10^{-8}$
2	То же, но с пылесмачивающими добавками	$93 \cdot 10^{-8}$
3	При нормализованном бурении с боковой промывкой чистой водой	$93 \cdot 10^{-8}$
4	То же, но с добавкой смазочной пыли	$57 \cdot 10^{-8}$
5	При вращательном бурении с промывкой чистой водой	$16 \cdot 10^{-8}$
6	При ударно-вращательном бурении с промывкой скважин водовоздушной смесью	$10 \cdot 10^{-8}$

П р и м е ч е н и е. Для быстроударных перфораторов значение Δ_s можно принимать равным $512 \cdot 10^{-6}$.

Т а б л и ц а 3

Буровая каретка СБУ-2		Буровая каретка "Клаймакс"	
Количество	κ_1	Количество	κ_1
1	1,0	1	1,0
2	1,4	2	1,7
-	-	3	2,4
-	-	4	3,2

2.13. Интенсивность поступления пыли при бурении с сухим пылеулавливанием подсчитывается по формуле

$$A_6 = 4,7 \cdot 10^{-6} V_{\text{бур}} \alpha_{\text{св}}^2 \gamma_n f \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4 \beta_n, \quad (5)$$

где κ_4 — коэффициент, учитывающий влияние обводненности бурящих пород. При бурении по сухим породам $\kappa_4 = 1$; по обводненным $\kappa_4 = 0,1$; при средней обводненности $\kappa_4 = 0,5$;
 β_n — коэффициент, учитывающий эффективность пылеулавливающих устройств $\beta_n = 1,00 - 0,01 \eta_{\text{пл}}$ ($\eta_{\text{пл}}$ — КПД пылеуловителя, %).

Для аппаратов с хорошим пылеулавливанием β_n может быть принят от 0,01 до 0,001 (большое значение относится к бурению шпуров малого диаметра, а меньшее — к бурению скважин большого диаметра). Значения остальных величин, входящих в формулу (5), те же, что и для формулы (4).

Погрузка породы

2.14. Интенсивность поступления пыли при погрузке породы $A_{\text{пг}}$, мг/с, согласно [7] определяется по формуле

$$A_{\text{пг}} = \delta_n \cdot G_n \cdot \rho_n, \quad (6)$$

где δ_n — коэффициент, учитывающий размерность входящих величин, эффективность орошения и пылесмачивающих добавок. При сухой породе $\delta_n = 0,28$, при обильном орошении массы перед погрузкой чистой водой $\delta_n = 0,014$, а при орошении водой со смачивающими добавками $\delta_n = 0,009$;
 G_n — часовая производительность механизма, т/ч;
 ρ_n — удельное пылевыделение, г/т, определяется по табл.4.

Т а б л и ц а 4

№ п/п	Погрузочные работы	Удельное пылевыведение ρ_n , г/т
1	Погрузка машинами с изгребающими лопами	6,7-22
2	Ручная погрузка или перекидка горной массы	10-15
3	Скреперование	5-7
4	Погрузка машинами типа ПМЛ или ЭПМ	7-9
5	Погрузка экскаватором с ковшом емкостью 1 м ³	3-5

П р и м е ч е н и е. Меньшие значения ρ_n относятся к крупно-кусковой породе.

3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И РАСЧЕТ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Вентиляция после взрывов

3.1. Вентиляция глухих забоев после взрывов можно осуществлять приточными, вытяжными и комбинированными системами.

3.2. Производительность приточной системы $L_{пр}$, м³/с, определяется

$$L_{пр} = \frac{4,1 \ell_{пр} F_{заб}}{\tau} \lg \left(a \frac{\ell_{заб} \alpha}{\sqrt{F_{заб}}} \right), \quad (7)$$

где $\ell_{пр}$ — максимально допустимое расстояние среза приточного воздуховода от плоскости забоя (после взрыва), м, определяется по формуле

$$\ell_{пр} = 18,7 \sqrt{F_{заб}} \sqrt{\frac{F_{тр}}{F_{заб}}}, \quad (8)$$

или подбирается по табл.5.

В формулах (7) и (8) $F_{заб}$ и $F_{тр}$ — соответственно площади поперечного сечения тоннельной выработки в проходке и приточной трубы, м²;

a — численный коэффициент, равный 25 и 50 соответственно для $F_{заб}$ от 12 до 40 м² и от 41 до 95 м²;

τ — время проветривания забоя, обычно принимается равным 1800 с, но подлежит обязательному уточнению в натурных условиях при осуществлении пелопорте буро-взр чих работ.

Т а б л и ц а 5

Диаметр воздухово- да, м	Максимально допустимое расстояние срезе приточных труб от забоя $L_{пр}$, м, при площади поперечного сече- ния выработки $F_{вы}$, м ²									
	12	16	20	25	30	40	50	65	80	95
0,5	16,5	17,5	18,0	19,0	-	-	-	-	-	-
0,6	18,5	19,5	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	25,0	26,0
0,8	-	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	31,0	32,0
1,0	-	-	-	-	30,0	32,0	33,0	35,0	36,0	37,0
1,2	-	-	-	-	34,0	36,0	37,0	39,0	40,0	42,0
1,5	-	-	-	-	-	-	-	43,0	45,0	46,0

3.3. Расход воздуха, удаляемого из забоя воздуховодом вытяжной системы, принимается большим $L_{пр}$ на 10-20 %.

Вытяжные системы тупиковых забоев не рекомендуются из-за их малой эффективности.

3.4. Комбинированные системы являются наиболее распространенными для проветривания забоев тоннельных выработок после взрывов.

Традиционный вариант таких систем (рис.1) заключается в устройстве отбоя, расположенного от груди забоя на расстоянии

$$L_0 = L_{пр} + (5 \div 10) \text{ м},$$

и рециркуляционного короткого воздуховода длиной 15-20 м, питаемого автономным вентилятором-побудителем или вентилятором, стоящим на всасывающем воздуховоде.

Во всех случаях производительность рециркуляционной части системы определяется по формуле (?), а производительность вытяжки берется на 10-20 % больше

$$L_{выт} = (1,1 \div 1,2) L_{пр}$$

Воздуховод для притока или рециркуляции желательно размещать в верхней части выработки, где меньше вероятность его повреждения кусками породы при взрыве.

Оптимальное расположение воэса диаметрально противоположно притоку; при этом обеспечивается наилучшее омывание привзбойного пространства воздухом.

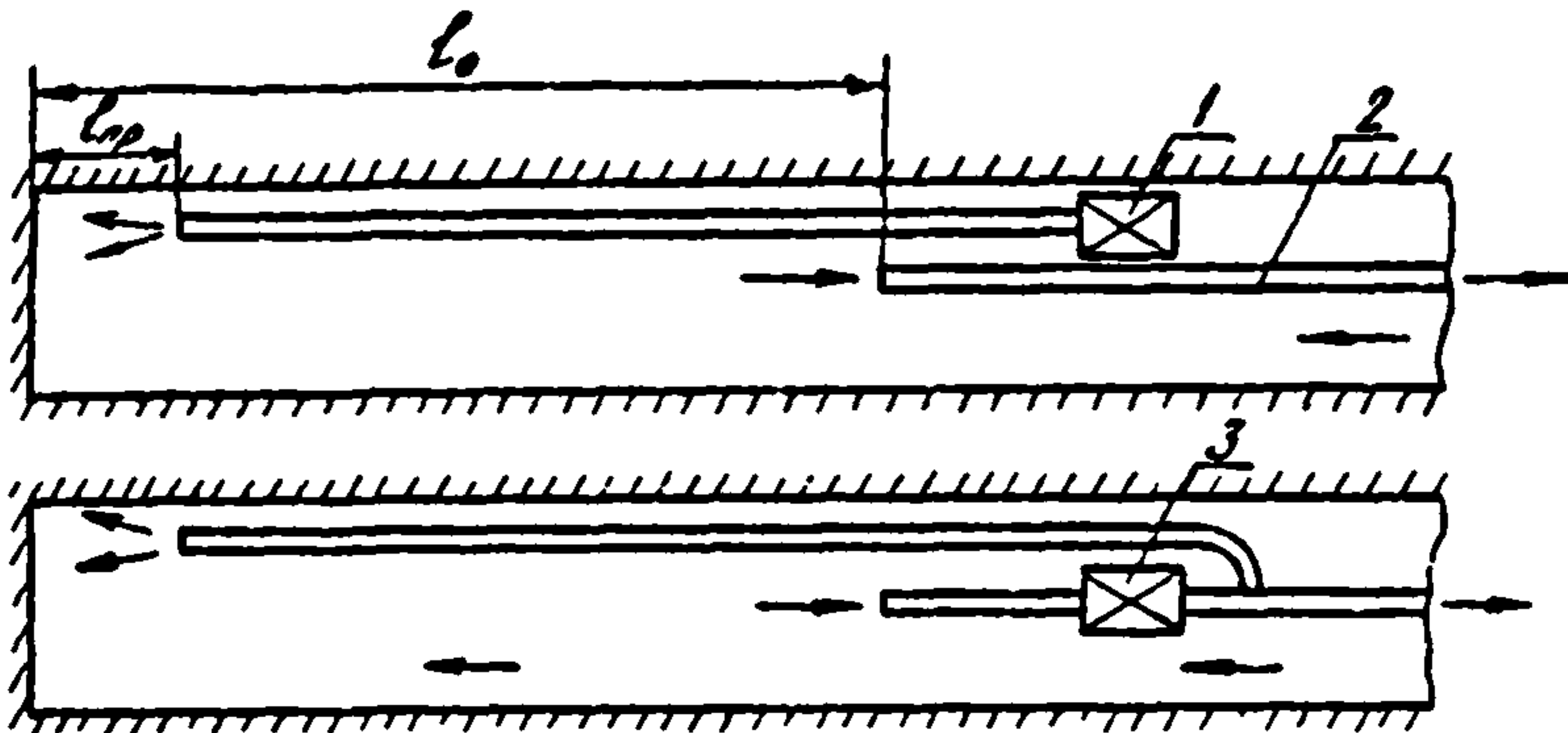


Рис.1. Комбинированные способы проветривания одиночных тупиковых забоев:
1 - вентилятор-побудитель; 2 - отсасывающий воздуховод;
3 - вентилятор для рециркуляции отсоса

3.5. При невозможности разместить всасывающий и рециркуляционный воздуховоды на указанных расстояниях от забоя (например, из-за загроможденности пространства конструкциями буровой рамы) можно рекомендовать рециркуляционную систему без воздуховодов (рис.2), как разновидность описанного варианта.

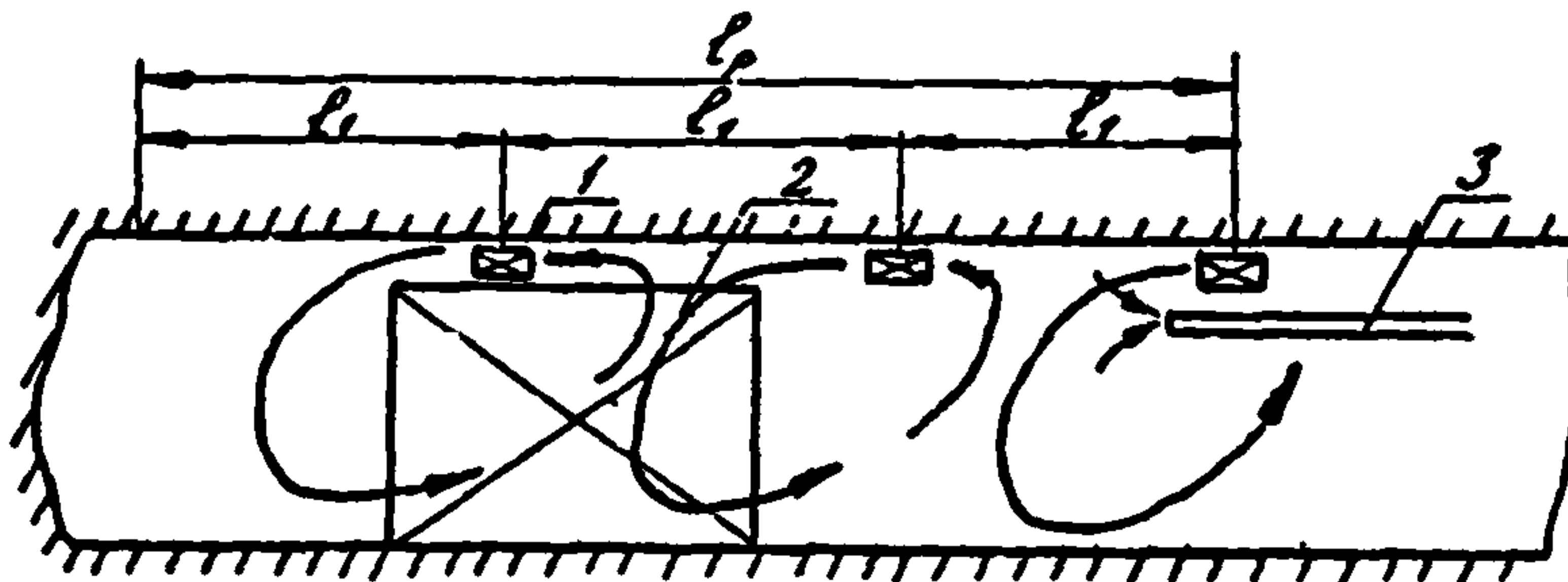


Рис.2. Рециркуляционная вентиляция в призабойном пространстве:
1 - вентиляторы-побудители; 2 - загромождающая выработку конструкция; 3 - отсасывающий воздуховод

В местах 1, 2 и т.д. располагаются вентиляторы или группы параллельно работающим вентиляторов одинаковой производительности L_p , м³/с, определяемой выражением

$$L_p = \frac{F_{\text{впр}} l_p}{\tau} \left[0.64 + 0.27 \frac{l_i}{d} (n-1) + 4.42 \kappa_n l_g \left(a \frac{l_n \chi_n}{\sqrt{F_{\text{впр}}}} \right) \right], \quad (9)$$

где l_p - длина зоны рециркуляции, м;
 l_v - расстояние между вентиляторами (или их группами), м, определяется как и $l_{\text{в}}$ по формуле (8) или по табл.5;
 n - количество вентиляторов (или групп), включая и приточный воздуховод, принятый за один вентилятор;
 $D = \frac{4F_{\text{в}}}{\rho}$ - приведенный диаметр выработки, м, где ρ - периметр сечения выработки.

3.6. Вентиляция пространства у промежуточного забоя (при раскрытии выработки на полный профиль) после взрыва может осуществляться по двум схемам:

а) сквозная по отношению к промежуточному забою схема, при которой создается движение воздуха по желотте (рис.3).

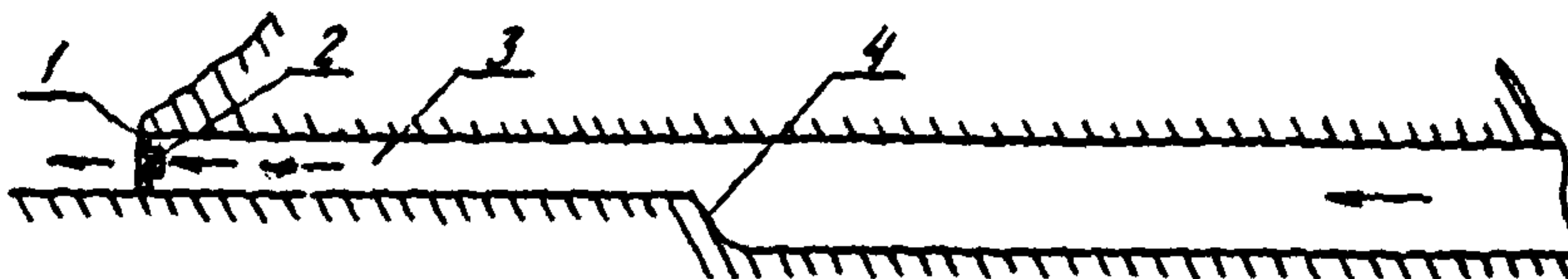


Рис.3. Сквозная вентиляция при раскрытии выработки на полный профиль:
 1 - перемычка; 2 - вентилятор; 3 - желотта; 4 - забой

Производительность такой вентиляции L_c м³/с, рассчитывается по формуле

$$L_c = \frac{F_{\text{ср}}(l_c + l_0)}{t_c}, \quad (10)$$

где $F_{\text{ср}}$ - средняя по длине следования газового облака площадь поперечного сечения выработки (желотты), м²;
 t_c - время очищения забоя и выработки от взрывных газов, с;
 l_c - длина пути, проходимого облаком до места всаса, выхода из штольни и поступления на участок, где отсутствуют люди, м;
 l_0 - полуширина газового облака, определяемая по графику на рис.4.

Кривая 1 относится к сильно взгроможденным выработкам с наличием поворота потока перед местом образования взрывного облака; кривая 2 - к прямым выработкам с обделками и к вентиляционным воздуховодам; 3 - к выработкам с обделкой и внезапным поворотом;

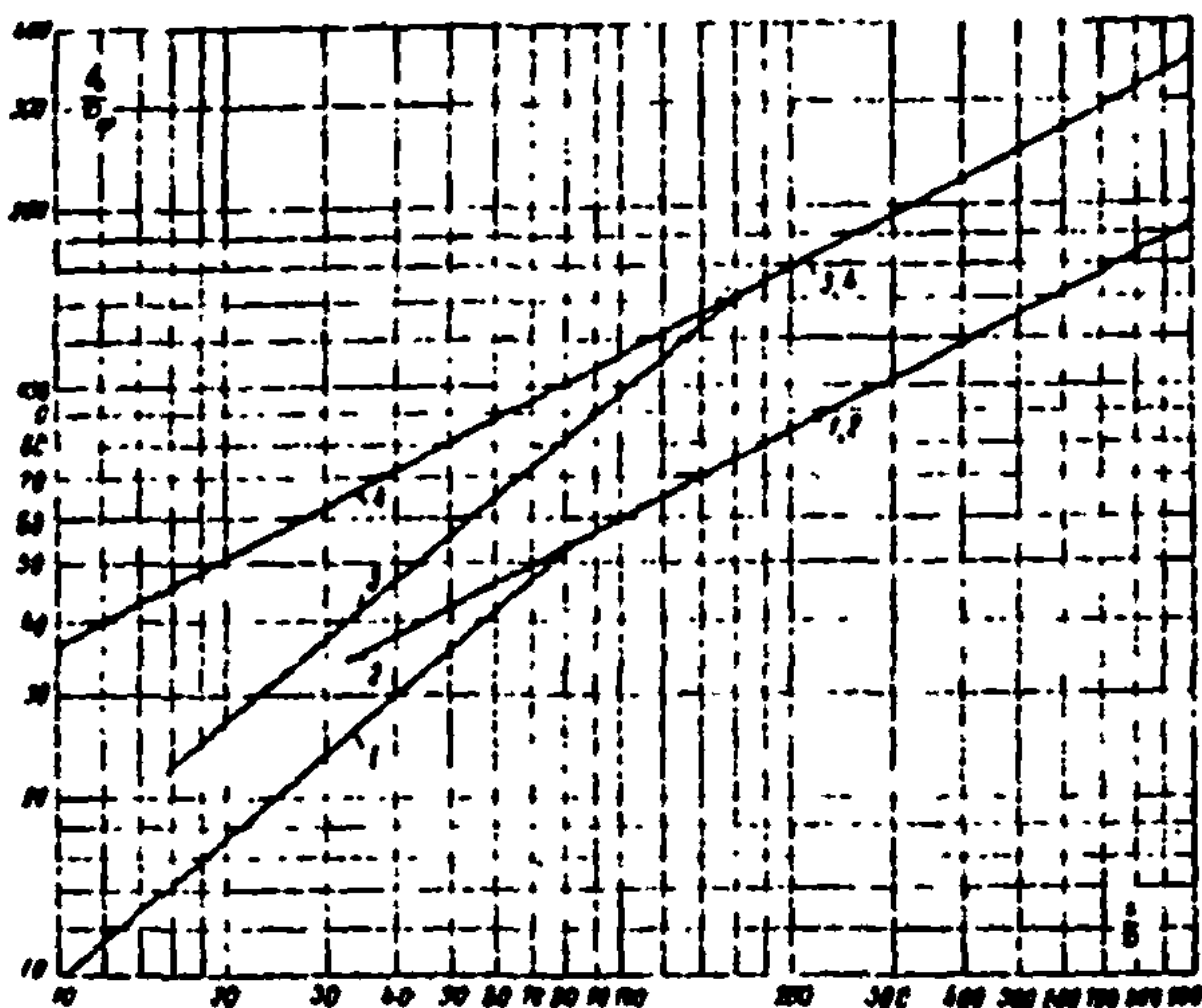


Рис.4. График зависимости полуширины газового облака от длины выработки: D - диаметр выработки

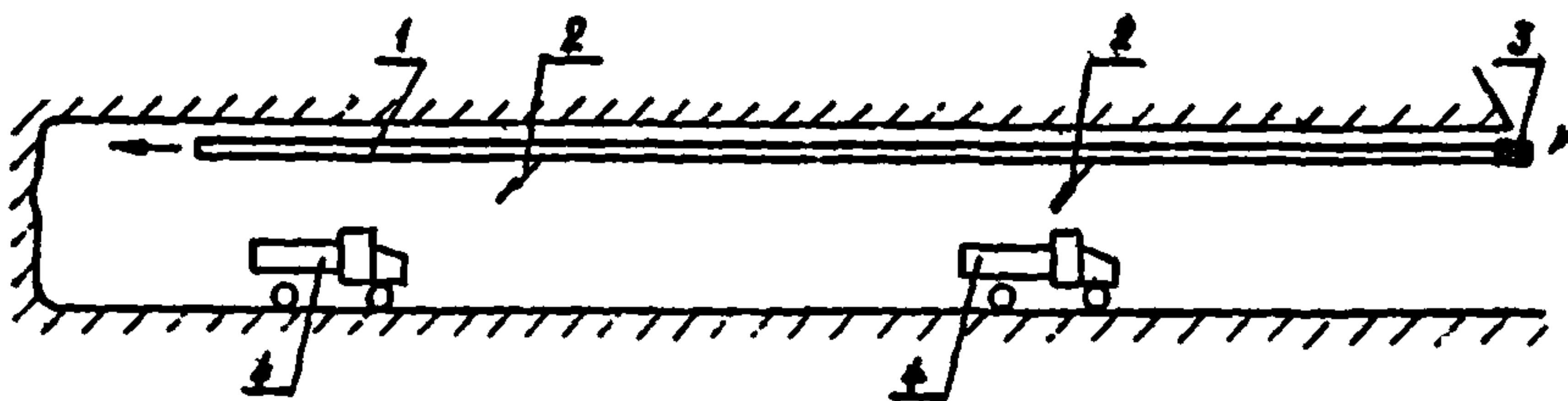


Рис.5. Система с распределенной разводкой воздуха:
1 - воздуховод; 2 - перемычка; 3 - отводящий воздуховод;
4 - выработка, по которой идет транспортировка;

4 - к прямым выработкам, имеющим внезапное увеличение площади;
 D_{cp} - средний по длине следования облака приведенный диаметр выработки;

б) вытяжная схема аналогична для тупикового забоя.

Вентиляция при расчлененном выделении вредных веществ

3.7. Системы вентиляции тупиковых выработок при расчлененном по их длине выделении вредных веществ (схлопные газы автомашины, одновременная сварка в нескольких местах) имеют несколько модификаций.

3.8. Традиционной является приточная продольная система с выпуском воздуха у забоя. Ее производительность определяется по формуле

$$L_{np} = \frac{\sum G_{sp}}{C_{доп} - C_{ф}} \quad (II)$$

где $\sum G_{sp}$ - сумма расчетных величин выделений на длине выработки;
 $C_{доп}, C_{ф}$ - соответственно предельно допустимая и фоновая концентрации вредного вещества.

Расчетными величинами выделений вредных веществ называются такие их значения, которые учитывают неравномерность и неодновременность ведения работ, создающих источники этих выделений. Например, ведение сварки в трех-четырех местах выработки может быть и неодновременным.

3.9. Более эффективны, чем продольные, приточные системы с распределенной раздачей воздуха.

Суть таких систем заключается в том, что выработка разбивается на участки, в пределах каждого из которых имеется источник выделений. В конце каждого участка, считая от портала, выпускается чистый воздух, разбавляющий выделяемое вредные вещества до величины, достаточной для соблюдения нормы в начале участка (рис.5).

При этой системе только часть воздуха транспортируется до забоя, благодаря чему значительно снижаются затраты энергии.

Надо заметить, что неравномерность выделения вредных веществ на каком-либо участке выработки больше, чем на всей ее длине. Например, если в среднем в выработке одновременно находится пять автомашин, вызывающих пыль, и вероятно наличие дополнительно веществ (вследствие естественной неравномерности движения), выработка поделена на 5 участков, то на одном из них выделений одной ма-

шины окажется две; таким образом, для новой выработки нагрузка вырастет в 6/5 раз, а для какого-то участка - вдвое. Далее даны предложения по количественному учету этого фактора.

Расход воздуха, выпускаемого в конце последнего n -го участка (у забоя) при неподвижных источниках выделения вредных веществ определяется выражением

$$L_n = \frac{G_{1n}}{C_{доп} - C_0} \quad (12)$$

В конце предпоследнего участка

$$L_{n-1} = \frac{G_{1n}}{C_{доп} - C_0} \quad (13)$$

В конце первого участка

$$L_1 = \frac{G_{1p}}{C_{доп} - C_0} \quad (14)$$

Расход воздуха, транспортируемого по воздухопроводу и идущего по выработке на первом участке, будет равен

$$L_{d1} = \frac{\sum G_{1p,n}}{C_{доп} - C_0} \quad (15)$$

на втором участке

$$L_{d2} = \frac{\sum G_{1p,n} - G_{1p1}}{C_{доп} - C_0} \text{ и т.д.} \quad (16)$$

3.10. Вентиляционные системы выработок, в которых имеются движущиеся источники выделения вредных веществ (автомобили, тракторы и пр.), необходимо рассчитывать с учетом скорости и направления их движения по отношению к воздушному потоку.

Чем ближе друг к другу скорости движения воздуха и источника, тем выше концентрация вредных веществ в последнем при прочих равных условиях. В пределе концентрация в окружающей источник воздушной среде может достичь концентрации вредных веществ в выхлопных газах.

3.11. Для расчета производительности продольной вентиляции выработки или вентиляции с распределенной задачей предлагаются следующие формулы:

концентрация определяющих вредных веществ, создаваемая стоячей машиной

$$\Delta_1 C = \frac{Q_a C_a}{F_{доп} u} \quad (17)$$

то же машиной, движущейся в направлении воздушного потока

$$\Delta_2 C = \frac{Q_a C_a}{F_{доп} (v - u)} \quad (18)$$

то же против потока

$$\Delta_3 C = \frac{Q_a C_a}{F_{доп} (v + u)} \quad (19)$$

Итоговая концентрация получается в результате наложения (суммирования) концентраций, создаваемых машинами отдельно (или одной машиной, последовательно затрагивающей рассматриваемый участок), и фоновой концентрации; эта итоговая концентрация должна быть не более предельно допустимой

$$C_{\text{ит}} \leq C_0 + n_1 \Delta_1 C + n_2 \Delta_2 C + n_3 \Delta_3 C. \quad (20)$$

В формулах (17)–(20):

$C_{\text{ит}} \cdot C_0$ и C_0 – концентрации определяющих вредных веществ соответственно предельно допустимая, фоновая (в воздухе, засиравом: снаруки) и в выхлопных газах автомашин, мг/м³;

q_c – расход выхлопных газов одной автомашиной, м³/с;

u – скорость движения воздуха по выработке, м/с;

v – средняя скорость движения автомашин, м/с;

n_1, n_2, n_3 – число машин соответственно стоящих, движущихся по воздушному потоку и против него, выделяющих вредные вещества в какой-либо один элементарный объем этого потока.

3.12. Искомый расход воздуха (или скорости его) на рассматриваемом участке входит в расчетные формулы в неявном виде. Расчет надо начинать с первого по ходу движения воздуха по выработке участка затем – для следующей. При распределенной раздаче воздуха разность расходов воздуха на этих участках является величиной расхода воздуха, выпускаемого на границе участков.

При определении величин n_1 , n_2 и n_3 надо учитывать неравномерность движения автомашин.

В приложении 5 даны методики и вспомогательные графики для таких расчетов, осуществленные с учетом наличия на производном участке одной маневрирующей автомашины и одной стоящей под погрузкой (кроме машин, находящихся в движении).

В приложении 6 приведены аналогичные графики для машин ИОАЗ или джелевозов.

Прочие условия

3.13. Вентиляция параллельных выработок, соединенных сбоями, может осуществляться отдельно и независимо для каждой из них по одной из описанных схем. Однако гораздо эффективнее системы сквозного проветривания через одну или несколько сбоек с добавлением систем проветривания тупиковых участков.

Возможны следующие случаи организации вентиляции с использованием выработок в качестве воздухопроводов:

а) выделения вредных веществ распределены в забоях выработок (например, после взрывов) и по длине одной из выработок, по ней же идет транспортировка, во второй никаких работ не проводится.

Такое сочетание производственных факторов позволяет эту вторую из выработок использовать только как вентиляционный канал с превышением в нем при необходимости предельно допустимых концентраций вредных веществ.

Схема рассматриваемого способа вентиляции представлена на рис. 6.

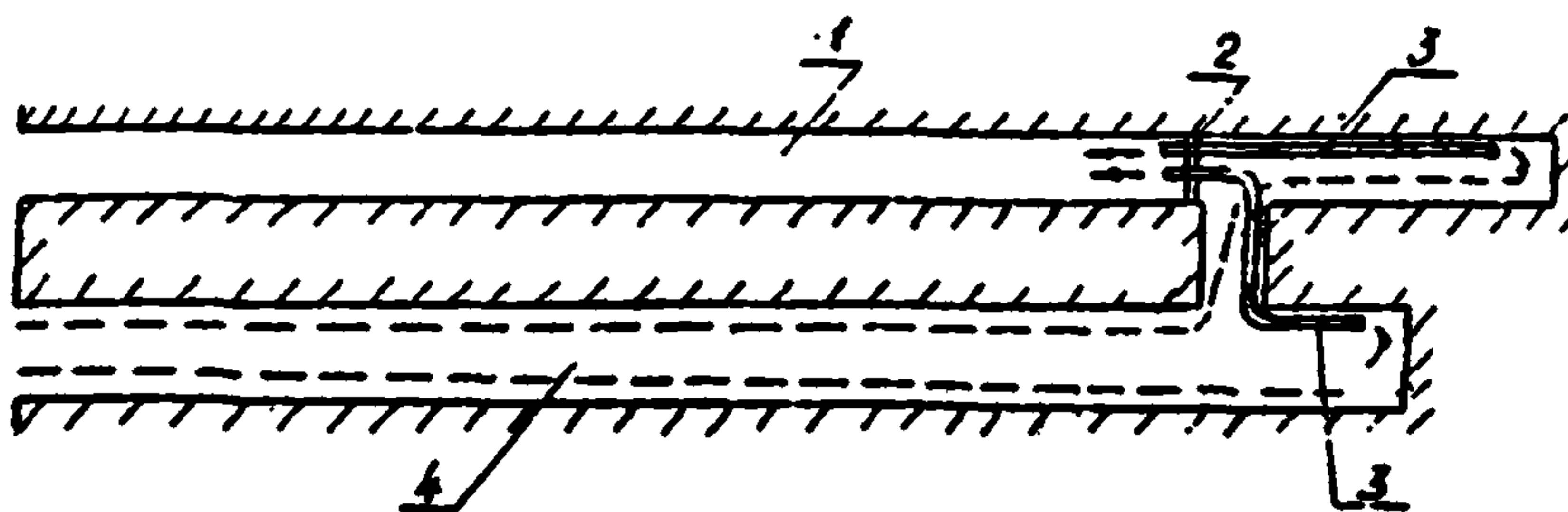


Рис. 6. Комбинированная схема вентиляции:
1 — «рабочая» выработка; 2 — перемычка; 3 — отводящий воздухопровод; 4 — выработка, по которой идет транспортировка;

Расчет производительности вентиляции сводится к определению расхода воздуха L_1 по «рабочей» транспортной выработке (продольная вентиляция по п. 3.11) и расходов L_2 и L_3 воздуха в мертвых зонах вентиляции тупиковых участков обеих выработок (п. 3.1–3.10).

Расход воздуха в конце объединяющей выработки L должен приниматься на 10–15 % больше большей из двух величин: L_1 и $L_2 + L_3$. В начале этой выработки (у портала) расход берется столько, чему L_1 на величину подсоса через перемычку, утепленную в обоях (рассматриваемая выработка должна находиться под разряжением);

б) работы ведутся в обеих выработках, выделения вредных веществ имеются как по их длине, так и в забоях (эпизодически после взрывов).

В этом случае целесообразно рассматривать две вентиляционных режима (рис. 7).

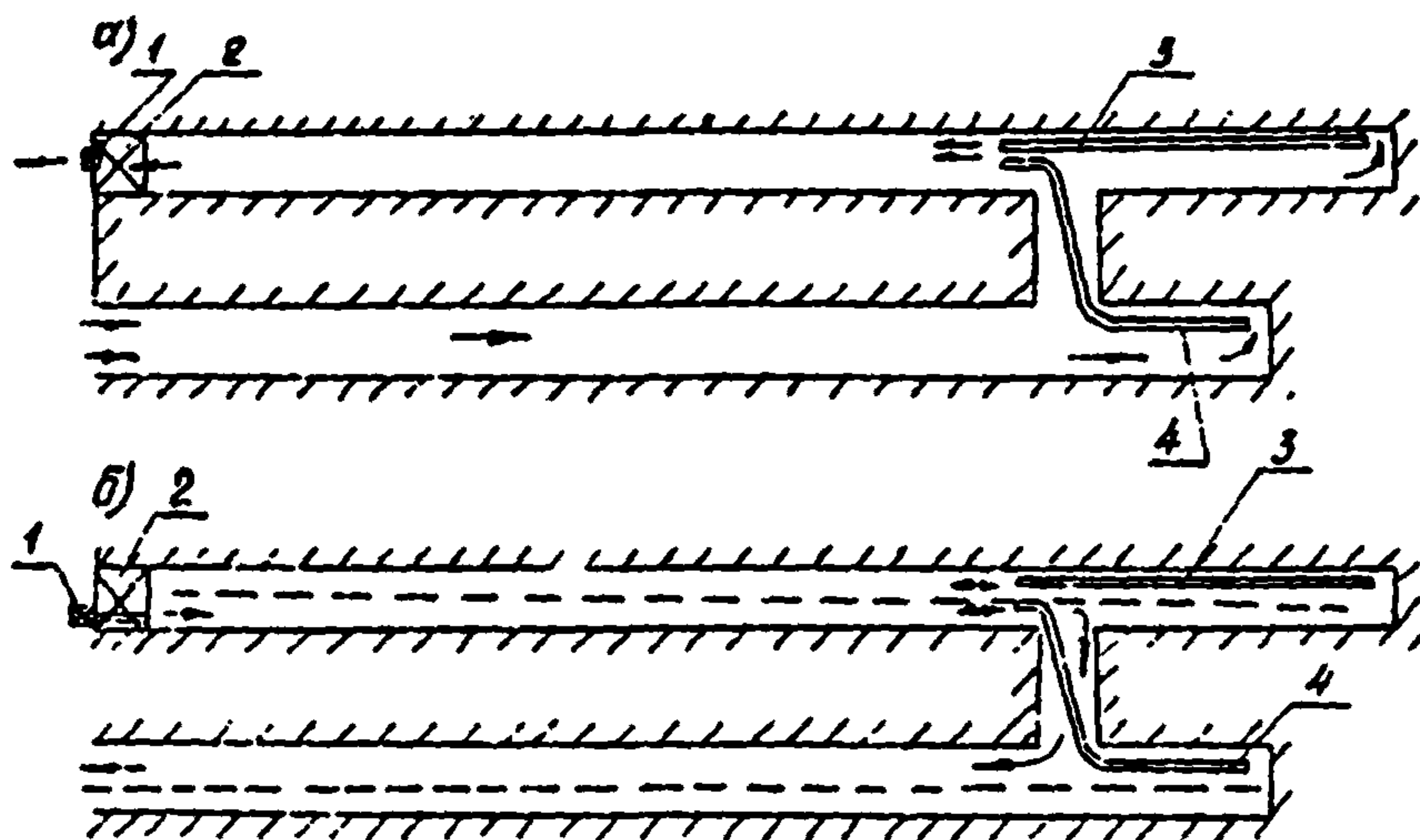


Рис. 7. Комбинированная система вентиляции:
 а — после взрыва в забоях; б — в период возки породы автомашинами; 1 — вентилятор; 2 — шлюз; 3 и 4 — воздуховоды; — — — путь автомашин

1. Режим проветривания одного из забоев после взрыва с отводом отсасываемых газов в одну из выработок (лучше меньшего сечения), из которой на время прохождения газового облака люди переходят в соседнюю выработку; необходимость простоя компенсируется эконормой времени проветривания обоих забоев за счет возможности создания в них более интенсивной вентиляции при тех же или меньших энергетических затратах (аэродинамическое сопротивление выработок значительно меньше, чем воздуховодов); время прохождения газового облака τ_p , с, по выработке длиной $\ell_{\text{вы}}$ и средней по длине площади поперечного сечения $F_{\text{ср}}$ определяется выражением

$$\tau_p = \frac{F_{\text{ср}}(\ell_{\text{вы}} - \delta_p)}{L},$$

где L — расход воздуха, м³/с.

2. Режим проветривания выработок, соединенных последовательно через крайнюю обойку, расход воздуха при этом режиме определяется как для продольной вентиляции условной выработки, имеющей длину, равную сумме длин обеих выработок (включая глухие участки) и обойки между ними (см. пп. 3.7 — 3.10).

3.14. Вентиляция выработки при ведении в ней сварочных работ практически возможна только по обобщенной схеме с ее использованием местных отсосов. Возможны приточные системы: продольные, распределенные или каскадные.

Их производительность следует определять на расчете разбавления выделяющихся вредных веществ.

Если, кроме сварки, других источников загрязнений воздуха нет, то определяющим вредным веществом является взвесь.

Однако в совокупности с другими источниками (бурение, работе двигателей автомашин) определяющим может быть другое вредное вещество.

При определении воздухообмена по сварочным аэрозолям следует учитывать их осаждение на стенках тоннеля; первоначальная концентрация C_0 в зоне сварки изменится и на расстоянии x (считая в сторону движения воздуха) будет

$$C_x = C_0 \left(\frac{1}{1 + \beta x} \right),$$

где β — коэффициент, имеющий значения для выработок с трубчатой обделкой и без обделки $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ и для выработок с гладкой обделкой $0,07 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$.

3.15. Независимо от схемы производства работ и технологий их ведения производительность систем вентиляции должна рассчитываться по наибольшему числу людей n_z , одновременно занятых в обслуживаемых этими системами выработках

$$L_z > \frac{n_z}{10}, \text{ м}^3/\text{с},$$

и по минимально допустимой скорости $u_{\min}$ движения воздуха по длине работки

$$L_{\min} > 0,1 \cdot F_{\text{раб}}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Металлические воздуховоды

4.1. При строительстве тоннелей обычно применяются стальные воздуховоды круглого сечения тех же размеров, что и в рудничной вентиляции (конструктивные показатели даны в приложении 7). Звенья воздуховодов изготавливаются из листового металла в объектных мастерских.

4.2. Соединения звеньев воздуховодов друг с другом рекомендуются двух типов:

фланцевые и бандажные.

4.3. Существует несколько типов фланцевых соединений, но традиционный — с приваренными фланцами и резиновой прокладкой — является самым надежным. Руководство по проектированию и организации проветривания шахт [6] рекомендует применять кольцевые прок-

ленты сечением 15 x 15 мм; однако более доступны прокладки из резиновой полосы, наматываемой в 2-3 слоя и обвязываемой поверху шнуром (рис.8).

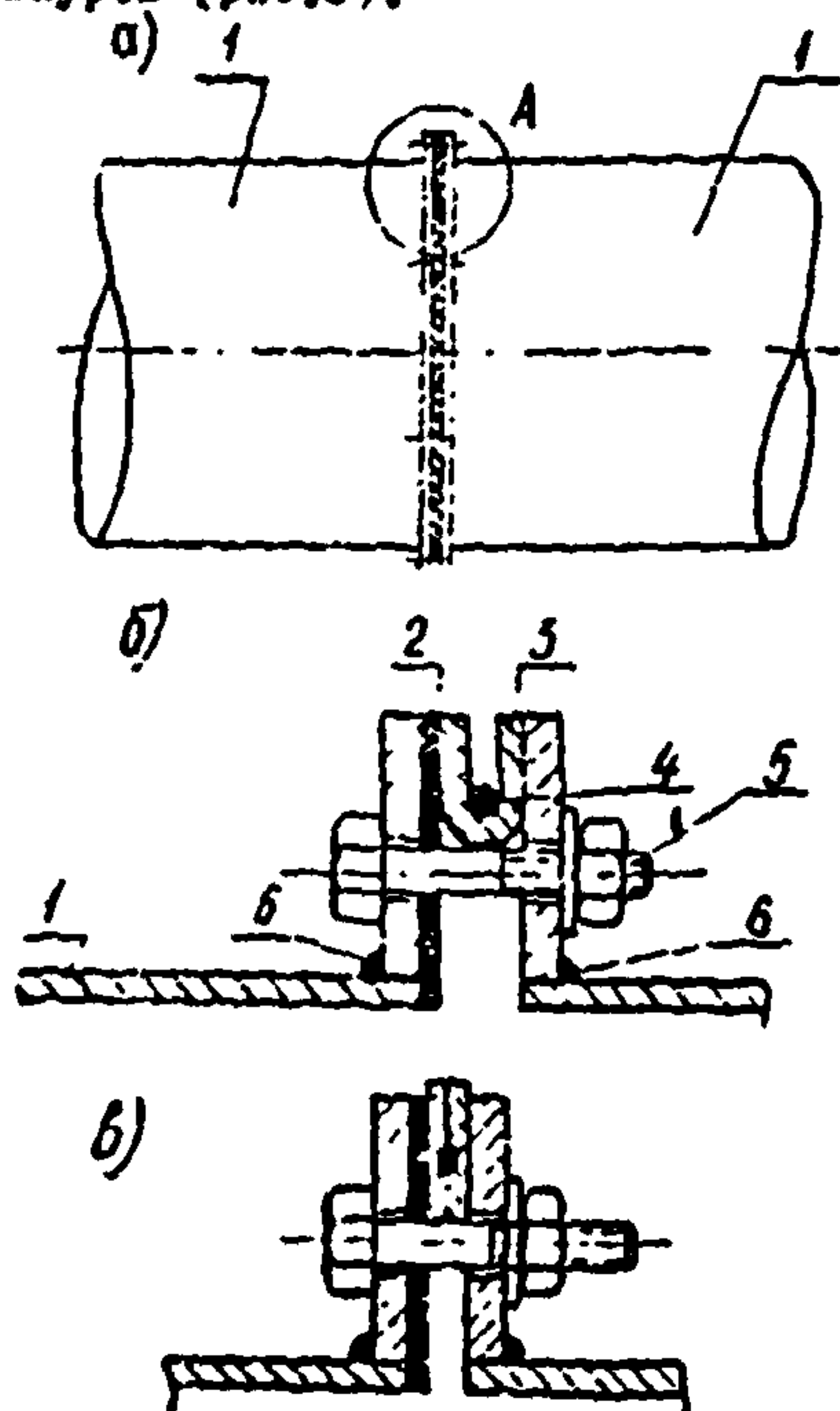


Рис.8. Уплотнение фланцевого соединения резиновой прокладкой:

а - общий вид; б - узел А (сечение) в ослабленном состоянии; б₁ - то же в затянутом; 1 - трубы воздухопровода; 2 - существующая прокладка; 3 - дополнительная прокладка из резиновой полосы; 4 - веревка; 5 - болт; 6 - фланец

Для этой же цели промышленность (завод резино-технических изделий, г.Волжский) выпускает прокладочную ленту из губчатой резины ВВ-307-Х10 марок 6208А (ширина 27 мм) и 6208Б (ширина 17 мм).

Фланцевые соединения с прокладками из неупругих или малоупругих материалов (картон, пенка, войлок) не рекомендуются, так как при температурных деформациях трубопроводов герметичность стыков нарушается.

Проведенные стендовые эксперименты позволяют рекомендовать также в качестве опытных фланцевые соединения с прокладкой герметика (жгут диаметром 30 мм), изготавливаемого на заводах "Стройдеталь" Мосодевлпрома Главмостроя (г.Москва) и Павловском комбинате строительных материалов Мособстройматериалов по ТУ-МТИ-2-РСФСР-12-68 и ГОСТ 5.1011-71.

4.4. Бачковое соединение состоит из липкой поливинилхлоридной ленты МРТУ-6-05-1040-67 и ТУ-21-2946-76, предназначенной для

противокоррозионной защиты магнетральных газопроводов, которой обертываются гладкие концы стыкуемых воздухопроводов и бандаж из листового стали, устанавливаемого на ленту (рис.9). Заводы-изготовители: Тучковский экспериментальный и Вильнюсский завод полимерных изделий.

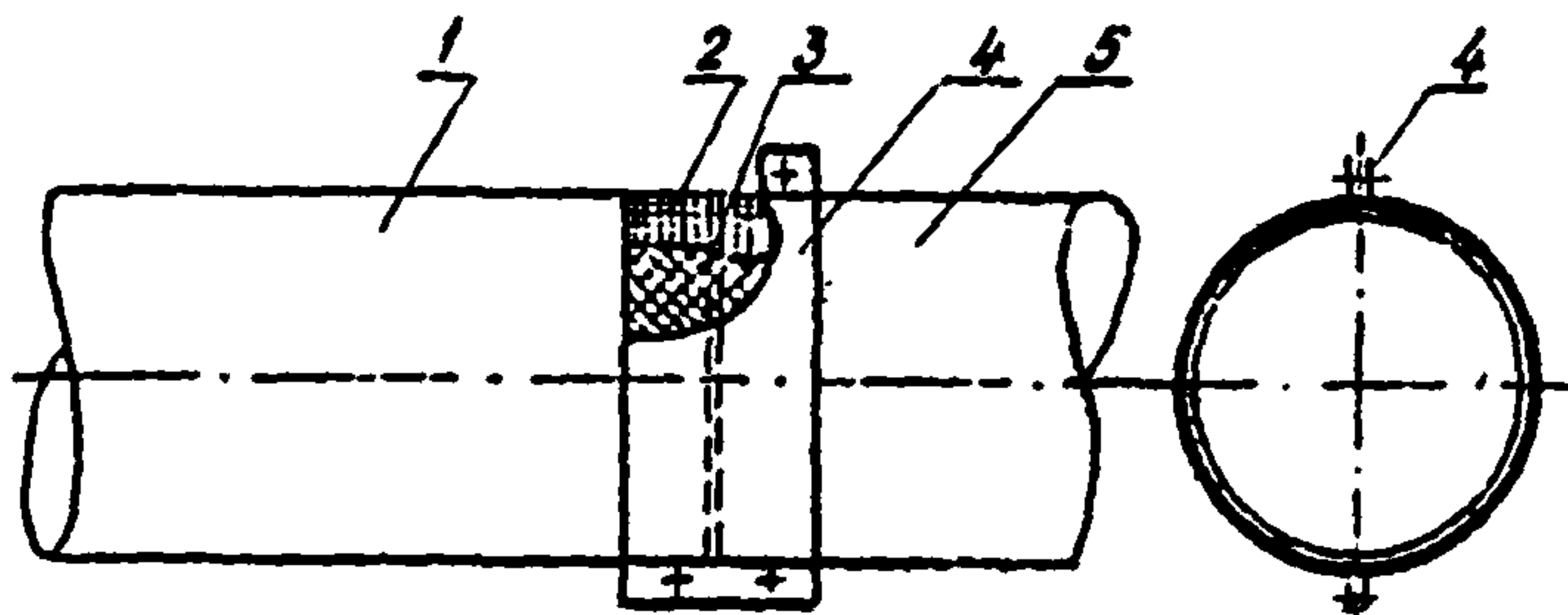


Рис.9. Бандажное соединение воздухопроводов:
1,5 - стыкуемые воздухопроводы; 2 - липкая лента; 3 - тканевая прокладка; 4 - стальной бандаж

Ширина полосы липкой ленты 0,2-0,25 м (ширина ленты в рулонах, выпускаемых промышленностью, составляет 400 и 500 мм).

Такой же ширины ставится бандаж (толщина 1,5-2 мм), состоящий из двух половин или разрезного кольца; по ширине бандаж ставится на менее двух болтов.

В качестве заменителя липкой ленты можно использовать прорезиненную ткань, нанося на нее перед обертыванием грубую мастику бутелрол, разогретую до 50°C (на менее 2 кг мастики на 1 м² ткани). Количество витков, ширина ленты и бандаж остаются теми же, что и для стыка с липкой лентой. Бутелрол изготавливается объединением "Победа" (Ленинград-Колпино) и объединением "Стройпластмассы" (Москва) по ТУ-21-29-45-78.

4.5. Коэффициент воздухопроницаемости указанных стыков, относенный к длине их периметра, приведен в табл.6.

4.6. Для выбора экономически оптимальных диаметров воздухопроводов дан график (приложение 8).

Аэродинамические сопротивления воздухопроводов, утечки воздуха и места установки вентиляторов находятся по номограммам приложения 9

Т а б л и ц а 6

№ п/п	Тип соединения	Коэффициент воздухопроницаемо- сти стыков металлических труб
		$k_0 = \frac{\text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{Па} \cdot \text{м}^2} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{кгс} \cdot \text{м}^2} \right)$
1	Фланцевое с резиновым уплот- нением	0,0003 (0,0010)
2	Фланцевое на герметике	0,0003 (0,0010)
3	Бандажное на липкой ленте	0,00015 (0,0005)
4	Бандажное на ткани, покрытой бутиролом	0,0003 (0,0010)

Тканевые воздуховоды

4.7. Звенья воздуховодов из ткани с различной пропиткой выпускаются отечественной промышленностью в комплекте с "разъемными" звеньями и фасонными частями. Звенья имеют кольца для стягивания.

Номенклатуре и характеристики тканевых воздуховодов даны в приложении 10.

Эти воздуховоды могут использоваться только в качестве напорных, что практически означает необходимость установки вентиляторов в начале участка. Последовательная рассредоточенная установка вентиляторов исключается.

4.8. Аэродинамическое сопротивление тканевых воздуховодов h , Па (кгс/м²), складывается из сопротивления трения h_1 и сумми местных сопротивлений, создаваемых в стыках, h_2 :

$$h = h_1 + h_2; \quad (21)$$

$$h_1 = 10,5 \alpha l \frac{u_s^2}{d^5}; \quad (22)$$

$$h_2 = 0,25 \xi \left(\frac{l}{m} + 1 \right) u_s^2, \quad (23)$$

где α — коэффициент сопротивления, значения которого даны в табл. 7;

l — длина воздуховода, м;

d — диаметр воздуховода, м;

u_s — скорость движения воздуха, м/с;

m — длина одного звена воздуховода, м;

ξ — коэффициент сопротивления оттока (см. табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Степень натяжения воздухо- водв	При значении критерия Рейнольдса					
	10^5	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	10^6
	Величина $\alpha \cdot 10^4, \text{ м}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{Па} (\text{кгс} \cdot \text{с}^2)$					
Хорошая	35(3,60)	29(3,00)	23(2,40)	19(1,90)	16(1,65)	16(1,65)
Средняя	94(9,60)	62(6,30)	41(4,20)	34(3,45)	29(3,00)	28(2,85)
Плохая	400(41,00)	280(29,00)	160(16,50)	110(11,10)	80(8,10)	60(6,30)
Величина $\xi, \text{ м}^2 \cdot \text{Па} / \text{с}^2 (\text{кгс} / \text{с}^2)$						
Независимо от натяже- ния	2,0(0,21)	1,7(0,17)	1,2(0,12)	1,0(0,10)	0,8(0,08)	0,8(0,08)

4.9. Необходимо иметь в виду, что для подбора вентиляторов, работающих на тканевый воздуховод, их напор должен браться больше аэродинамического сопротивления воздуховода на величину давления Δh , требующегося для натяжения ткани. Это давление должно создаваться путем установки соответствующей диафрагмы или наконечника на выходе.

Выработки

4.10. При организации сквозного проветривания выработки играют роль воздуховодов и, являясь элементами воздушных троктов, подлежат учету при аэродинамическом расчете систем.

Недо отметить, что аэродинамическое сопротивление воздуховодов настолько велико по сравнению с сопротивлением выработок, что при последовательном их расположении, последнее может не приниматься во внимание.

Подсчет сопротивлений выработок может оказаться необходимым для распределения воздуха при их параллельном соединении.

4.11. Сопротивление выработок, характерных для тоннелестроения сечений, подсчитывается по формуле

$$h = \Sigma(h_f + h_z).$$

где h_f — сопротивление трения, $\text{Па} (\text{кгс} / \text{м}^2)$, по длине выработок;

$$h_f = \alpha_f \frac{\rho l_m}{F_{\text{ср}}} u_m^2; \quad (24)$$

h_z — местное сопротивление, $\text{Па} (\text{кгс} / \text{м}^2)$, $h_z = \xi \frac{u_m^2 \rho}{2}$;

α_f — коэффициент сопротивления выработки; для выработок без креплений или с трубчатой обделкой

$$\alpha_f = 150 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} \left(15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} \right); \text{ для выработок с гладкой бетон-}$$

$$\text{ной обделкой } \alpha_s = 100 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} \left(10 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} \right);$$

ζ – коэффициент местного сопротивления, в области тоннелестроения местные сопротивления выработок имеют гораздо большее значение, чем сопротивление трения; рекомендуемые величины ζ даны в приложении II;

D – периметр выработки, м;

ℓ_m – длина участка, м;

u_m – скорость воздуха на данном участке выработки, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³ ($\frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$).

4.12. Движение воздуха по параллельным выработкам существенно зависит от величины его перетекания через заглубленные сбойки, тем более, что на практике плотность заглушек весьма относительная.

Учитывая, что сбойки фактически используются как для складирования, так и для прохода и, соответственно, ставятся перегородки или двери самой случайной конструкции, чем нарушается предусмотренное распределение воздуха, рекомендуется в проектах давать совершенно определенные конструкции этих устройств, воздухопроницаемость которых надо вводить в расчет вентиляции; на производстве же необходимо следить за выполнением и эксплуатацией перегородок, дверей и шлюзов в соответствии с проектными решениями.

4.13. Расчет величины утечек через глухую перемычку L_{um} , м³/с, можно делать по формуле

$$L_{um} = K_{up} P_{up} \sqrt{\frac{h_{st}}{\delta}}, \quad (25)$$

где K_{up} – коэффициент воздухопроницаемости перемычки,

$\frac{\text{м}^{5/2}}{\text{с} \cdot \text{Па}^{1/2}} \left(\frac{\text{м}^{7/2}}{\text{с} \cdot \text{кгс}^{1/2}} \right)$, приведен в табл. 8;

P_{up} – периметр примыкания перемычки к стенкам обойки, м;

h_{st} – статистический напор, Па (кгс/м²);

δ – толщина стенки, м.

Т а б л и ц а 8

№ п/п	Типы перемычек	Коэффициенты воздухопроницаемости $\kappa_{\text{ут}} \cdot 10^5$ глухой перемычки	
		Негравитационные породы	Гравитационные породы
1	Шлако- и бутобетонные	280(90)	510(165)
2	Каменные	500(160)	870(280)
3	Блакблочные	370(120)	680(215)
4	Чурковые	810(260)	1340(430)
5	Насыпные	870(280)	1440(460)
6	Дощатые	1110(360)	1960(630)

4.14. Утечки воздуха через двери $L_{\text{д}}$, м³/с, можно подсчитать по формуле

$$L_{\text{д}} = 0,006 \varphi F_{\text{д}} \sqrt{h_{\text{ст}}} (L_{\text{д}} - 0,02 \varphi F_{\text{д}} \sqrt{h_{\text{ст}}}). \quad (26)$$

где $\varphi = 1$ - для одной двери; $\varphi = 0,76$ - для двух и
 $\varphi = 0,66$ - для трех дверей;
 $F_{\text{д}}$ - площадь двери, м².

4.15. Сопоставление трех видов воздушных каналов позволяет дать следующие рекомендации:

при наличии технологических возможностей, безусловно, целесообразно использование тоннельных выработок в качестве воздуховодов;

металлические воздуховоды являются самыми дорогими; их применение надо планировать в магистральных большой длины (свыше 1 км), при последовательной установке вентиляторов (когда в воздуховодах создаются участки разрежения) и при необходимости реверсирования системы;

из двух видов рекомендуемых соединений металлических воздуховодов предпочтительнее бандажное как менее трудоемкое и легче ремонтируемое при расстройстве во время эксплуатации; однако при наличии труб с помятыми концами (что можно предположить для повторного применения на другом объекте с перевозкой) бандажное соединение описанного типа не пригодно и необходимо переходить на фланцы;

тканевые воздуховоды непригодны для систем с изменением направления движения воздуха, хотя при невысокой их стоимости можно идти на дублирование магистралей для работы на разных режимах.

4.16. Плотности воздуховодов должно придаваться большое значение, так как утечки воздуха (или подсос) не только приводят к

нарушению санитарно-гигиенических режимов в выработках и не только означают бесполезную трату электроэнергии, но и могут привести к отказу системы при аварийной ситуации.

Исходя из этого, предлагается ввести текущий контроль за состоянием вентиляционных систем, для чего:

предусматривать в проектах воздухопроводных магистралей установку через каждые 100-150 м штуцеров для подсоединений резиновых трубок с простейшими стеклянными U-образными манометрами, заполняемыми водой;

дать в проектах расчетные величины давлений по точкам размещения штуцеров на соответствующие этапы проходки;

производителю работ обеспечивать постоянное заполнение водой манометров и периодически проверять соответствие фактической депрессии с проектной, а в случае больших расхождений — устранить причину; дополнительные затраты ничтожны, экономия же может быть достигнута в десятках тысяч рублей, не говоря об остальных аспектах вопроса.

4.17. Как правило, соединения воздухопроводов в процессе эксплуатации теряют свою герметичность и требуют ее восстановления (приложение 12).

Вентиляторы

4.18. Характеристики основных типов вентиляторов, применяемых обычно в тоннелестроении, приведены в приложении 13.

Вентиляторы общего назначения, как правило, не используются при строительстве тоннелей, хотя во многих случаях они более подходящи, нежели шахтные машины. Например, можно рекомендовать в качестве вентилятора-побудителя при проветривании глухих забоев использовать вентиляторы МЦ вместо обычно применяемых "Проходки" или СВМ. Вентилятор МЦ весит в 3 раза меньше, чем на один номер меньше СВМ и в 5 раз меньше, чем "Проходка", что существенно для удобства передвижения; установочная мощность вентилятора МЦ-6 составляет всего 0,8 кВт, тогда как у "Проходки 5" она равна 9,5, а у СВМ-5 — 6,5 кВт. То же можно сказать и о применении вентиляторов общего назначения для рециркуляционных систем привальной зоны и для струйной вентиляции (см. пп. 3.4, 4.24).

Препятствием для использования вентиляторов общего назначения в тоннелестроении может служить наличие в выработках взрывоопасных газов, когда допускаются вентиляторы только во взрывобезопасном исполнении.

4.19. При подборе вентиляторов следует учитывать, что по мере удлинения выработок удлинняются и воздушные тракты, в результате чего их сопротивление растет, растет и требуемая производительность вентиляции (увеличиваются утечки, возрастают выделения вредных веществ). Производительность же вентиляторов в соответствии с их характеристиками падает. Это противоречие обычно разрешается тем, что воздухопроводы и вентиляторы подбирают не максимальной нагрузке, вследствие чего большую часть времени вентиляторы работают с низким КПД, выходящим за пределы нормативного установленного для промышленности ($\eta_{min} = 0,5$).

Прибегают также к установке дополнительных вентиляторов по мере удлинения выработок и воздухопроводов. Имеются решения с использованием вентиляторов с переменным числом оборотов или поворачиваемыми лопатками. Как правило, такие вентиляторы представляют собой машины большой мощности, установки которых возможно вне тоннеля (у портала или у шахты). Это обуславливает значительную депрессию в воздухопроводах с соответствующими повышенными утечками или подсосом воздуха, но в итоге затраты электроэнергии снижаются.

4.20. Учитывая сказанное, можно отметить следующее:

а) с точки зрения эффективного использования вентиляторов (так же как и по другим показателям) целесообразно применять схему сквозного проветривания, при которой сопротивление воздушных трактов практически не меняется;

б) при необходимости устройства магистральных воздухопроводов, последовательно наращиваемых по мере углубления выработки при мало зависящей от ее длины интенсивности выделения вредных веществ, целесообразно использовать принцип последовательной рассредоточенной установки вентиляторов по длине воздухопроводов; методика определения мест установки вентиляторов дана в приложении 9;

в) в случае, когда количество вредных веществ существенно увеличивается с длиной выработки (например, при автомобильной возке), более рациональна установка группы вентиляторов у портала (или одного вентилятора с регулируемой производительностью); повышенные утечки до некоторого предела являются даже полезными, так как дополняют распределенную раздачу воздуха.

4.21. Для проветривания забоев после взрывов при невозможности размещения воздухопроводов в пролетах буровой рамы можно в качестве

в вентиляторов-побудителей использовать пневмовентиляторы или эжекторы, работающие на сжатом воздухе или воде (рис. 10). Характеристики пневмовентиляторов приведены в приложении 13.

Системы побуждения движения воздуха при сквозном проветривании

4.22. Самой простой, экономичной и надежной системой создания сквозного проветривания двух выработок через соединяющую их обойку является установка одного или группы вентиляторов в перемычке, находящейся в каком-либо месте воздушного тракта.

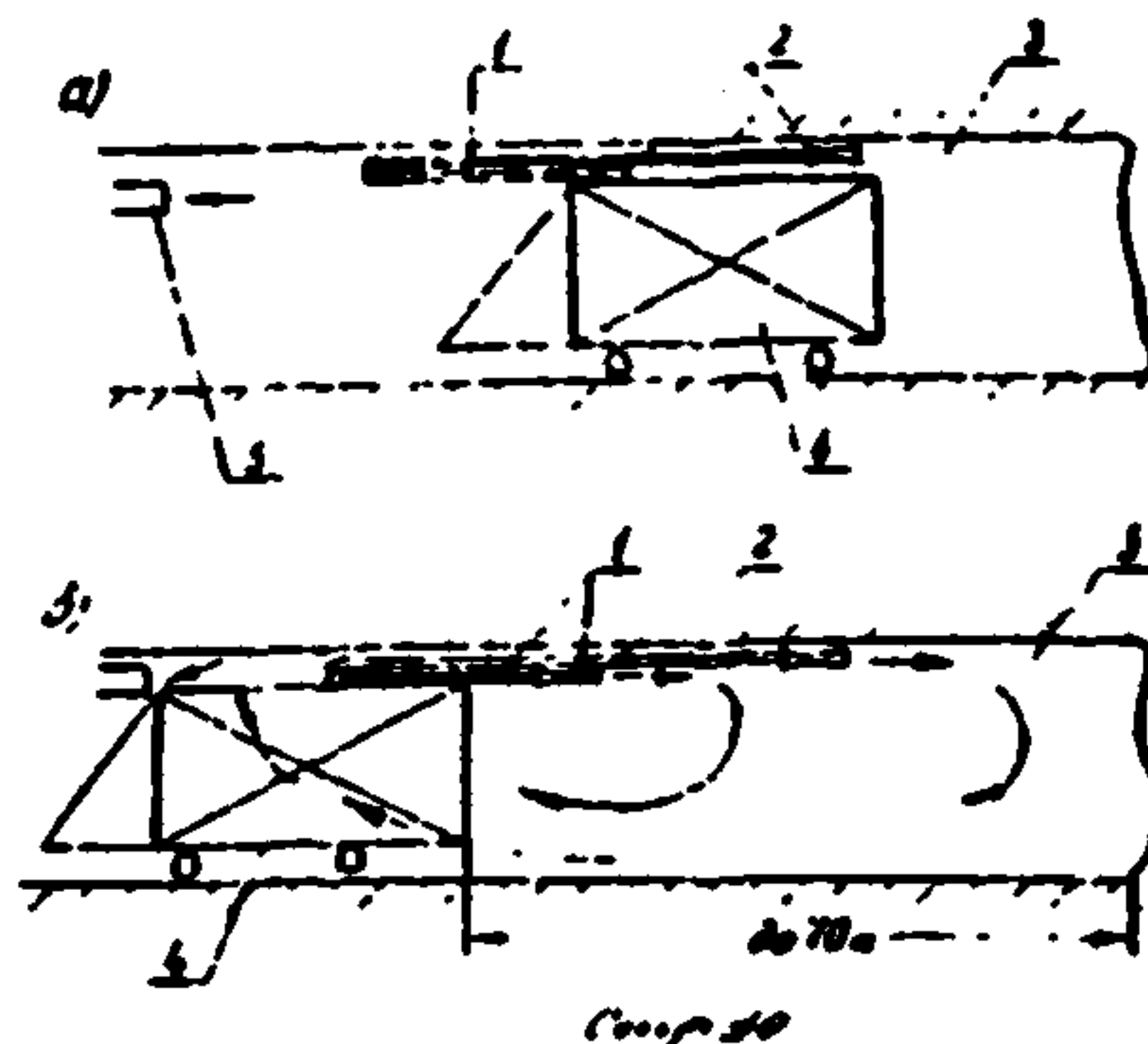


Рис. 10. Проветривание забоя с помощью эжекторов:
а - буровая рама у забоя; б - буровая рама отведенная от забоя, идет проветривание; 1 - линия сжатого воздуха; 2 - эжекторы; 3 - забой;
4 - буровая рама; 5 - всасывающий воздуховод

Практически возможны три варианта размещения этого узла, перемычки и вентиляторов (рис. 11):

- а) перемычка находится у портала одной из выработок, воздух нагнетается вентиляторами в эту выработку;
- б) перемычка находится у портала одной из выработок, воздух отсасывается из этой выработки;
- в) перемычка находится в обойке.

Наиболее целесообразным (с точки зрения вентиляционного эффекта) является вариант "б", так как при нем удаляемый из выработки загрязненный воздух может быть отведен от припортальной площадки, что исключит опасность его попадания в тоннель.

При варианте "а" воздух для притока может забираться вне зоны выброса из второй выработки, но сама припортовая площадка, где обычно находятся люди, окажется в этой зоне.

Вариант "в" не исключает загрязнения выбросами припортовой площадки и приточного воздуха; кроме того, он требует переноса вентиляторов из одной сбойки в другую по мере проходки выработок.

Окончательный выбор места установки перемычки и вентиляторов, а также типа перемычки (глухая, со шлюзом, с воздушной завесой) должен определяться в результате учета частоты и характера вентиляции через это место, необходимости подогрева воздуха и т.п.

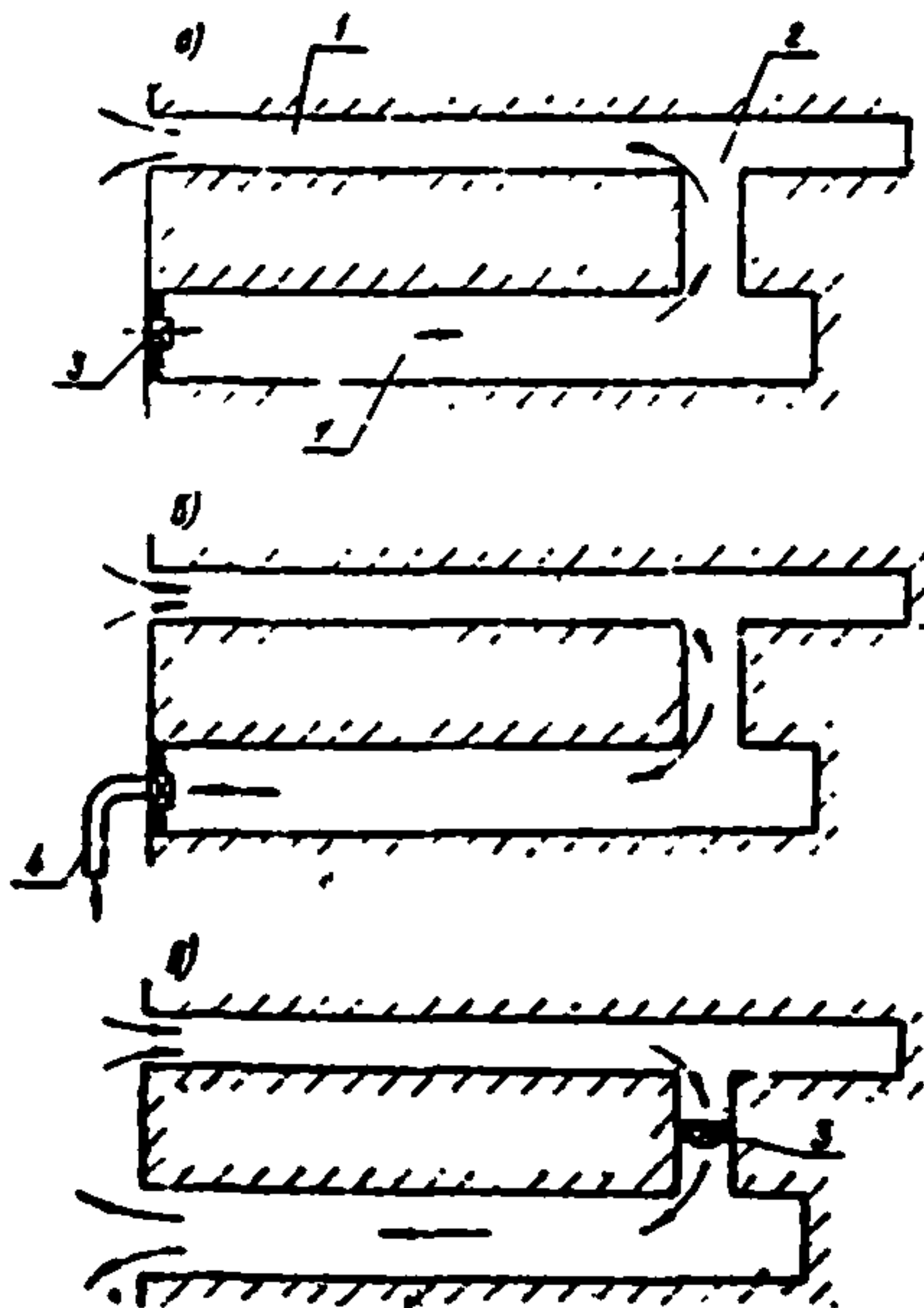


Рис. II. Схемы сквозной вентиляции, варианты а, б, в, установки вентиляторов:
1 - выработка; 2 - сбойки; 3 - вентиляторы;
4 - отводящий воздуховод; —> - движение воздуха

Способ установки вентиляторов в перемычке позволяет легко регулировать расход воздуха путем включения нужного количества вентиляторов. С этой точки зрения для выработок с меняющимся режимом выделения вредных веществ желательна установка большого числа мелких вентиляторов.

Учитывая возможность использования вентиляторов общего назначения и их высокую стоимость, реверсирование системы можно предусмотреть путем включения дублирующих вентиляторов, установленных в той же перемычке, но в обратном направлении (для такого решения, конечно, нужна определенная площадь глухой части перемычки).

4.23. Портальная установка типа Саккардо вполне может обеспечить требуемый расход воздуха в выработках, однако для нее требуется значительно большая мощность вентилятора (существенные потери напора имеются в кольцевом воздухораспределителе). Зато такая система совершенно не стесняет процессы транспортировки и перемещения людей по выработке.

Расчет систем Саккардо для постоянной вентиляции тоннелей имеется в [8] .

4.24. Системы струйной вентиляции, получившие за последние годы большое распространение для проветривания автодорожных тоннелей, пока не апробированы в достаточной мере при строительстве тоннелей, но о возможности их применения в этой области говорилось неоднократно.

Суть струйной вентиляции заключается в том, что по длине тоннеля (обычно под его сводом) через определенные промежутки устанавливаются осевыми или с короткими патрубками вентиляторы или группы вентиляторов, дутье которых направлено в одну сторону.

Струи вентиляторов подсаивают окружающий воздух и создают общее его движение по тоннелю. Коэффициент полезного действия таких систем не превышает 0,09, но иногда это не является существенным.

Достоинства системы в простоте ее устройства и эксплуатации.

Учитывая малую изученность вопросов применения струйной вентиляции для проветривания выработок, она рекомендуется в качестве экспериментальной.

Теплозащита припортовых участков

4.25. При строительстве тоннелей в зимнее время их припортовая зона наиболее подвержена охлаждению наружным воздухом.

Для условий строительства тоннелей в районах с суровым климатом, в том числе и на БАМе, это зона может достигать 400 м ширины.

Поэтому порталные проемы рекомендуется оборудовать воротами с постоянно действующими боковыми воздушными завесами. Создание портала, кроме части, эскиз портала, следует наглухо заделывать.

4.26. Эффективная работа воздушных завес при любой системе вентиляции может быть обеспечена лишь при организованных притоке и вытяжке.

В случае приточной вентиляции удаление воздуха из дворовой должно осуществляться при помощи вентилятора через короткий воздуховод с устройством снаружи тепловой шахты (рис. 12, в). В случае вытяжной вентиляции (постоянной или при реверсировании) приточный воздух в количестве, необходимом для компенсации вытяжки, также должен подаваться через короткий воздуховод с помощью вентилятора. Выпуск воздуха в дворовую осуществляется у ворот портала (рис. 12, в, б).

4.27. При организованных притоке и вытяжке (в том числе и указанным в п. 4.26 способе) движение воздуха в плоскости ворот будет происходить под действием гравитационного напора. Количество воздуха, прорывающегося через портал, оборудованный распашными воротами, $L_{вр}$, м³/с, определяется по формуле

$$L_{вр} = \frac{0,88}{\rho_n} \sqrt{H^3 (\rho_n - \rho_i)} \quad (27)$$

без ворот

$$L'_{вр} = \frac{0,98}{\rho_n} \sqrt{H^3 (\rho_n - \rho_i)} \quad (28)$$

где B — ширина проема, м;

H — высота проема, м;

ρ_n и ρ_i — плотности наружного и внутреннего воздуха, кг/м³.

4.28. Воздух для завесы следует забирать снаружи. Температура смеси наружного воздуха и выходящего из щелей завесы должна быть не ниже +2°C. Направление движения воздуха, подаваемого через щели завесы, следует предусматривать против движения воздуха в плоскости ворот под действием гравитационного напора, т.е. в верхней части — в сторону тоннеля, в нижней — наружу (рис. 13). При постоянной приточной вентиляции выпуск воздуха завесами может осуществляться только в нижней трети ворот.

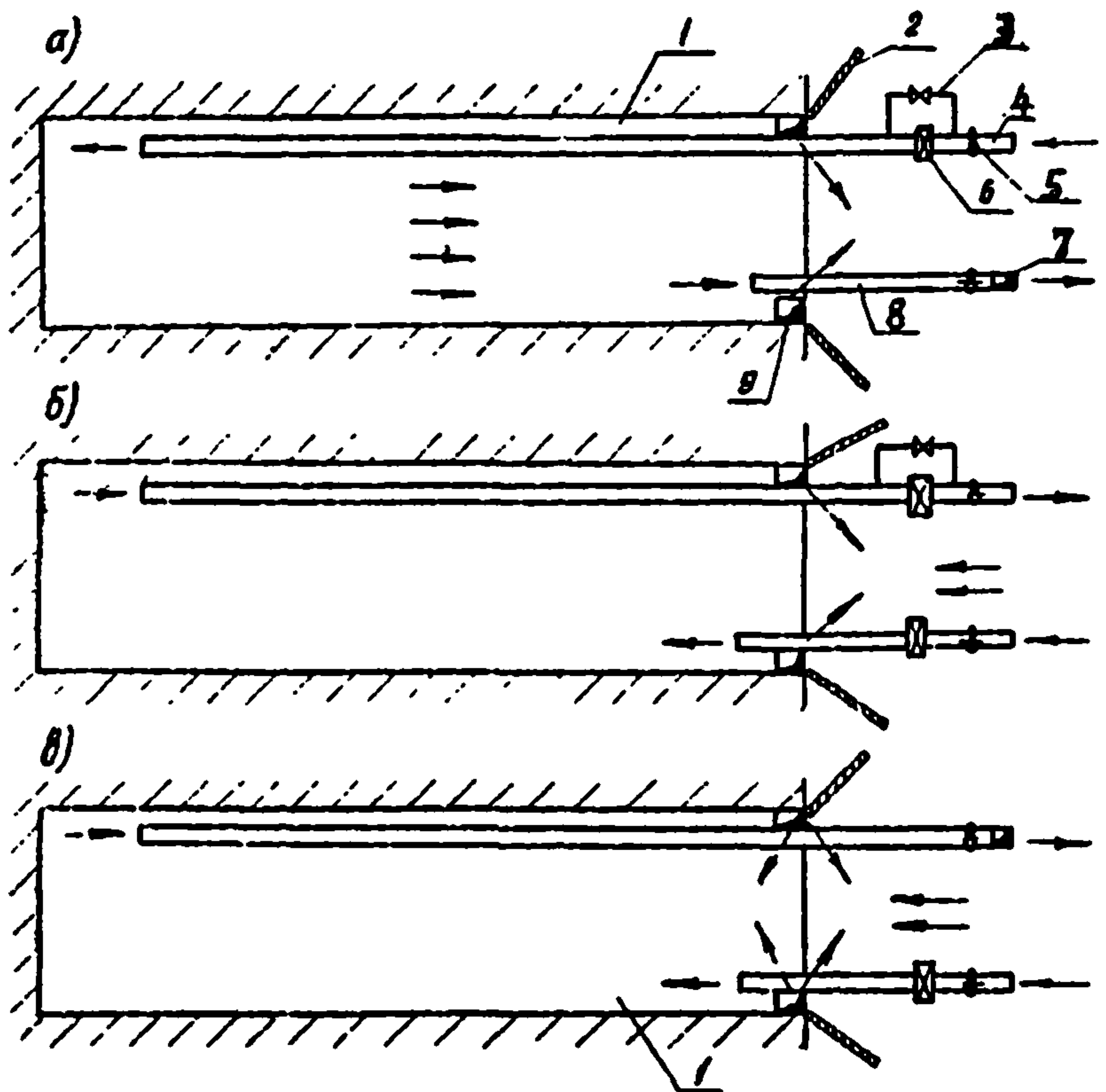


Рис. 12. Системы вентиляции и защиты припортеальной зоны выработки:
а - приточная вентиляция; б - реверсирование после взрыва; в - постоянная вытяжная вентиляция; — — — направление движения воздуха; 1 - выработка; 2 - отворки ворот; 3 - обводной воздуховод; 4 - вентиляционный воздуховод; 5 - вентилятор; 6 - калорифер; 7 - утепленная шахта; 8 - короткий воздуховод для компенсации притока или вытяжки; 9 - стояк воздушной завесы

4.29. Для обеспечения в любом месте выработки температуры не ниже $t_{\text{н}}$ (приложение 3) вентиляционный воздух, подаваемый в выработку в зимнее время, должен подогреваться.

Мощность калориферных установок определяется по формуле

$$Q_k = 0,35 l_{\text{вент}} (t_{\text{вент}} - t_{\text{н}}), \text{Вт} \quad (29)$$

$$(Q_k = 0,35 l_{\text{вент}} (t_{\text{вент}} - t_{\text{н}}), \text{ккал/ч}).$$

где $L_{\text{вв}}$ - объем вентиляционного воздуха, подаваемого в выработку, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $t_{\text{кал}}$ - температура, до которой воздух должен нагреваться в калориферах, $^{\circ}\text{C}$;
 t_n - температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки, т.е. температура для расчета отопления, $^{\circ}\text{C}$.

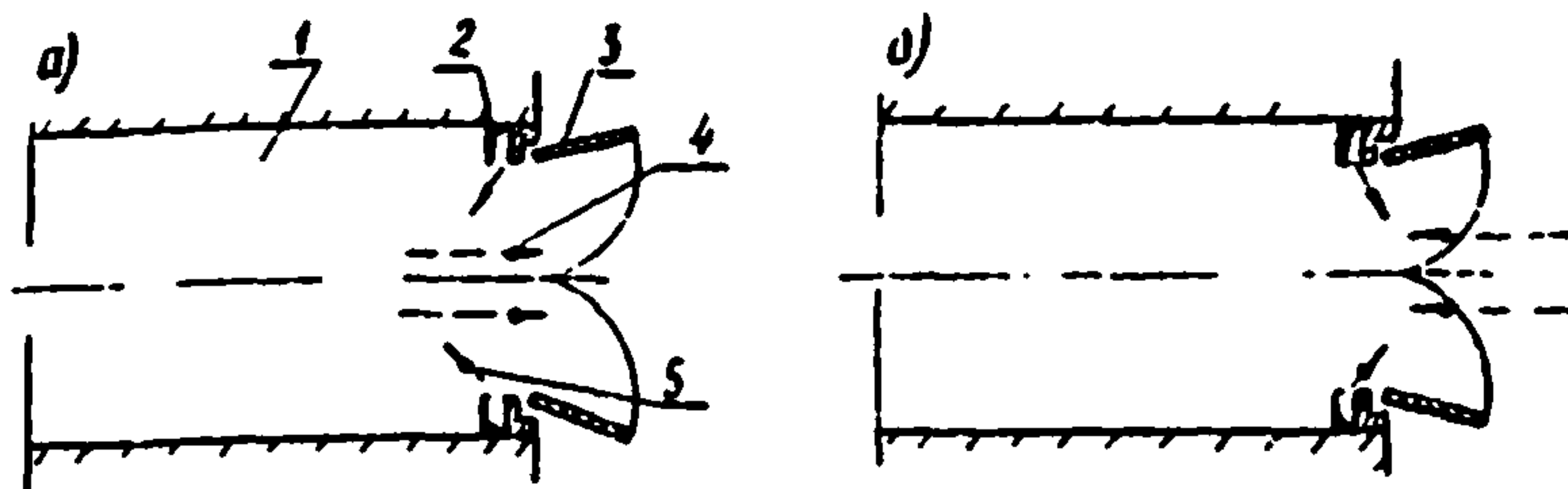


рис. 13. Направление выпуска воздуха из столбов завесы:
а - в верхней части ворот; б - в нижней части ворот;
1 - выработка; 2 - стойки завесы; 3 - ворота; 4 - направление движения воздуха в проеме; 5 - то же, из стоек завесы

Если первоначальная температура породы, окружающая выработку, больше температуры выработки, то температур нагрева принимается равной

Если первоначальная температура породы t_n на всем протяжении выработки или на отдельных участках менее t_n , то $t_{\text{кал}}$ принимается:

а) при вытяжной и оквальной вентиляции $t_{\text{кал}} = +25^{\circ}\text{C}$;

б) при приточной вентиляции

$$t_{\text{кал}} = t_n + \frac{M(e^n + 1)}{e^n + 1 + 2M} (t_n - t_n), ^{\circ}\text{C}, \quad (30)$$

где $N = 8,5 L_{\text{вв}} \frac{H}{L_{\text{вв}}}$
Вдоль $L_{\text{вв}}$ - длина участка, на котором $t_n < t_n$, м;
 P - периметр воздуховода, м.

$$M = 3,34 L_{\text{вв}} \frac{K_c P_{\text{вв}}}{L} \quad (M = 2,88 L_{\text{вв}} \frac{K_c H_{\text{вв}}}{L}).$$

где $P_{\text{вв}}$ - периметр выработки, м;
 K_c - средний по длине выработки коэффициент теплообмена между воздухом и породой для трасс портных тоннелей, находящихся в стадии проходки,
 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ($\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$)

$$K_c = 1,3 \frac{\lambda_n \left(1 + 0,27 \sqrt{\frac{a_n \tau_p}{R_{\text{вв}}^2}} \right)}{0,88 \sqrt{a_n \tau_p} + \frac{\lambda_n}{\alpha_n}}. \quad (31)$$

где λ_n — коэффициент теплопроводности породы, Вт/м²·°С)
(ккал/м²·ч·°С);
 a_n — коэффициент температуропроводности породы, м²/ч;
 R_n — эквивалентный радиус выработки $R_n = \frac{2r_{\text{вир}}}{\rho_{\text{вир}}}$, м;
 τ_n — время, прошедшее от начала проходки участка с $t_n < t_1$
до расчетного момента, ч;
 α_n — коэффициент теплосбора между воздухом и стенками
выработки, Вт/м²·°С (ккал/м²·ч·°С); для выработок
в период существования в зимнее время
 $\alpha_n = 4,5 \frac{L^{0,8} \rho_{\text{вир}}^{0,2}}{r_{\text{вир}}} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С} \quad (\alpha_n = 3,9 \frac{L^{0,8} \rho_{\text{вир}}^{0,2}}{r_{\text{вир}}} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}).$

При определении мощности калориферов следует учитывать тепло-
отделения электродвигателей осевых вентиляторов, установленных в
приточных воздуховодах.

Изотодика определения мощности калориферных установок действ-
ствительна для выработок с любым уклоном и для вертикальных стволов.

Пример расчета мощности калориферных установок при $t_n < t_1$
для приточной вентиляции дан в приложении 14.

4.30. Установки для нагрева вентиляционного воздуха рекоменду-
ется располагать снаружи у портала в утепленных камерах.

Вентиляционные установки должны проектироваться с учетом мер
по предотвращению обмерзания оборудования. Для этого рекоменду-
ется:

а) устраивать обводной воздуховод в пределах приточного узла
для рециркуляции нагретого воздуха в количестве, которое должно
обеспечивать нагрев наружного воздуха, поступающего в калорифер,
до температуры не ниже -30°С.

Итоговая производительность приточного центра с обводным ка-
налом будет меньше производительности вентилятора на количество
воздуха, проходящего по каналу;

б) теплоноситель подключать так, чтобы сначала он проходил
те секция калориферов, которые являются первыми по ходу воздуха;

в) при выборе теплоносителя предпочтение следует отдавать
нагретой воде;

г) устраивать автоматические системы, запирающие утепленный
клапан воздухозаборного канала приточного центра при понижении
температуры теплоносителя ниже опасного значения.

Устройства для борьбы с запыленностью воздуха

4.31. Все способы борьбы с пылью могут быть подразделены на четыре вида:

- а) локализация очагов пылеобразования и зон повышенной запыленности воздуха;
- б) вентиляция, работающая "на разбавление" концентраций пыли;
- в) средства пылеосаждения;
- г) средства пылеулавливания.

4.32. Локализация очагов пылеобразования в условиях промышленности обычно решается устройством укрытия, чего в большинстве случаев нельзя сделать при открытости горных тоннелей из-за частых перемещений источников пыли на значительные расстояния (например, режущих органов проходческих комбайнов, ковшей экскаваторов и т.п.) или ограниченности пространства (например, пересыпки у транспортеров).

Гораздо большее применение находят способы локализации мест повышенной запыленности, осуществляемой путем создания движения воздуха в направлении от рабочих мест посредством отсоса. Такой принцип действия вентиляции запыленной зоны у лба забоя при работе комбайна.

Установлено, что основным фактором для такой локализации является скорость движения воздуха, которая должна быть не менее 0,3 и не более 0,6 м/с. При меньшей скорости пыль распространяется навстречу движению воздуха, при большой — взмучивается из отложений, вследствие чего увеличивается концентрация пыли.

Метод вентиляции, основанный не на разведении вредных веществ, а на их локализации и удалении от рабочих мест, называется некоторыми авторами "динамическим".

4.33. Для некоторых процессов, зоны запыленности не могут быть локализованы (например, сварочные работы в тоннеле, транспортировка породы, цемента и т.п.).

В этом случае приходится идти на применение вентиляции, работающей "на разбавление" пыли до допустимой концентрации.

Вдоль рекомендуется иметь в виду необходимость наложения концентраций при последовательном по потоку воздуха разведения источников пыли с учетом возможной разницы значений ее ПДК.

Так, при выделении пыли в количестве G_1 (например, в забое), имеющей ПДК₁ в воздух, поступающий затем к месту сварки (интенсив-

ность выделения взрозола G_2 при ЦДК₂), расчетное значение предельно допустимой концентрации будет равно

$$ПДК = \frac{C_{ПДК} + G_2 ПДК}{G_1 + G_2}, \quad (32)$$

а требуемый расход воздуха определяется по формуле

$$L = \frac{G_1 + G_2}{ПДК \cdot C_{\phi} \frac{ПДК}{ПДК}}, \quad (33)$$

где C_{ϕ} — фоновая концентрация пыли, предельно допустимая концентрации которой ЦДК_φ.

Нодо отметить, что для этого способа, так же как и для предыдущего, существует верхняя граница скорости движения воздуха (6 м/с), выше которой вентиляции по пыли становится неэффективной и надо прибегать к другим способам борьбы с запыленностью воздуха.

4.54. Самым распространенным способом гашения пыли является ее увлажнение. При этом может применяться увлажнение до выделения пыли в воздух и увлажнение пыли, находящейся в воздухе, для ее оседания.

Данные об эффекте гашения пыли, образующейся при бурении, с промывки водой приведены в приложении 15. Эффект увеличивается еще в 1,5–2 раза при промывке водой с добавками в нее смачивателя, простейшим из которых является поваренная соль.

Практически мокрое бурение при достаточном расходе воды обеспечивает отсутствие превышения предельно допустимой концентрации пыли в воздухе призабойной зоны.

Расход промывочной воды для ручных перфораторов должен быть не менее 3 л/мин, для колонковых и телескопических 5 л/мин и для бурильных установок 12 л/мин. Не меньшую роль играет смачивание при взрывании зарядов.

Гидрозабойка обычно делается на расчете закладки в шпур пакетов с водой в количестве, равном массе ВВ.

В горно-добывающей промышленности широко применяется орошение габрильного облака, образующегося при взрыве.

Эффективность орошения забоя чрезвычайно велика (не только по гашению пыли, но и по поглощению газов водой), одного оптимального количества фороунок приходится находить опытным путем на объекте [9,10].

Чрезвычайное значение для эффекта имеет степень дробления воды в фороунках. Важно, чтобы образовывался туман с крупностью капель 10–15 мкм, что достигается в пневмофорсунках при давлении воды в подводных трубах не менее 0,4 и воздуха 0,6 МПа (6 атм).

4.35. Внешняя гидрозабойка позволяет снизить запыленность призабойной зоны после взрыва от 4 до 12 раз, что сопоставимо с уровнем пневмофорсунок. По [10] для внешней гидрозабойки на расстоянии около 10 м от забоя подвешиваются на высоте 1,8 м полиэтиленовые мешки, содержащие 15-25 л воды. В каждый мешок закладываются (или привязываются снаружи) обычные патроны-осевники или специальные патроны ВОСТИБИ, которые взрываются на 25 м раньше, чем заряды в шпурах.

4.36. В выработках с автомобильной возкой (когда пылью газ происходит повышенное пылевыделение из перевозимой породы), в периоды ведения сварочных работ по длине тоннеля и при других процессах, связанных с выделением пыли и газов, на протяжении выработки рекомендуется через каждые 300-400 м устанавливать пневмоводяные завесы, состоящие из 4-5 форсунок для периодического включения на время наибольшей интенсивности выделения вредных веществ.

Одна такая завеса по данным [7] снижает запыленность воздушного потока в 1,5-2 раза.

4.37. В некоторых случаях не удается использовать локализирующую вентиляцию и гидрообеспыливание и приходится прибегать к местной очистке воздуха пропуском его через пылеуловители. Особенностью таковых для условий подземных работ является ограниченность габаритов.

Как правило, пылеуловители не очищают воздух от пыли до допустимых по санитарным нормам концентраций, поэтому дополнительно надо организовать вентиляцию, работающую "на разбавление" вредных веществ.

4.38. Наибольший эффект оздоровления воздушной среды получается от применения комбинированных систем, включающих вентиляцию и гидрообеспыливание.

В приложении 16 дан пример такой комбинированной системы для борьбы с пылью при работе проходческих комбайнов.

Борьба с пылью при бурении в мерзлых породах имеет некоторые особенности, связанные с ограничениями применения воды.

Соответствующие рекомендации даны в приложении 17.

5. ВЫБОР СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

5.1. При выборе схемы вентиляции тоннельных выработок учитываются графики производства работ, способы ведения последних, а

торже природно-климатические факторы, влияющие на тепловой режим сооружения в процессе его строительства.

5.2. Основными критериями выбора схем проветривания выработок является эффективность, экономичность, простота и надежность эксплуатации вентиляционных устройств, в соответствии с чем целесообразно руководствоваться следующими принципами:

- а) максимально использовать сами выработки, как каналы для транспортировки воздуха;
- б) принять минимальное количество необходимых переключений системы с одного режима на другой (например, реверсирование) в процессе производственного цикла;
- в) обеспечить наилучшими гигиеническими условиями рабочие места, расположенные в глубине выработки (что не означает допустимости нарушения санитарно-гигиенических норм в других местах);
- г) исключить по возможности помехи для технологических процессов;

д) обеспечить соответствующие вентиляционные режимы при всяком изменении внешних условий или быстрого перехода на эти режимы.

Систем вентиляции, строящихся по перечисленным принципам и требованиям, нет, однако сопоставление различных показателей позволяет дать следующие общие рекомендации.

5.3. Схемы вентиляции тупиковых выработок должны разрабатываться на принципах перемещения воздуха в одном направлении по тоннелю, а в другом — по воздухопроводу.

При проходке буровзрывным способом и отсутствии выделений вредных веществ по длине выработки наиболее целесообразным является вытяжная система вентиляции, не требующая в нормальном режиме никаких переключений.

По действующим правилам техники безопасности [5] все системы должны быть устроены так, чтобы они могли реверсироваться с расходом воздуха в опрокинутой трубе, составляющем не менее 60 % от расхода, требуемого при рабочем режиме.

Это требование может быть удовлетворено следующим образом:

а) при укрупненных вентиляторных узлах — устройством системы клапанов и обводных каналов;

б) переключением направления вращения осевых вентиляторов, устанавливаемых на воздуховоде; при существующих характеристиках вентиляторов их производительность в режиме реверса составляет 1/3 от производительности в прямом режиме (вместо требуемых 60 %),

в поэтому приходится рассчитывать требуемую производительность по вредным веществам, затем увеличивать ее в 1,8 раза и подбирать по последней вентиляторы;

в) устройств дублирующих систем, бездействующих в нормальных условиях и включающихся только в аварийных; такое решение может быть целесообразным, например, в случае использования тканевых воздухопроводов.

При неблагоприятных климатических условиях возникают некоторые осложнения.

Для выработок, где возможен перегрев, вследствие выделения тепла породами, как правило, наиболее интенсивного в глубине, возможны следующие варианты:

а) основная система — приточная вентиляция, на время проветривания забоя после взрывания зарядов переключаясь на вытяжную;

б) основная система — вытяжная, дополненная местными установками по охлаждению воздуха (эта схема предпочтительнее, однако она возможна только при наличии средств отведения тепла от охлаждающих установок, например, воды).

Требованиям предотвращения охлаждения выработок лучше отвечает приточная вентиляция: при ее работе через большую часть сечения портала воздух выходит из тоннеля. Однако возникает осложнение в виде реверсирования системы (это один из вариантов системы); второй — только вытяжная вентиляция, компенсируемая подачей нагретого воздуха у портала (см. п.4.26).

Разработка породы специальными механизмами (комбайнами механизированными щитами) связана, как правило, с загрязненностью воздуха, для удаления которого предпочтительнее вытяжная вентиляция.

Все перечисленные варианты относятся к выработкам, в которых не происходит выделения вредных веществ по длине.

По другому решается вопрос при использовании автотранспорта, когда принцип обеспечения призабойной зоны свежим воздухом становится превалирующим.

Вынужденным решением здесь является приточная схема с переключением на вытяжную для удаления газов из забоя после взрывания зарядов или при возникновении пожара, когда требования по его тушению обуславливают необходимость движения воздуха по выработке от портала к забою.

Наиболее сложный случай — применение автоматов в сочетании с работой специальных механизмов по разработке породы. Как указы-

валось, для удаления пыли здесь нужна вытяжная вентиляция, а для выноса выхлопных газов автомашин — приточная.

На следующем этапе проработки этой задачи предлагается вариант приточной системы (реверсируемой при пожаре), в сочетании с местной (у забоя) вытяжной системой, включающей фильтры для очистки воздуха перед его выбросом в общий воздушный поток, движущийся по выработке от забоя к порталу.

5.4. Для сквозных выработок дополнительно к рассмотренным вариантам (сквозная выработка всегда может быть разгорожена на две тупиковых) возникает возможность обойтись без воздухопроводов, создавая поток воздуха по одному из способов, отмеченных в пп.4.22—4.24. Реверсирование системы может осуществляться дублированием вентиляторов, подбором оборудования с повышающим коэффициентом $I,8$ (п.5.3,б) и устройством систем переключения режимов.

Все ранее сказанное об особенностях приточной и вытяжной систем вентиляции полностью относится и к схеме проветривания сквозной выработки, при этом одна часть выработки будет находиться в режиме, соответствующем вытяжной вентиляции (движение воздуха от портала к середине тоннеля), вторая — наоборот. При одновременном ведении работ в обеих частях выработки сквозная вентиляция должна рассчитываться на ассимиляцию воздушным потоком всех вредных веществ по длине тоннеля.

5.5. Вентиляция системы двух параллельных одновременно сооружаемых выработок, соединяемых обойками, может рассматриваться как сочетание вентиляции тупиковых выработок (за последней из сбоек) и сквозной вентиляции двух штолен, осуществляемой через сбойку. Может быть несколько вариантов ведения работ в выработках (соответствующие схемы вентиляции даны на рис.14):

а) работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок по всей ее длине; во второй — только на участке от "вентиляционной" сбойки до забоя (такое сочетание соответствует, например, строительству тоннеля с подходной штольной, имеющей временное крепление). Если по длине основной выработки нет выделения вредных веществ, то наиболее очевидной является схема проветривания, при которой по указанной выработке воздух направляется от портала к сбойке, а по штольне — в обратном направлении. Забой обеих выработок целесообразно проветривать местной вытяжной вентиляцией с выбросом загрязненного воздуха в поток, идущий по штольне. Эта же схема может быть применена и при использовании автотранспорта, если езда

идет только по штольне (периоды взрывы не совпадают с моментами очищения забоев после взрывов, поэтому во время загромождения штольни продуктами взрыва люди в ней отсутствуют);

б) работы без выделения вредных веществ ведутся по длине каждой из выработок и, следовательно, загрязненный воздух из забоев нельзя направлять ни по одной из них. Нужно устройство вытяжной вентиляции из забоев с выбросом воздуха наружу, то есть с прокладкой воздуховода (или воздухопроводов) на всю длину тоннеля. Производительность системы сквозной вентиляции должна быть несколько больше, чем вытяжной, чтобы за счет избытка воздуха могла проветриваться та выработка, портал которой не является "приточным". При соответствующем значении указанного избытка эта система вентиляции применима и для варианта, при котором автомашины движутся по тоннелю, где поток воздуха направлен к порталу;

в) самый трудный для вентиляции случай движения автотранспорта по обеим выработкам. По-видимому, здесь трудно обойтись без приточной вентиляции с забором воздуха снаружи. Так же, как и в случае одиночных выработок, система должна реверсироваться на время очищения забоев от взрывов и при пожаре.

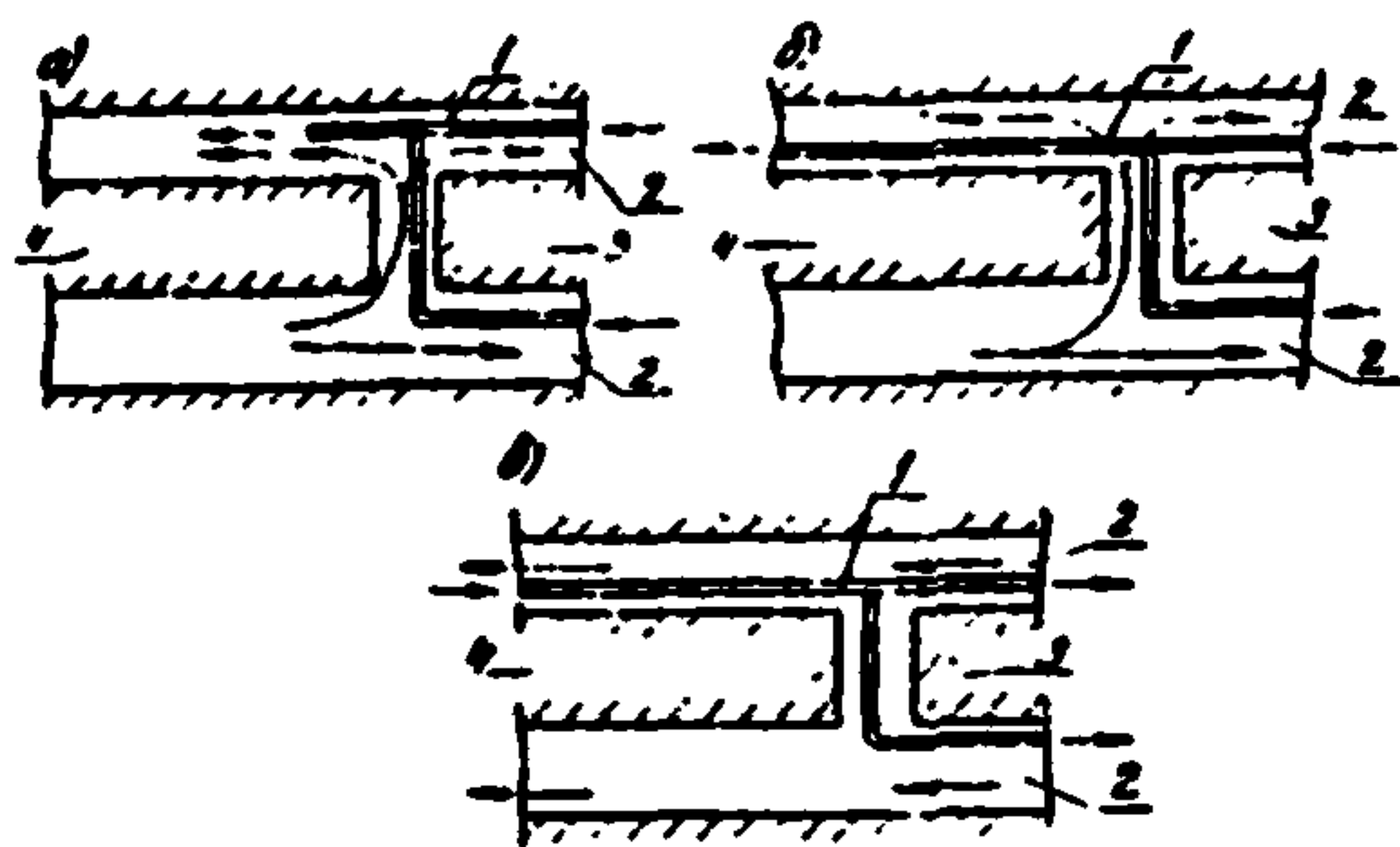


Рис. 14. Схемы вентиляции параллельных выработок с использованием сбойки:

а - работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок; б - работы без выделения вредных веществ ведутся в каждой выработке; в - автотранспорт движется по обеим выработкам; 1 - воздуховод; 2 - выработки; 3 - сбой; 4 - портал

Во всех рассмотренных вариантах проветривания "парных" выработок предполагалось, что длина их тупиковых участков находится в пределах 400 м.

Церопрятия по борьбе с охлаждением выработок через порталы ничем не отличаются от ранее описанных. При наличии избытков тепла наружный воздух лучше подавать по выработке, имеющей сечение, так как это обусловит его меньший нагрев по пути к забоям.

Большая длина выработок и значительные выделения тепла могут потребовать устройств приточной вентиляции независимо от других факторов.

Приведенные в текст рекомендации по одиночным выработкам собраны в табл. 9.

Эти рекомендации даются не в качестве готовых рецептов на все случаи проектирования. Цель такой систематизации состоит в том, чтобы дать ориентацию при выборе схемы вентиляции и при оценке вариантов производства работ и технологии строительных процессов.

Пример расчета вентиляции двух параллельных выработок с движением автотранспорта по каждой из них дан в приложении 18.

Т а б л и ц а 9

Способ разработки породы	Тип транс- порта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиноч- ных тупиковых выработок с забоями	
		одним	двумя
		Нормальные климатические условия	
Буровзрыв- ной	Электрический	/Вг+Р/ —●— Пр	/Вг+Мз/ —●— /Пр+М4/
	Автомобильный	Пр —●— Вг	/Пр+М4/ —●— /Вг+Мз/
Резка, рых- ление	Электрический	Вг —●— Пр	/Вг+Мз/ —●— /Пр+М4/
	Автомобильный	Пр —●— Вг	/Пр+М4/ —●— Вг
		Высокая температура пород	
Буровзрыв- ной	Электрический	/Вг+М2+Р/ —●— Пр; Пр — Вг	/Вг+М2+Мз/ —●— Пр
	Автомобильный	Пр —●— Вг	/Пр+М4/ —●— /Вг+Мз/
Резка, рых- ление	Электрический	/Вг+М2/ —●— Пр;	/Пр+Мз+М4/ —●— /Вг+Мз/
	Автомобильный	/Пр+М2/ —●— Вг	
		Низкая температура наружного воздуха	
Буровзрыв- ной	Электрический	/Вг+Н2+Р/ —●— Пр	/Вг+Н2+Мз/ —●— Пр
	Автомобильный	/Пр+Н1/ —●— Вг	/Пр+Н1+М4/ —●— /Вг+Н2+Мз/

Способ раз- работки по- роды	Тип транс- порта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиночных хупиковых выработок с забоями	
		одним	двумя
Разкв. рых- ление	Электриче- ский Автомобиль- ный	/Вт+Н ₂ / → Пр	/Вт+Н ₂ +М ₈ / → Пр
		/Пр+Н ₁ +М ₁ / → Вт	/Пр+Н ₁ +М ₁ +М ₄ / → → /Вт+М ₂ +М ₃ /

Условные обозначения:

Вт - вытяжная вентиляция; —→ - реверсирование основной
схемы в другую при рабочих режимах; →→ - реверсирование при
аварийном режиме; Пр - приточная вентиляция; М - местная
вентиляция по схеме на рис. 15,б; Н - защита от охлаждения по
схеме на рис. 15,в; (+) - объединение одной части схемы с другой;
Р - рециркуляция по схемам М₁ - М₂ или М₃ на рис. 15.

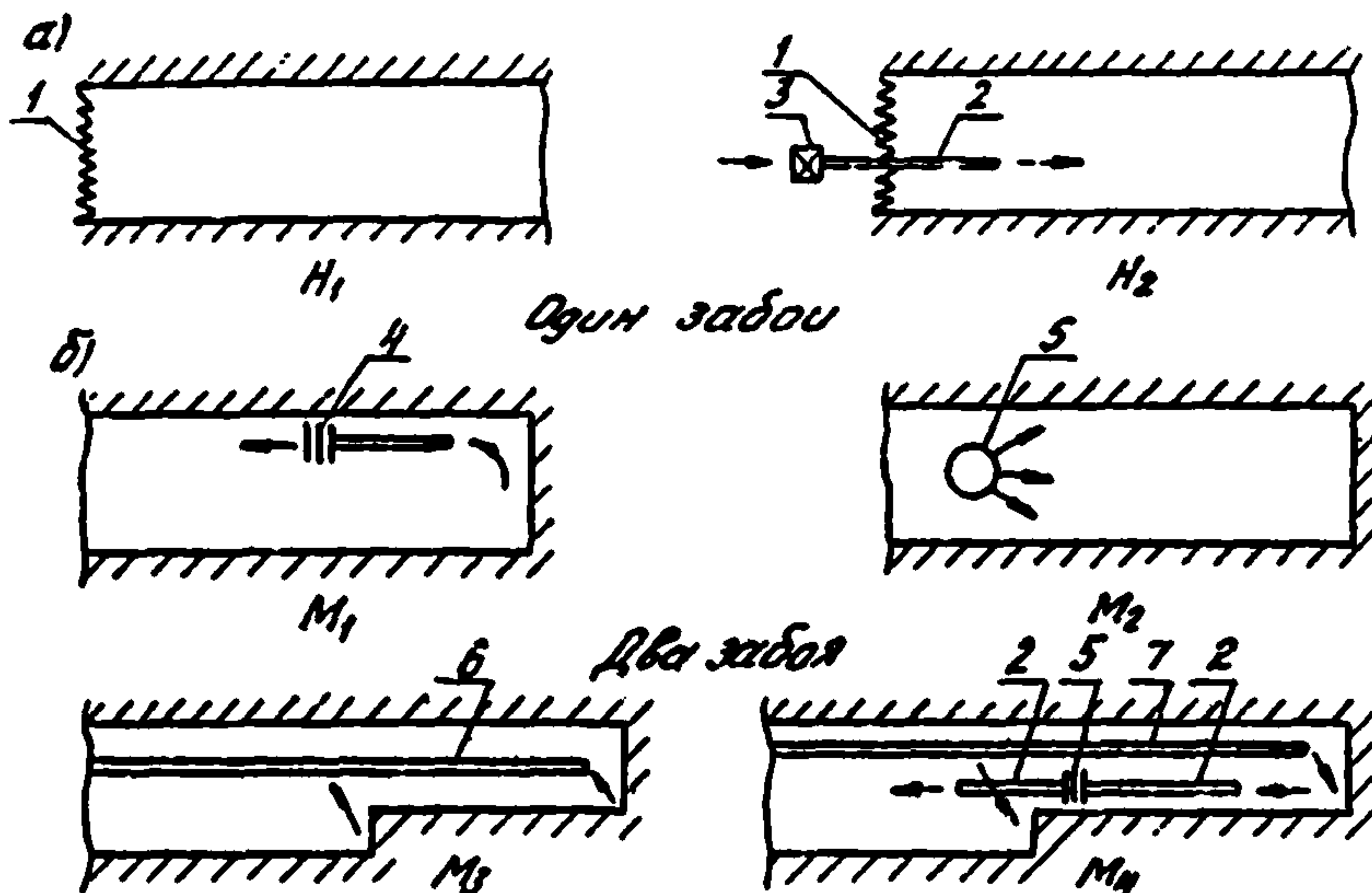


Рис. 15. Схемы теплозащиты и размещения местных отопитель-
но-вентиляционных установок:
в - защита порталов от охлаждения наружным воздухом; б -
местные вентиляционные системы в забоях; 1 - воздушно-
тепловая завеса или шлюз; 2 - воздуховод; 3 - приточная
установка с нагревом воздуха; 4 - воздушный фильтр;
5 - рефрижератор; 6 - воздуховод с двумя заборами воздуха;
7 - воздуховод с двумя выпусками воздуха

6. ГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

6.1. Комплексная система глушения шума вентиляционных установок должна состоять из двух глушителей, устанавливаемых на "входе" и "выходе" вентилятора, и звукоизолирующих рубашек штепселей и вентилятора (рис.16).

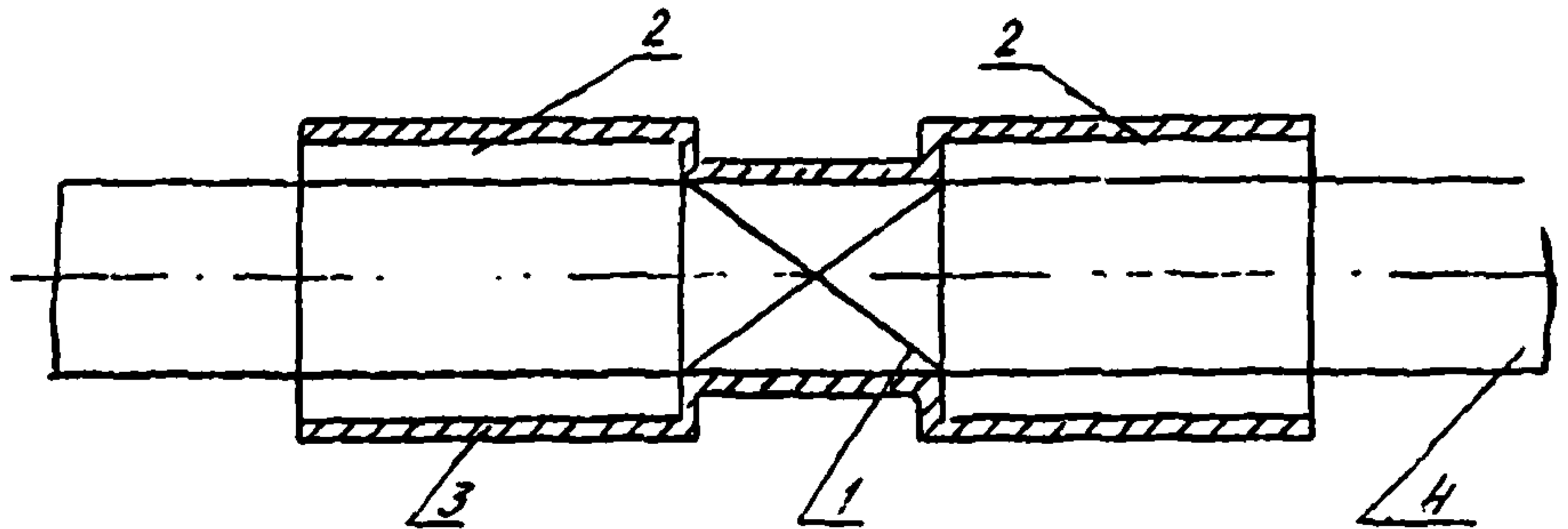


Рис.16. Комплексная система глушения шума вентиляционных установок:
1 - вентилятор; 2 - глушители; 3 - звукоизолирующие рубашки; 4 - воздуховод

6.2. Рекомендуются резонансные глушители (рис.17).

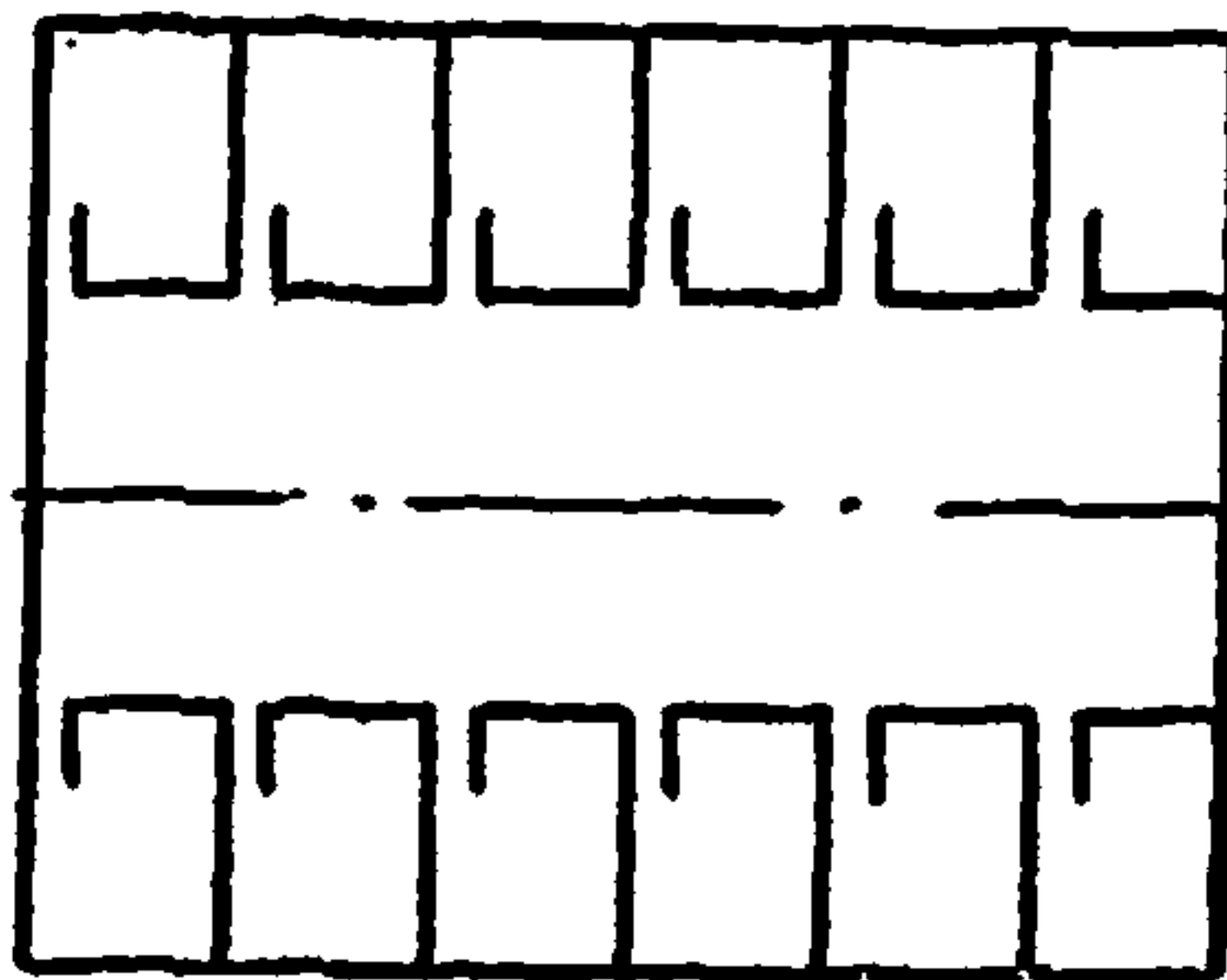


Рис.17. Принципиальная геометрическая схема резонансного глушителя

6.3. Оптимальные геометрические размеры резонансных глушителей рассчитываются по программе на ЭВМ (Информационный бюллетень алгоритмов и программ ГосФАП СССР №5(49) 1982 П 005 432). В табл.10 даны геометрические размеры глушителей для типовых радиусов воздуховодов 250, 300 и 400 мм.

6.4. Глушители изготавливаются из любых приемлемых материалов, сохраняющих геометрическую форму глушителей в процессе эксплуатации. Рекомендуется изготавливать глушители из стеклопластиков, например, из холста стекловолоконного I категории качества толщиной 0,5-0,8 мм ВВ-АМ ТУ-21 БССР 203-78 в 3-4 слоя и эпоксидной смолы ЭД-20 ГОСТ 10587-76 с отвердителем полиэтиленполиамидом и дибутилфталатом.

Т а б л и ц а 10

Радиус воздухо- вода, мм	Радиус глушителя, мм	Эффектив- ность глу- шителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горлышка резонато- ра, мм	Длина горлышка резонато- ра, мм	Длина резонан- тора, мм	Число ре- зонаторов	Длина глушителя, мм
250	500	25	63-125	12,5	101	237	7	1659
			125-250			59	13	767
		30	63-125			237	8	1896
			125-250			59	15	885
		35	63-125			237	9	2133
			125-250			59	17	1003
		40	63-125			237	10	2370
			125-250			59	19	1121
300	600	25	63-125	15	121	198	8	1584
			125-250			49	15	735
		30	63-125			198	9	1782
			125-250			49	18	882
		35	63-125			198	10	1980
			125-250			49	20	980

Продолжение табл. 10

Радиус воздухо- вода, мм	Радиус глушителя, мм	Эффектив- ность глу- шителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горлышка резонато- ра, мм	Длина горлышка резонато- ра, мм	Длина резонан- тора, мм	Число ре- зонаторов	Длина глушителя, мм
400	800	40	63-125	20	162	198	11	2178
			125-250			49	23	1127
		25	63-125			148	10	1480
			125-250			37	20	740
		30	63-125			148	12	1776
			125-250			37	24	888
		35	63-125			148	14	2072
			125-250			37	27	999
		40	63-125			148	15	2220
			125-250			37	30	1110

6.5. Звукоизолирующая рубашка глушителя и вентилятора представляет собой слоистую конструкцию, в которой должны отсутствовать щели и отверстия.

6.6. Звукоизолирующая рубашка рекомендуется изготавливаться из материала фольгоизол (ГОСТ 5.2053-73), который представляет собой слой битумного материала - изола, покрытый с одной стороны алюминиевой фольгой, а с другой - полистирольной плёнкой, изготовленный заводом кровельных и полимерных материалов (г. Москва). Между рубашками и внешними стенками глушителя и вентилятора укладывают слой песка. Толщина слоя песка при звукоизоляции не менее 20 дБ по всем нормированном интервалам частот должна быть не менее 20 мм (рис. 18).

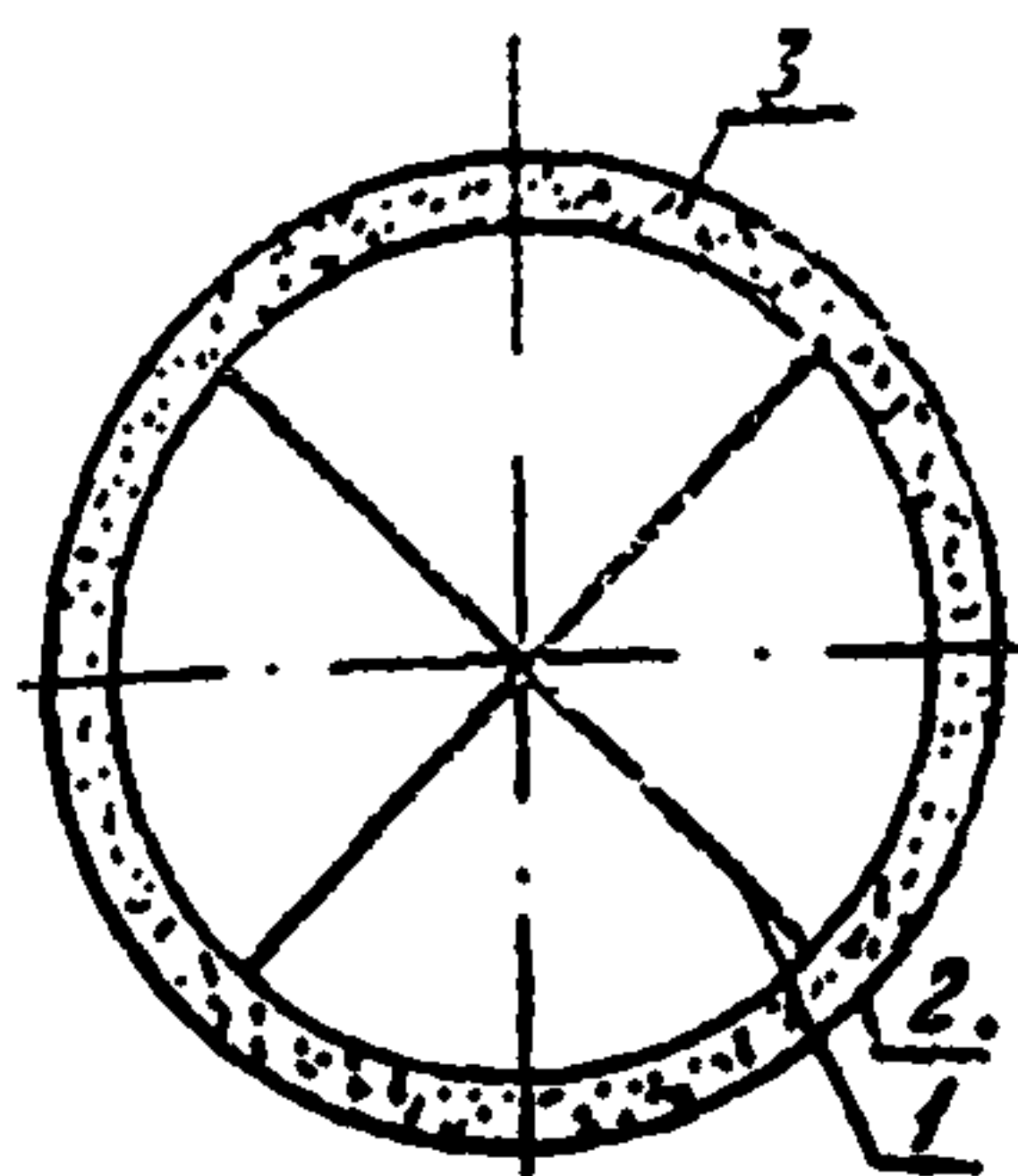


Рис. 18. Возможная конструкция слоистой звукоизолирующей рубашки:
1 - глушитель или вентилятор; 2 - замкнутый цилиндр из фольгоизола; 3 - песок

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ТОНИВЕРНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
I	Углерода окись, CO При длительности экспозиции¹, ч 8 I 0,5 0,25 Взрывная работа, работа двигателей внутреннего сгорания, сварка, пожары	0,97	20 50 100 200	4	Газ	Не имеет цвета, запаха, вкуса. В воде практически нерастворим. Химически устойчив	Вытесняет кислород из гемоглобина и вызывает кислородное голодание. Систематическое вдыхание загрязненного воздуха приводит к устойчивому перерождению крови. Смертельно опасная концентрация 2500 мг/м³

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Биологическое действие
2	Азота окислы, NO, NO ₂ , N ₂ O ₄ , N ₂ O (приведены к NO) ² Вне зависимости от экспозиции Взрывные работы, сварка, работа двигателей внутреннего сгорания	1,59	5	2	Газ	Имеет бурый цвет, острый запах. Смесь с воздухом может расслаиваться. Активно растворяется в воде	Раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, отрицательное действие сказывается не сразу, а через длительное время после экспозиции (от 4 до 30 ч). Смертельно опасная концентрация 500 мг/м³
3	Акролеин CH ₂ =CHCHO Работа двигателей внутреннего сгорания (один из альдегидов)	1,90	0,2	2	Пары	Не имеет цвета, запах горелого масла. Хорошо водорастворим	Раздражает слизистые оболочки. Смертельно опасная концентрация 15 мг/м³

п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Биологическое действие
4	Альдегиды (сложные органические соединения) Формальдегид HCHO Образуется при работе двигателя внутреннего сгорания	От 1,50 до 5,70 1,04	5,0 0,5	2 и 3 2	Пары	Специфический запах. Легко растворим в воде	Раздражает слизистые оболочки, вызывает некроз кожи, нарушает пищеварение
5	Углерода двуокись CO_2 — Дыхание людей, взрывные работы, работа двигателей внутреннего сгорания, сварка	1,52	1000	—	Газ	Бесцветен. Слабый кислочный запах. Водоразтворим. Может отслаиваться	Вызывает кислородную недостаточность. Смертельно опасная концентрация 20 000 мг/м³
6	Сернистый ангидрид	2,22	10	3	Газ	Бесцветен. Запах специфический. Водоразтворим. Может отслаиваться	Раздражение дыхательных путей и глаз. Смертельно опасная концентрация 1430 мг/м³

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК) мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
7	Кислород	I, II	$286 \cdot 10^3$ (не менее)	-	Газ	Бесцветен, без запаха, практически не растворяется в воде	недостаток вызывает кислородное голодание. Смертельно опасная концентрация менее $140 \cdot 10^3$ мг/м ³ (12 л по объему)
8	Озон Образуется при электросварке	I, 66	0,1	I	Газ	Бесцветен. Имеет специфический запах. Хорошо водорастворим	Раздражает слизистые оболочки

1. Увеличение ПДК может учитываться только в том случае, если между периодами экспозиции имеются перерывы не менее 2 ч.

2. В некоторых источниках даны значения ПДК для N_2O_5 ; для пересчета этих ПДК на NO_2 , величины первых надо умножить на 0,85.

3. ПДК, приведенные в ПТБ [1], устарела и с выпуском ГОСТ 12.1.005-76 не должны приниматься во внимание.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ПЫЛЕВИДНЫХ ПРЕДМЕТОВ (АЭРОЗОЛЕВ) В ВОЗДУХЕ ТОНЧЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Пыль	Предельно допусти- мая кон- центрация (ПДК), мг/м ³	Класс опасности	Физиологическое действие
I	Кремне содержащая			
	с содержанием свободной двуокиси кремния (SiO_2) более 70 % (кварцит, диаспор и др.)	I	3	Уплотнение легочных тканей, частичное растворение и поступление в кровь в виде ядовитой кремниевой кислоты (H_2SiO_4)
	с содержанием SiO_2 от 10 до 70 % (гранит, шпат, слюда и др.)	2	4	действие кристаллической пыли усугубляется острой конечной формой пылевок, способствующей их внедрению в живые ткани
	от 2 до 10 % (сланцы, углеродная пыль, глина и др.)	4	4	
2	Силикаты и оксидосодержащие			
	асбестопородные пыли с содержанием асбеста более 10 %	2	4	То же действие, но без образования H_2SiO_4 ; пыль легче отделяется от легочных тканей
	тааль, слюда-флогопит, мусковит и др.	4	4	(по сравнению с кремне содержащей)
	цемент, оливин, эпидит, форстерит, глине (при содержании $SiO_2 < 2\%$)	6	4	
3	Сварочные аэрозоли	4	4	Уплотнение легочных тканей, поступление в кровь ядовитых соединений марганца, фтора и других присадок

Приложение 3

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ
ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

№ п/п	Параметр	Едини- ца из- мерения	Допустимые зна- чения		Оптималь- ные зна- чения
			минимум	максимум	
1	Температура воздуха	°C	+2	+25	16-18
2	Скорость движения воздуха	м/с	0,1	-	-
	в горизонтальных и наклон- ных выработках		-	6	0,3-0,5
	в стволах, по которым под- нимаются и опускаются люди		-	8	-
3	Влажность воздуха	%	-	-	40-60

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ СВАРКЕ В ТОНЕЛЬНЫХ
ВЫРАБСТКАХ**

№ п/п	Виды сварочных работ	Марка электродов	Сила тока	Аэрозоль		NO _x		Коэф- фициент не- равномер- ности K_n
				Интенсив- ность, мг/с	Концен- трация на 1 кг электро- да, г/кг	Интенсив- ность, мг/с	Концен- трация на 1 кг, мг/кг	
1	Монтаж кровельных под оборудование	УР-3	160	2,94	11,3	1,0	4500	0,33
2	Монтаж металлоконструкций	OSC-4	200	10,50	19,2	0,7	1370	0,51
3	Устройство освещения (подвески и пр.)	УР-3	60	1,80	24,4	1,0	4500	0,17

Приложение 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ВОЗДУХА ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И СИСТЕМЫ С СПРЕДЕЛЕННОЙ РАЗДАЧЕЙ ПРИ АВТОМАСБИЛЬНОЙ ВОЗКЕ ПОРОДЫ И МАТЕРИАЛОВ В ВЫРАБОТКЕ

Последовательность операций расчета следующая:

1. Подсчитывается безразмерная величина λ по формуле

$$\lambda = \frac{v \Delta t}{l_{wp}},$$

где l_{wp} - длина выработки, м;

v - средняя скорость движения автомашин по выработке, м/с;

Δt - временной интервал между машинами, проходящими по выработке в каком-либо одном направлении, с.

2. Подсчитывается безразмерная величина

$$\xi = \frac{F_{wp} v (C_{at} - C_p)}{q (C_o - C_p)},$$

где F_{wp} - площадь поперечного сечения выработки, м²;

C_{at}, C_o и C_p - концентрации определяющей вредности соответственно: предельно допустимая величина в воздухе выработки, в отработавших газах автомашин и фоновая (т.е. в воздухе, собираемой снаружи системой вентиляции), мг/м³;

q - расход отработавших газов одной машиной, м³/с.

3. По графикам рис.1 и 2 на оси абсцисс находится подсчитанная величина λ , восстанавливается перпендикуляр к этой оси до пересечения с кривой, соответствующей величине ξ (при промежуточном значении ξ делается интерполяция между кривыми) и из полученной точки проводится прямая, параллельная оси абсцисс до пересечения с осью ординат, где находится величина $\bar{w}$.

4. Из выражения

$$\bar{w} = \frac{v}{u}$$

определяется u - скорость

движения воздуха по выработке в ее конце, считая от портала, м/с.

5. Определяется расход по формуле

$$L = L_{wp} u, \text{ м}^3/\text{с}.$$

6. Если принята система с распределенной раздачей воздуха, то расчет продолжают, определяя λ_1 ,

$$\lambda_1 = \frac{v \Delta t}{l_1},$$

где $l_1 = l_{wp} - \Delta l_1$, м;

Δl_1 - расстояние от забоя до ближайшего к нему выпуска воздуха (не считая выпуска у самого забоя), м;

v и Δt - те же, что и ранее.

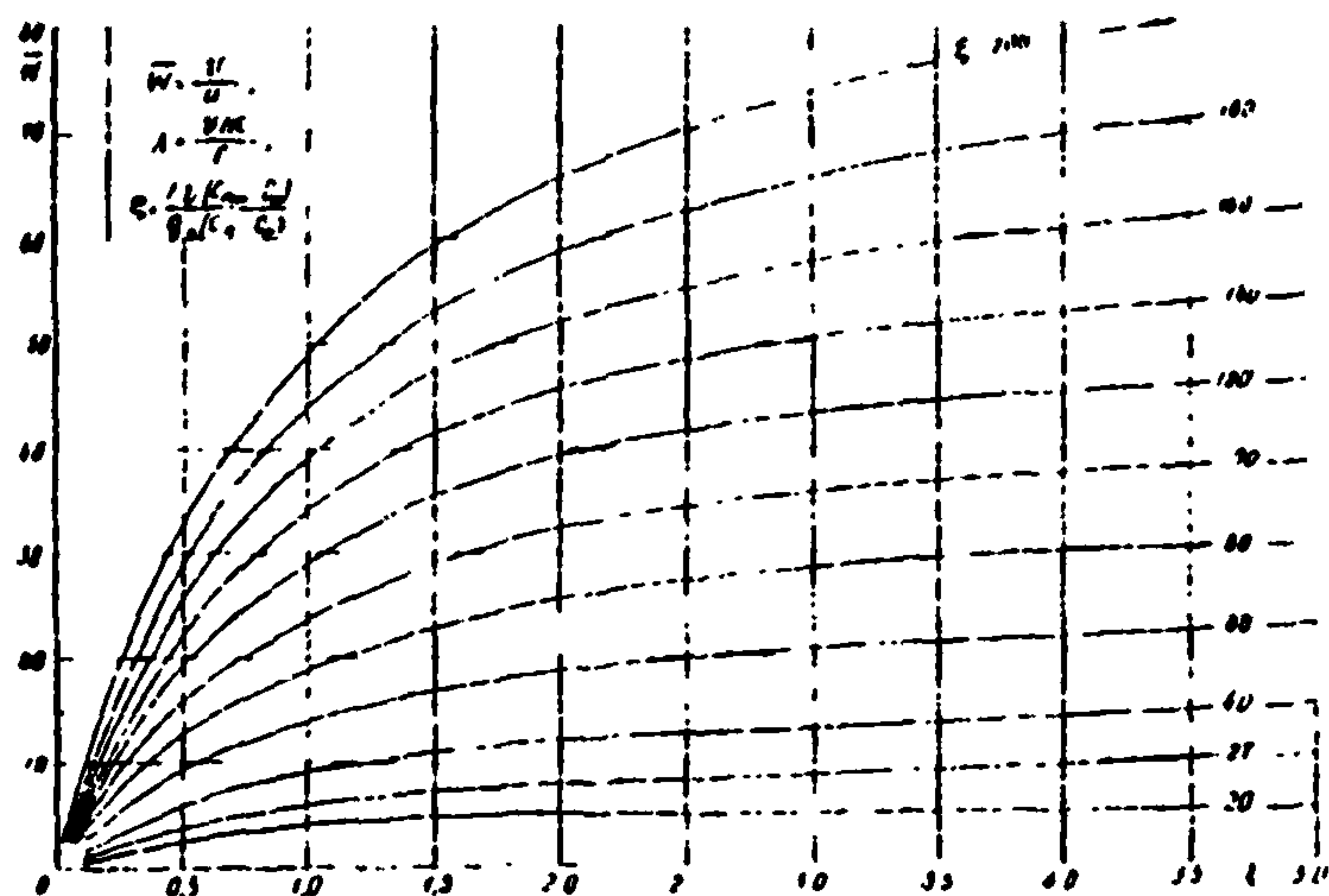


Рис.1. График расчета вентиляции участка выработки с объемом, в котором работает несколько автомашин

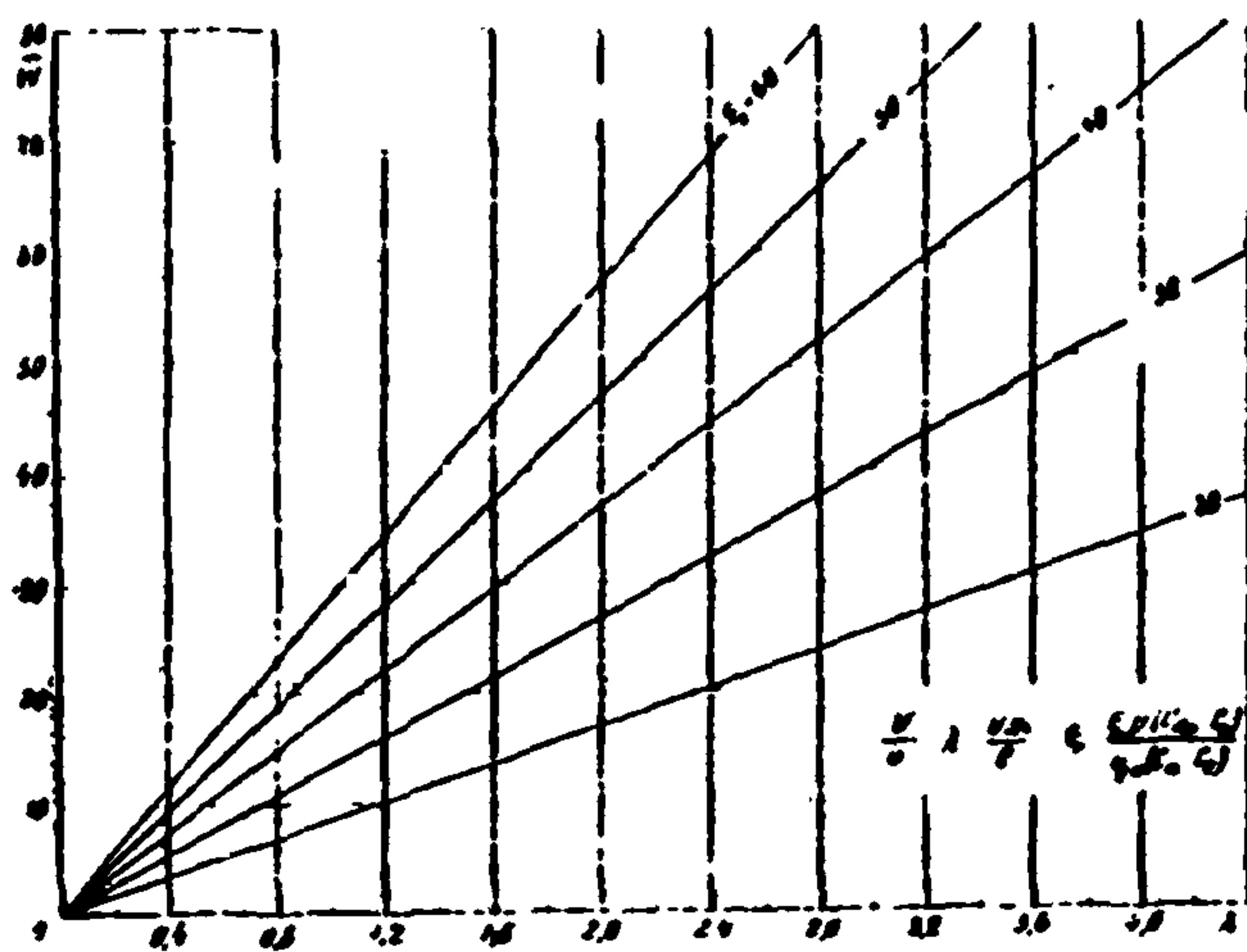


Рис.2. График расчета вентиляции промежуточного участка выработки при работе нескольких автомашин

С помощью графиков на рис. 1 и 2 по λ и ζ находим ϖ , в этом вычисляем α и L_1 .

Количество воздуха, выпускаемого в выработку у забоя, определяется

$$\Delta L = L - L_1, \text{ м}^3/\text{с}.$$

7. Аналогично определяют количество воздуха, выпускаемого на расстоянии l_1 от портала

$$\Delta L_1 = L_1 - L_2, \text{ м}^3/\text{с}$$

и т.д.

Графики рис. 1 и 2 учитывают неравномерность движения машин по выработке, необходимость маневрирования у забоя, а также разницу в создаваемых концентрациях вредных веществ при оледовании тренопорта по направлению воздушного потока и против него.

П р и м е р

А. Условия.

Вывозка взорванной породы при строительстве однопутного железнодорожного тоннеля осуществляется с помощью автомашин ДР-60, мощностью 60 л.с. и грузоподъемностью 6 т.

Объем взорванной породы в рыхлом теле 110 м³, плотность породы 2,4 т/м³.

Время на уборку породы после одного взрыва по графику производства работ — 3 ч.

Площадь поперечного сечения выработки в обделке 47 м².

Наибольшая длина выработки $l_{\text{выр}} = 2000$ м.

Скорость движения автомашин $v = 10 \text{ км/ч} = 2,8 \text{ м/с}$.

Концентрация определяющих вредных веществ в наружном воздухе

C_0

Б. Задача.

Найти расходы воздуха по участкам системы с распределенной раздечей при выпусках на расстоянии от портала $l_{\text{выр}} = 2000$ м,

$l_1 = 1400$ м, $l_2 = 900$ м, $l_3 = 400$ м (рис. 3).

В. Расчет.

Определяем временной интервал между машинами

$$\Delta t = \frac{6 \cdot 3,3600}{110 \cdot 2,4} = 245 \text{ с},$$

1. Подсчитываем λ для участка $l = 2000$ м

$$\lambda = \frac{v \Delta t}{l_{\text{выр}}} = \frac{2,8 \cdot 245}{2000} = 0,35.$$

2. Подсчитываем ξ , имея в виду, что мощность двигателей ДР-60 равна 60 л.с.

$$\xi = \frac{f_{\text{дв}} v (c_{\text{дн}} - c_{\text{в}})}{q_a (c_{\text{в}} - c_{\text{о}})} = \frac{47 \cdot 2,8 \cdot 20}{60 \cdot 0,0009 \cdot 1800} = 27$$

(значения q_a и c_a взяты по п.2.5).

3. По графику рис.1

$$\bar{w} = 3.$$

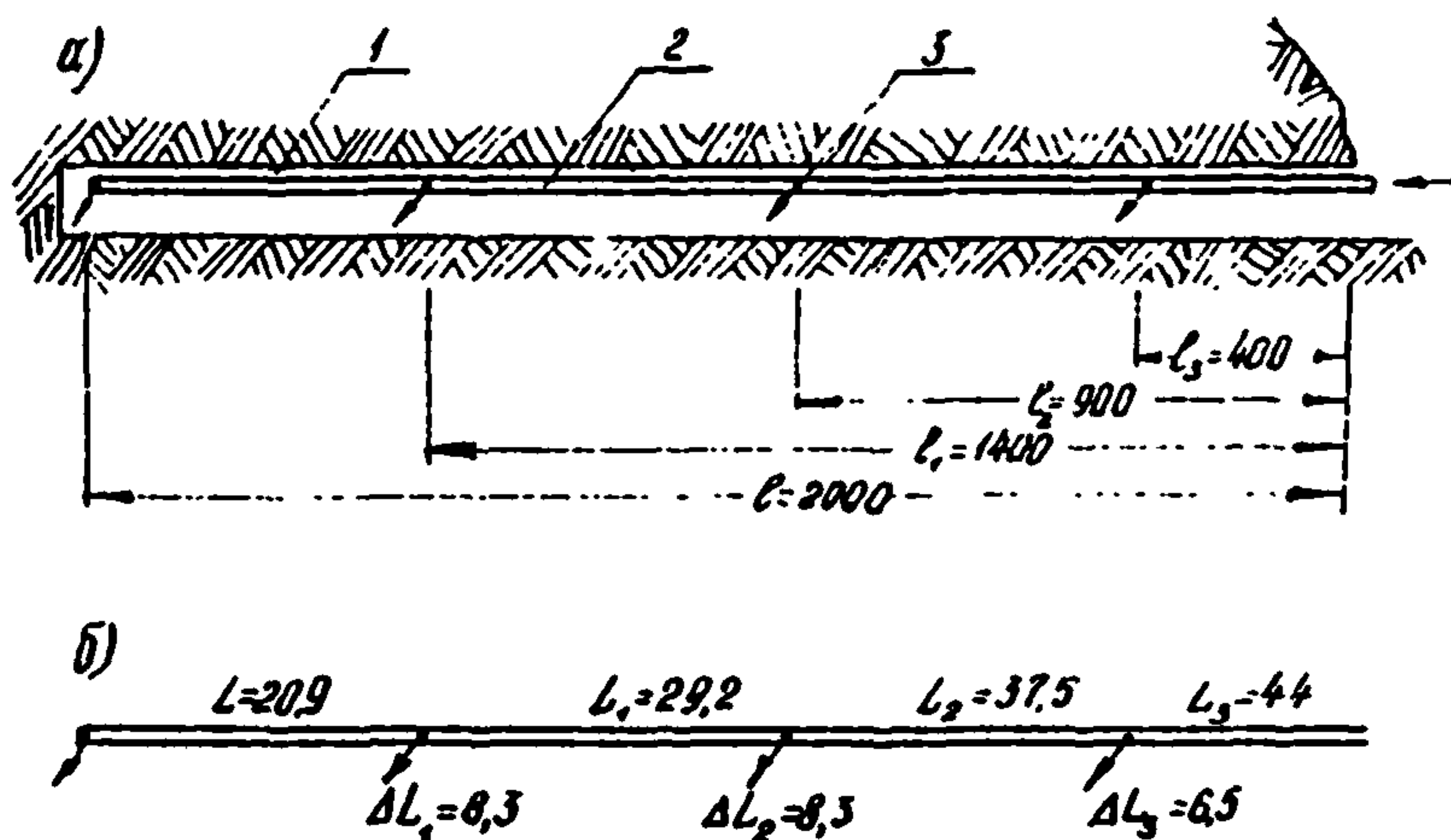


Рис.3. Схема распределенной раздачи воздуха:
а - расчетные участки; б - распределение воздуха;
1 - выработка; 2 - воздухопровод; 3 - выпуски воздуха.
Длины L показаны в м; расходы L и ΔL в м³/с

4. Скорость движения воздуха по выработке на участке при продольной вентиляции

$$u = \frac{v}{\bar{w}} = \frac{2,8}{3} = 0,93 \text{ м/с.}$$

5. Расход воздуха

$$L = f_{\text{дв}} u = 47 \cdot 0,93 = 44 \text{ м}^3/\text{с.}$$

6. Определяем λ , для участка длиной $L_1 = 1400$ м

$$\lambda_1 = \frac{2,8 \cdot 245}{1400} = 0,49.$$

По графику рис.2 $\bar{w} = 5,7$; $u_1 = \frac{2,8}{5,7} = 0,49 \text{ м/с.}$

$$L_1 = 47 \cdot 0,49 = 23,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

7. Продолжим аналогичным способом параметры для участков $\ell_2 = 900 \text{ м}$ и $\ell_3 = 400 \text{ м}$ и получаем:

$$u_2 = 0,32 \text{ м/с}; \quad L_2 = 14,8 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$u_3 = 0,14 \text{ м/с}; \quad L_3 = 6,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

8. Вычисляем значения расходов воздуха по местам распределения:

в конце воздуховода (у забоя)

$$\Delta L = L - L_1 = 44 - 23,1 = 20,9 \text{ м}^3/\text{с};$$

на расстоянии 1400 м от портала

$$\Delta L_1 = L_1 - L_2 = 23,1 - 14,8 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

на расстоянии 900 м от портала

$$\Delta L_2 = L_2 - L_3 = 14,8 - 6,5 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

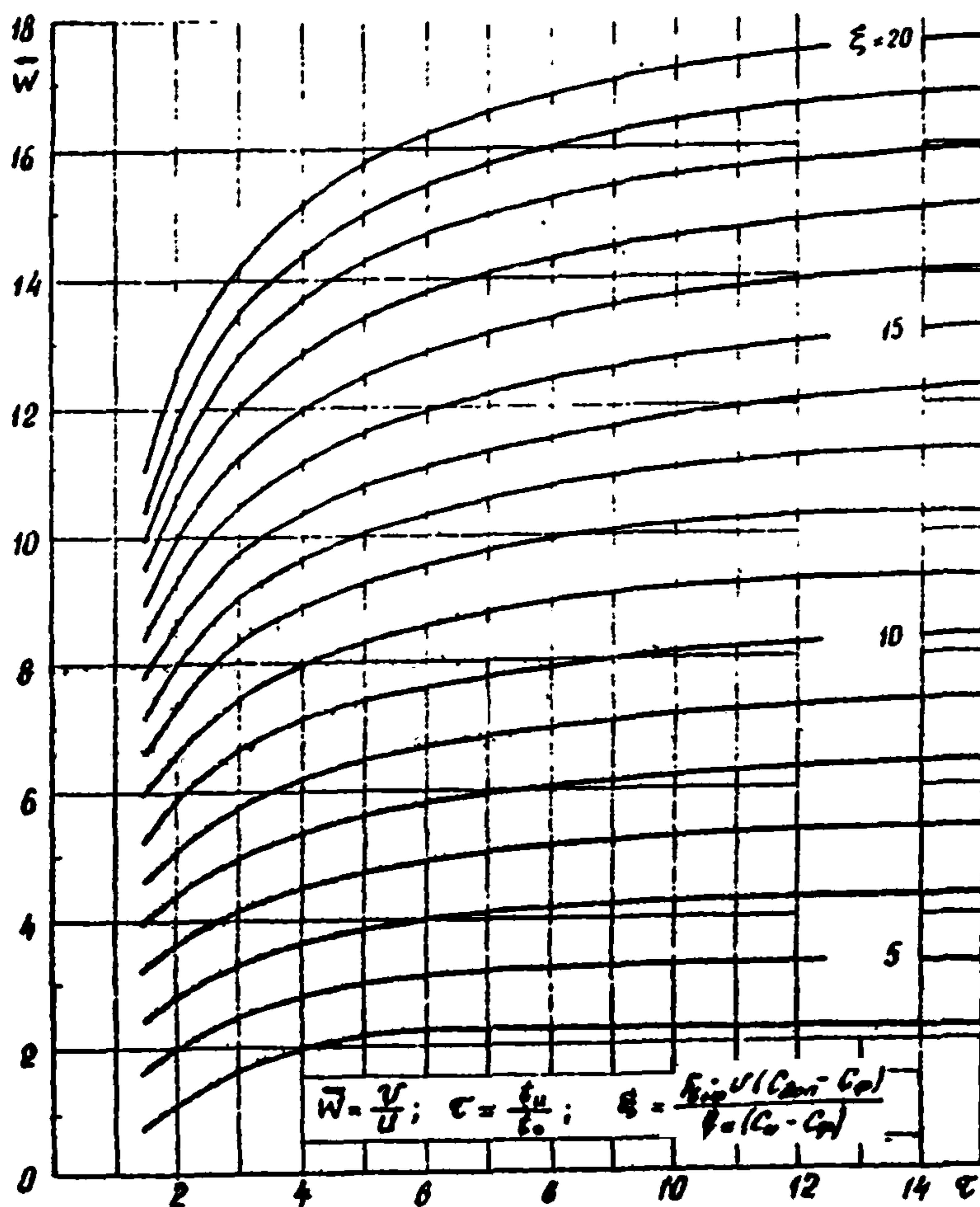
на расстоянии 400 м от портала

$$\Delta L_3 = 6,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

9. Схема раздачи воздуха показана на рис.3.

Величины расходов получены для конечного момента проходки. В процессе строительства, пока выработка еще не достигла конечной длины, расходы будут меньше, но места выпусков воздуха должны устраиваться сразу на заранее рассчитанных расстояниях.

ГРАФИК РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ВЫРАБОТОК, В КОТОРОЙ РАБОТАЮТ ОДИНОЧНЫЕ АВТОМАТЫ (МОАЭ) РЕМ. ЛИН. ЛЬ-ПОЛЗЕРА



Условные обозначения:

V — скорость движения транспортного средства;
 U — скорость движения воздуха; t_u — время про-
 хода транспортом расчетного участка в обе
 стороны; t_o — продолжительность одного транс-
 портного цикла; F_{up} — площадь поперечного сече-
 ния выработки; q_o — расход выхлопных газов

Приложение 7

НОМЕНКЛАТУРА СТАЛЬНЫХ ВОЗДУХОВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РУДНИЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Диаметры 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000 и 1200 мм.

Длина звена 3; 3,5; 4 м.

Толщина стенки при диаметре до 600 мм включительно – 2 мм,
свыше 600 мм – 2,5 мм.

ВИБОР ДИАМЕТРА ВОЗДУХОВОДА

График служит для подбора экономически оптимального диаметра стального воздуховода в зависимости от его конечной длины и расхода воздуха. Число вентиляторов, устанавливаемых на воздуховод группой или рассредоточенно, не влияет на выбор диаметра.

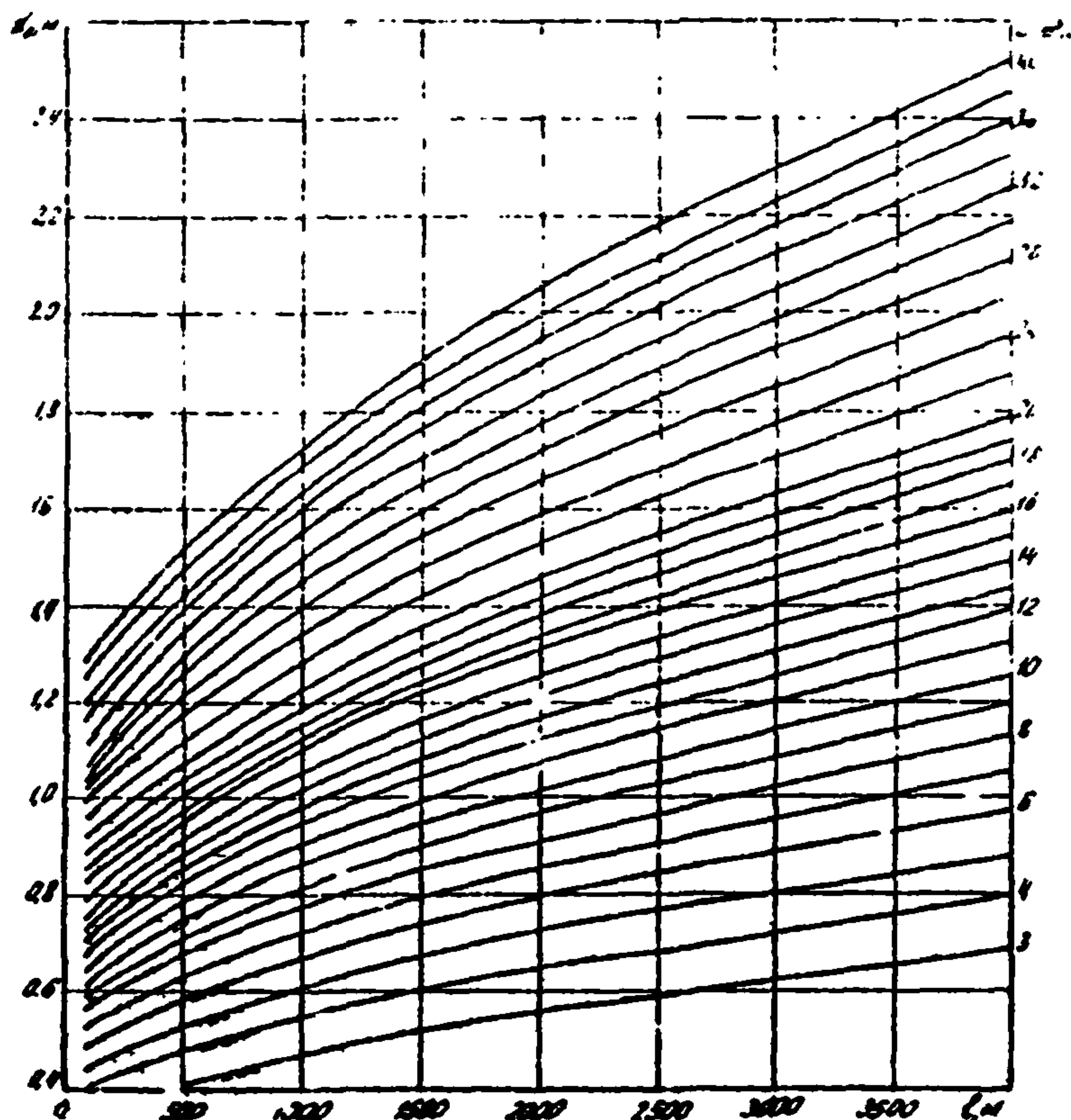


График подбора оптимального диаметра стального воздуховода

Номограмма построена для постоянного расхода воздуха в конце воздуховода (т.е. в месте отсоса или выпуска воздуха); при переменном расходе, зависящем от длины воздуховода (например, при автомо-

оптимальной будет, когда чем длиннее воздуховод, тем больший нужен расход), оптимальный диаметр определяется следующим образом.

Конечная длина воздуховода l делится на несколько равных участков n , каждый из которых длиной $\frac{l}{n}$, и определяется требуемый расход в конце каждого участка, считая его пропорциональным длине. То есть обратом, если требуемый расход воздуха в конце воздуховода длиной l равен L , то в конце первого участка он равен $\frac{L}{n}$, второго $\frac{2L}{n}$, третьего $\frac{3L}{n}$ и т.д.

Для каждого из этих расходов и соответствующих им длин ($\frac{l}{n}$, $\frac{2l}{n}$, $\frac{3l}{n}$ и т.д.) по номограмме находим значение оптимального диаметра.

Затем определим среднее арифметическое значение, которое и является искомым.

Например, надо подобрать диаметр для воздуховода, конечная длина которого $l = 1800$.

В работе идет вытяжной вентилятор; при длине воздуховода 1800 с надо подавать в засос воздуха $L = 9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Делим длину воздуховода и расход воздуха на три части.

Для первого участка $l_1 = 600 \text{ м}$; $L_1 = 3 \text{ м}^3/\text{с}$;

для второго $l_2 = 1200 \text{ м}$; $L_2 = 6 \text{ м}^3/\text{с}$;

для третьего $l_3 = 1800 \text{ м}$; $L_3 = 9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Соответственно по номограмме находим $d_1 = 0,4 \text{ м}$; $d_2 = 0,75 \text{ м}$; $d_3 = 0,95 \text{ м}$.

Среднее арифметическое

$$d = \frac{0,4 + 0,75 + 0,95}{3} = 0,7 \text{ м.}$$

Для тканевых труб экономически оптимального диаметра в пределах имеющегося сортамента не существует. Чем больше их сечение, тем меньше приведенные затраты.

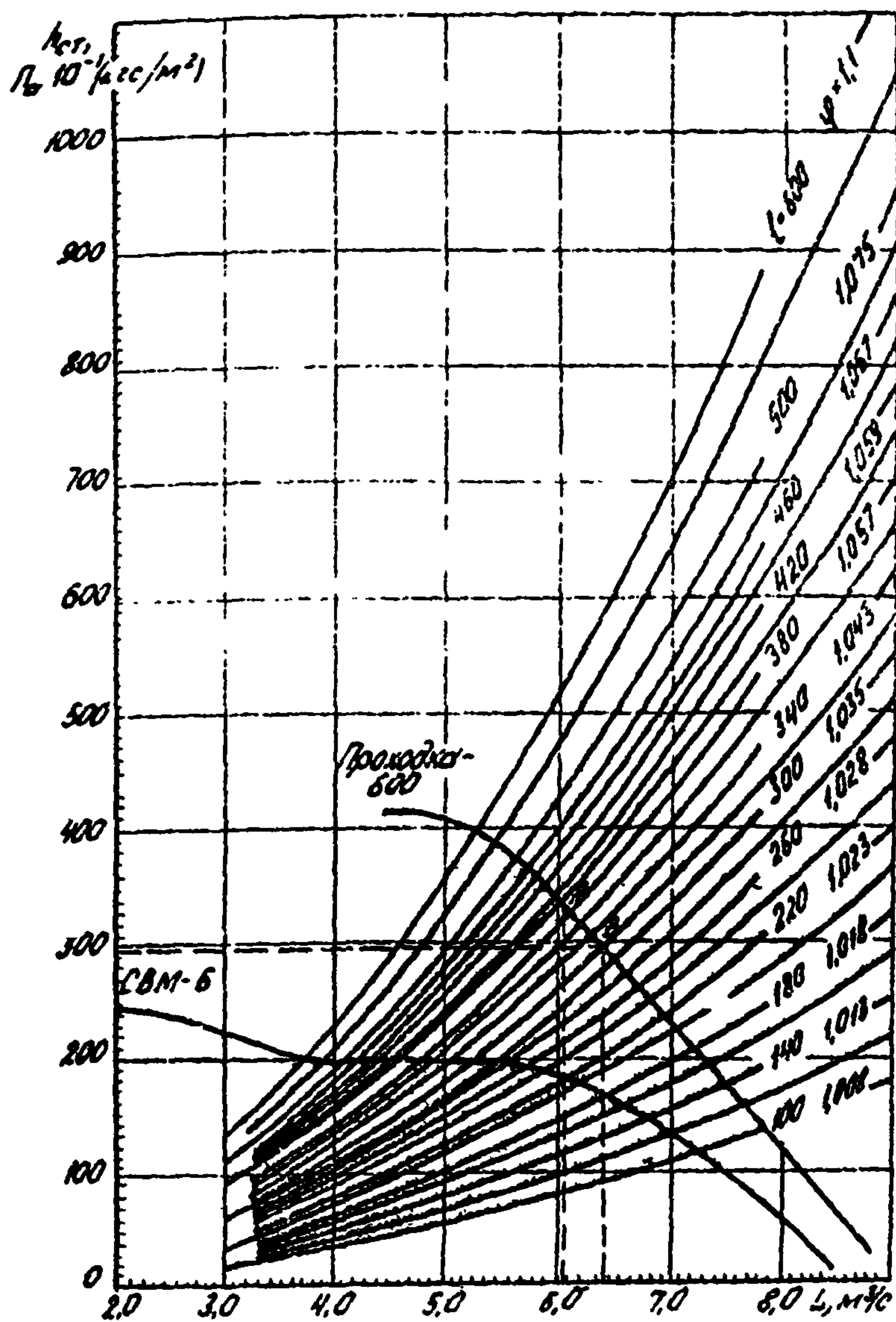
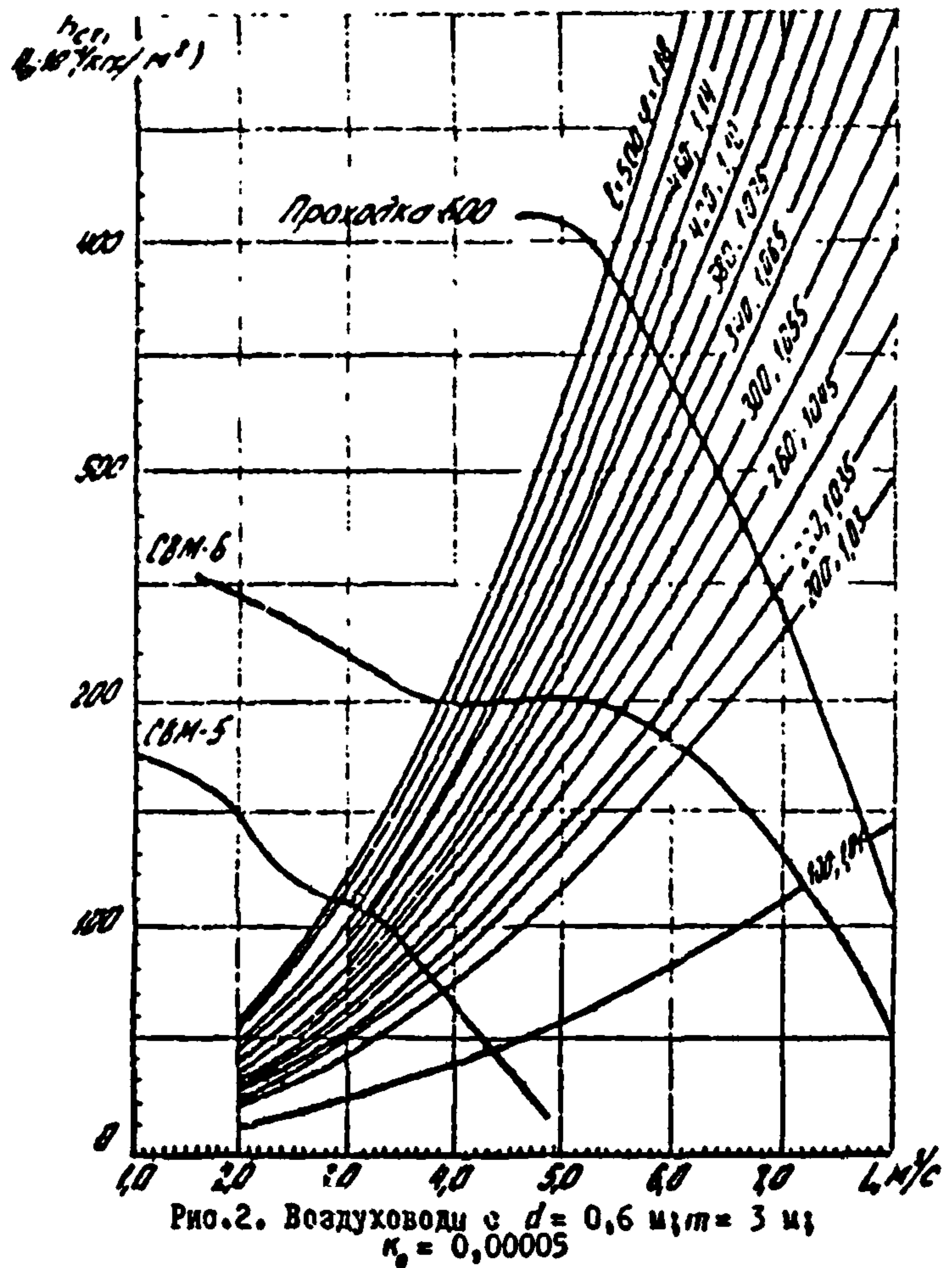


Рис. 1. Воздуховоды с $d = 0,6 \text{ м}; m = 9 \text{ м};$
 $\lambda_0 = 0,011$



Если точка A далеко отстоит от характеристики сети, подбирают новую характеристику сети (другую длину трубопровода) с новым значением коэффициента φ . Построение повторяют до тех пор, пока с требуемой точностью точка не попадет в пересечение характеристики воздуховода и вентилятора. Эта точка укажет, на каком расстоянии следует размещать вентилятор от конца воздуховода или от предыдущего вентилятора.

По номограммам на рис.1-9 можно определять также сопротивление сети и осуществлять подбор вентилятора в случае установки его только у портала.

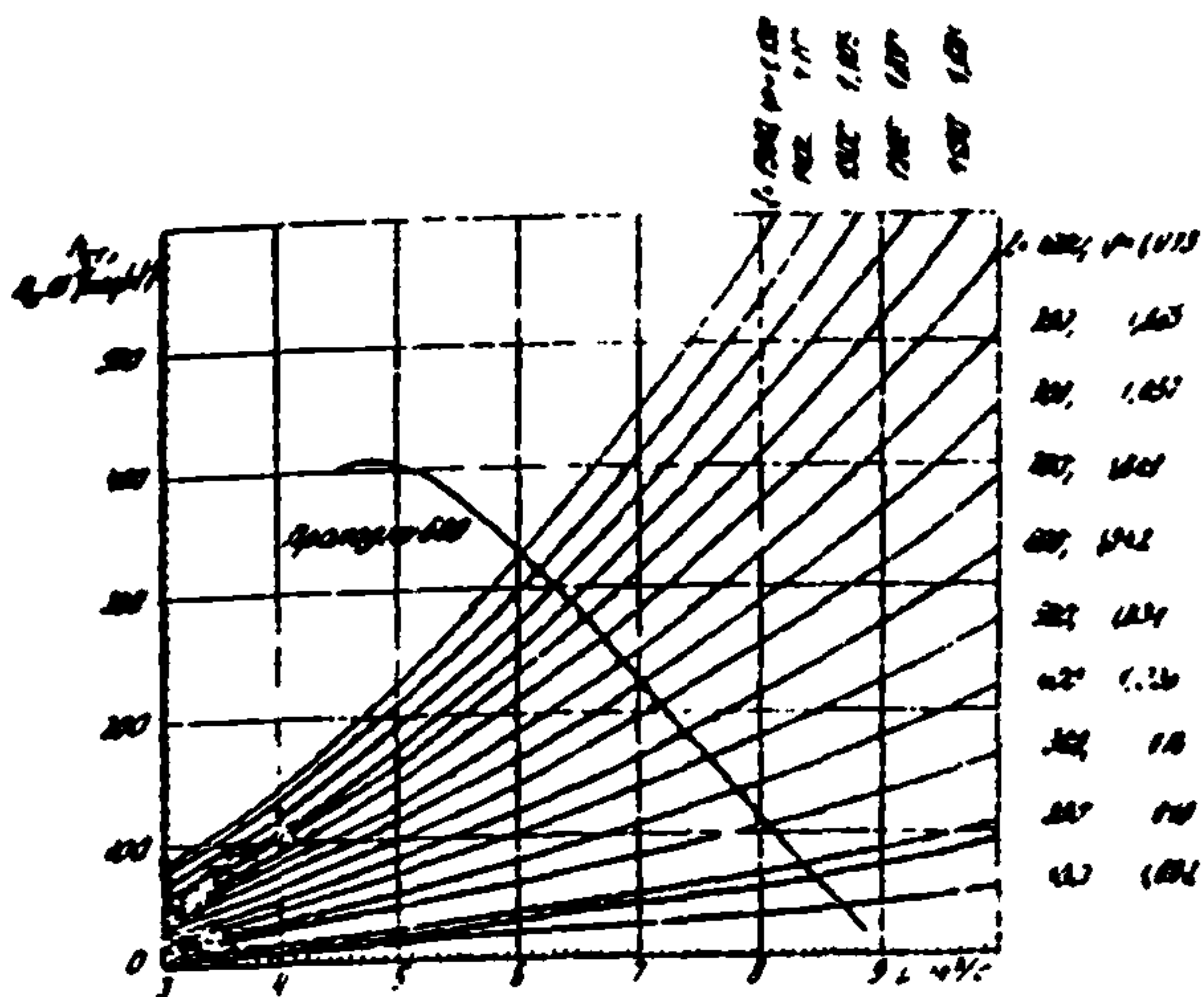


Рис.3. Воздуховоды с $d = 0,8 \text{ м}$; $m = 9 \text{ м}$; $\kappa_0 = 0,00005$

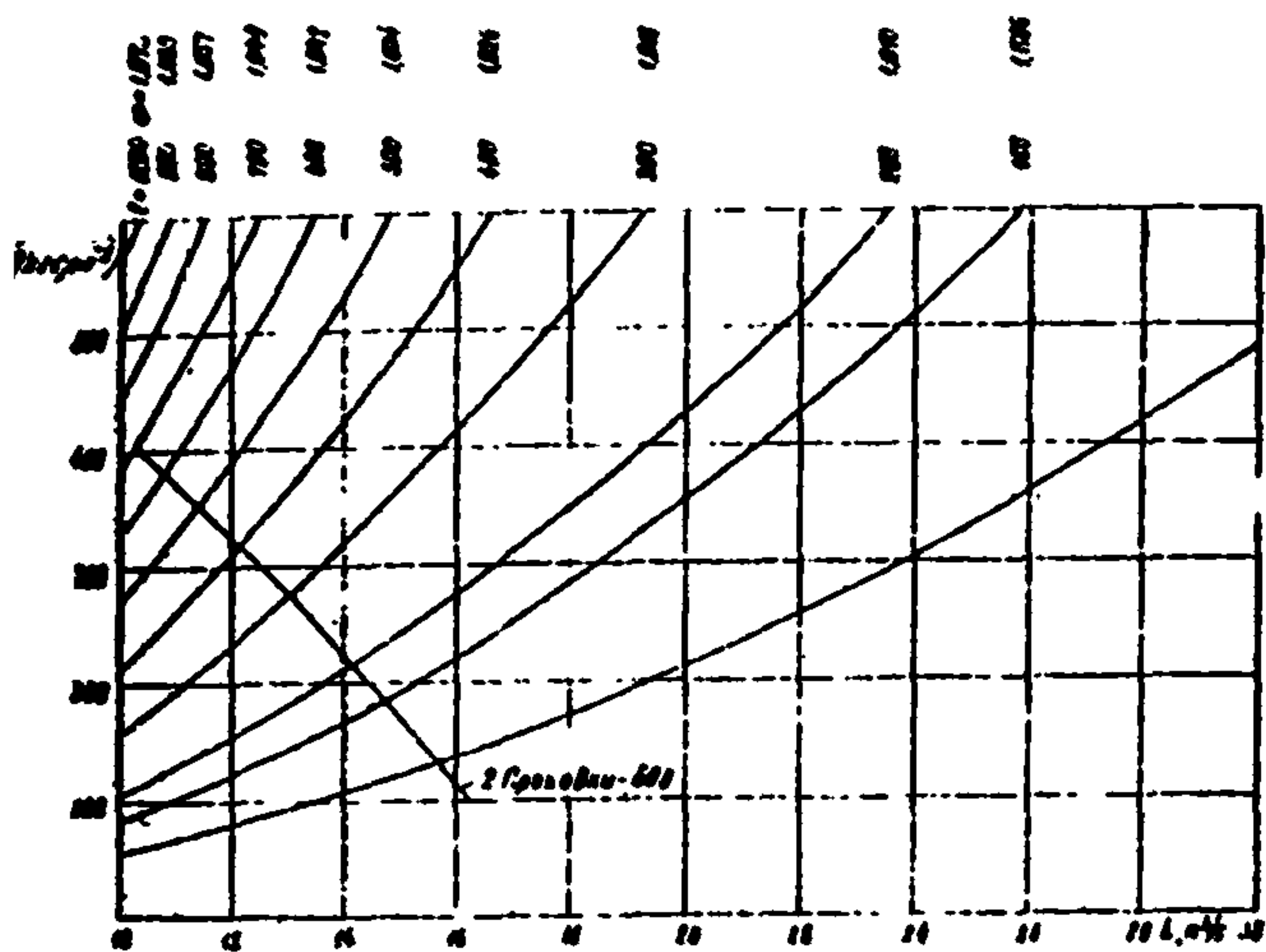


Рис.4. Воздуховоды с $d = 0,8 \text{ м}$; $m = 9 \text{ м}$; $\kappa_0 = 0,00005$
(продолжение номограммы рис.3)

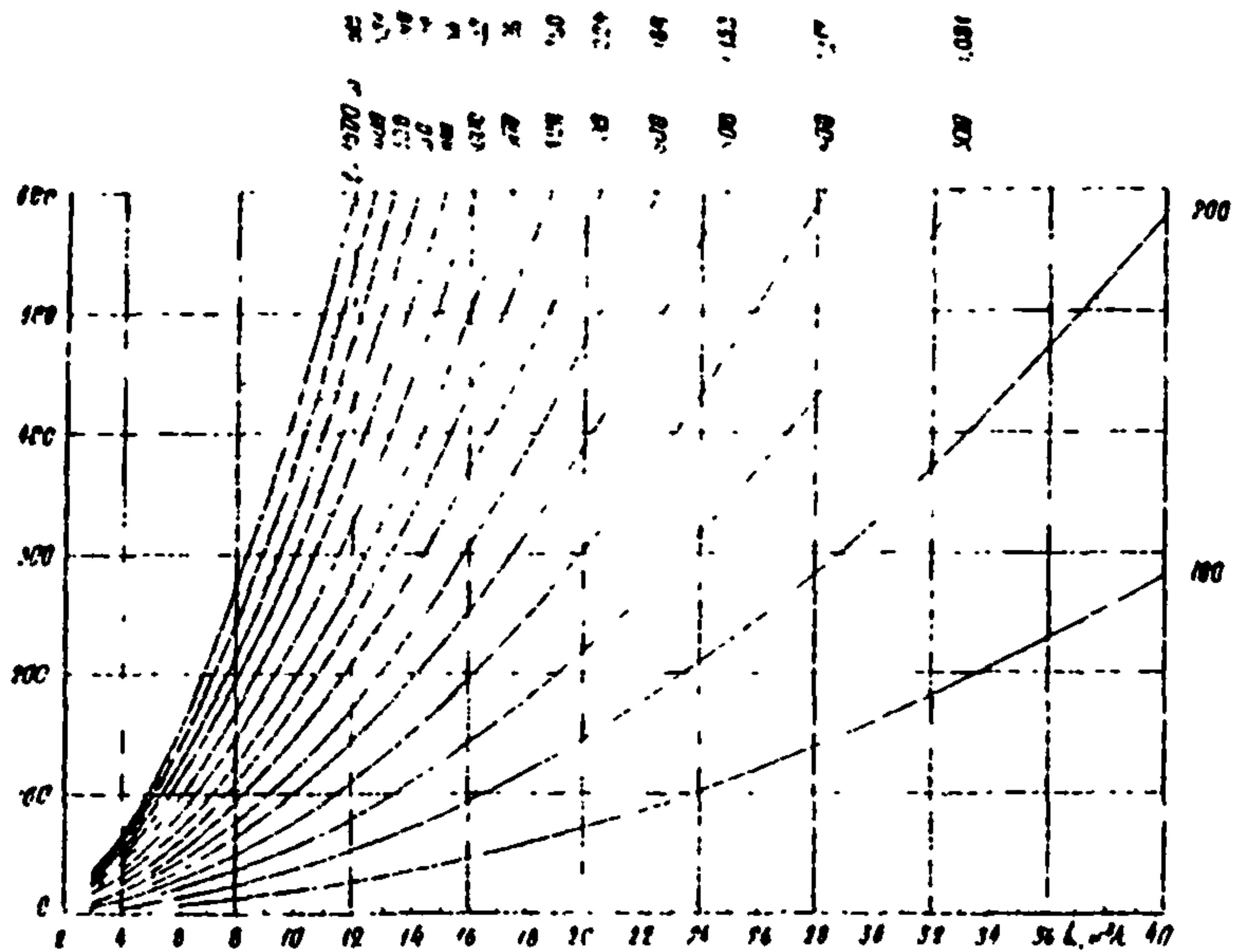


Рис.5. Воздуховоды с $d = 1,0$ м; $l = 3$ м; $\kappa_0 = 0,001$

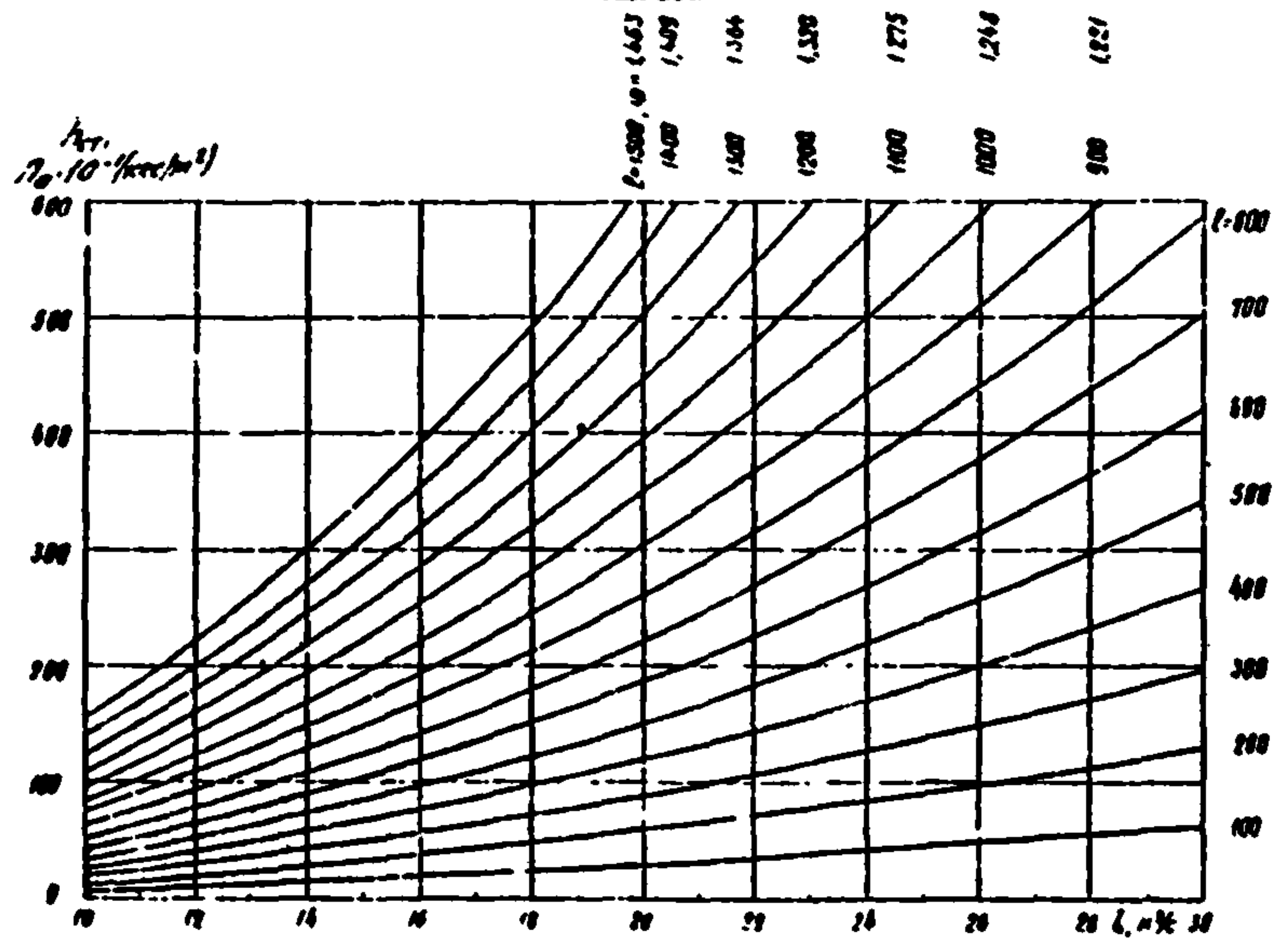


Рис.6. Воздуховоды с $d = 1,2$ м; $l = 3$ м; $\kappa_0 = 0,001$

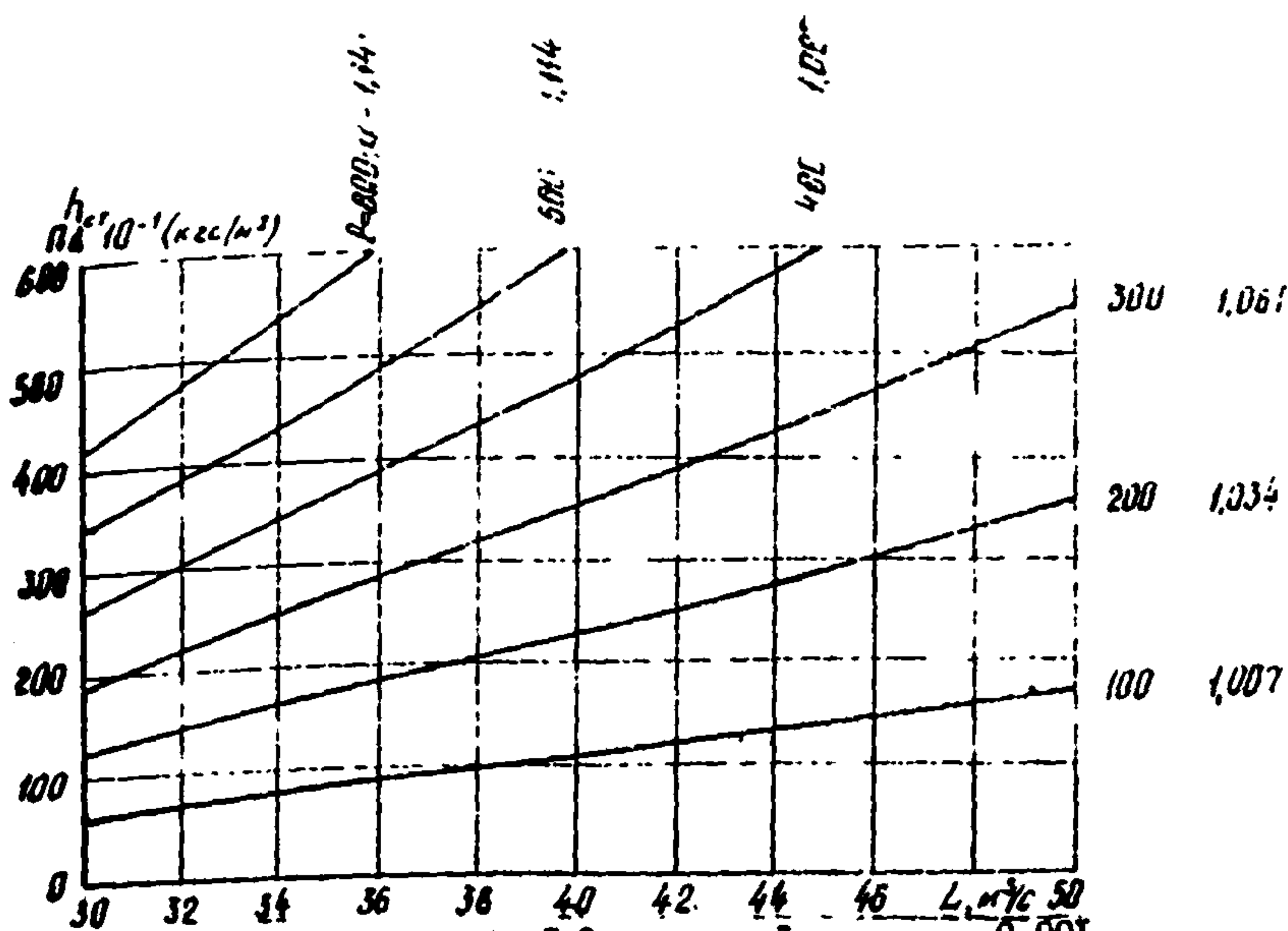


Рис. 7. Воздуховоды с $d = 1,2$ м; $m = 3$ м; $\kappa_0 = 0,001$
(продолжение номограммы рис. 6)

Для более точного расчета, а также для воздуховодов, размеры которых не предусмотрены номограммами, можно пользоваться формула-

$$h = R \varphi L^2, \quad \text{Па (кгс/м}^2\text{)};$$

$$R = 8,5 \alpha \frac{L}{d^5}, \quad \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^6} \left(\frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^6} \right);$$

$$\varphi = \left(\frac{1}{3} \kappa_0 \frac{d}{m} \sqrt{R} + 1 \right)^2,$$

α - коэффициент сопротивления воздуховода;

для d от 0,5 до 0,7 м $\alpha \cdot 10^4 = 82 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} \left(3,2 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} \right);$

от 0,8 до 0,9 м $\alpha \cdot 10^4 = 27 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} \left(2,7 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} \right);$

от 1 до 1,2 м $\alpha \cdot 10^4 = 20 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} \left(2,0 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} \right)$

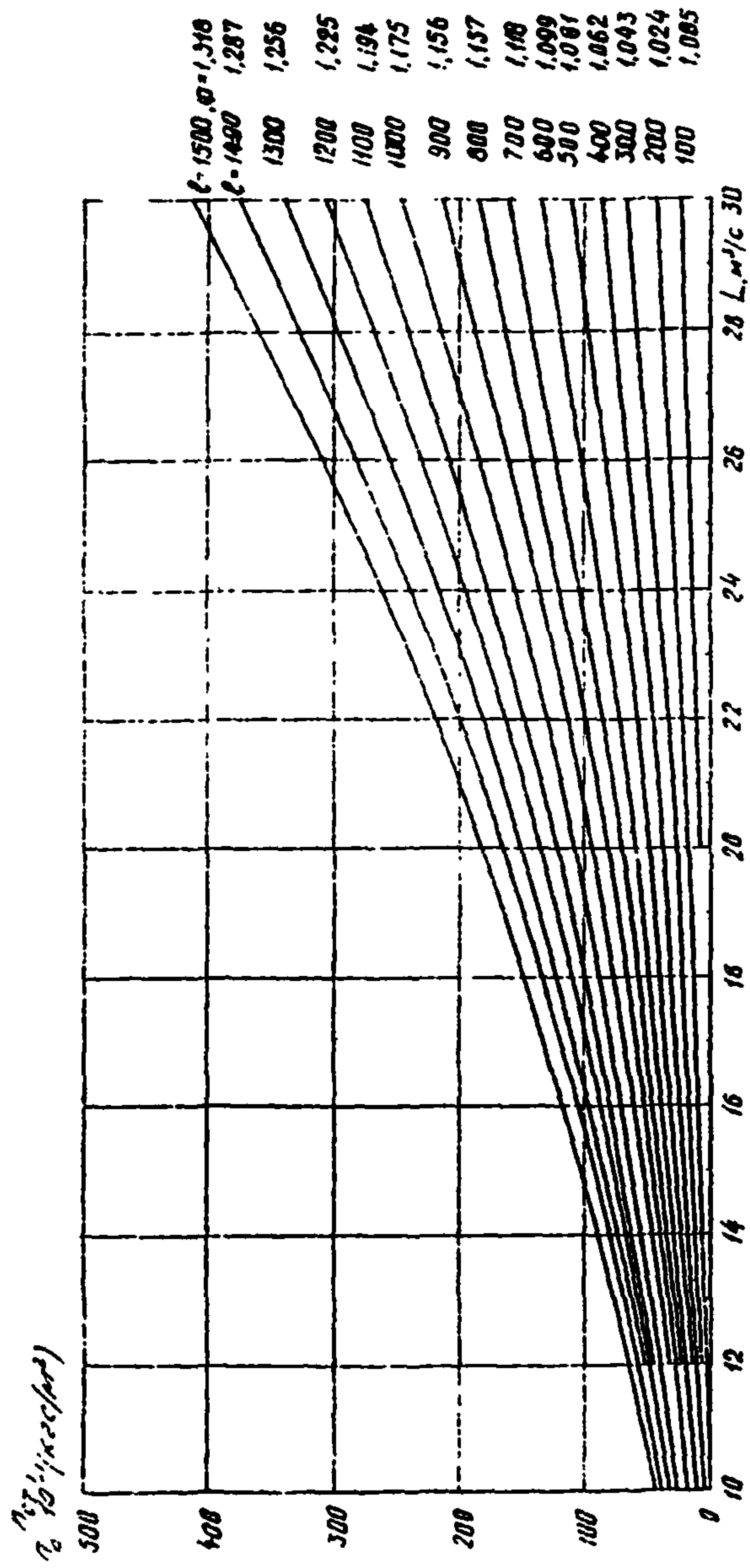


Рис. 8. Воздуховоды с $d = 1,5$ м; $m = 3$; $\kappa_n = 0,001$

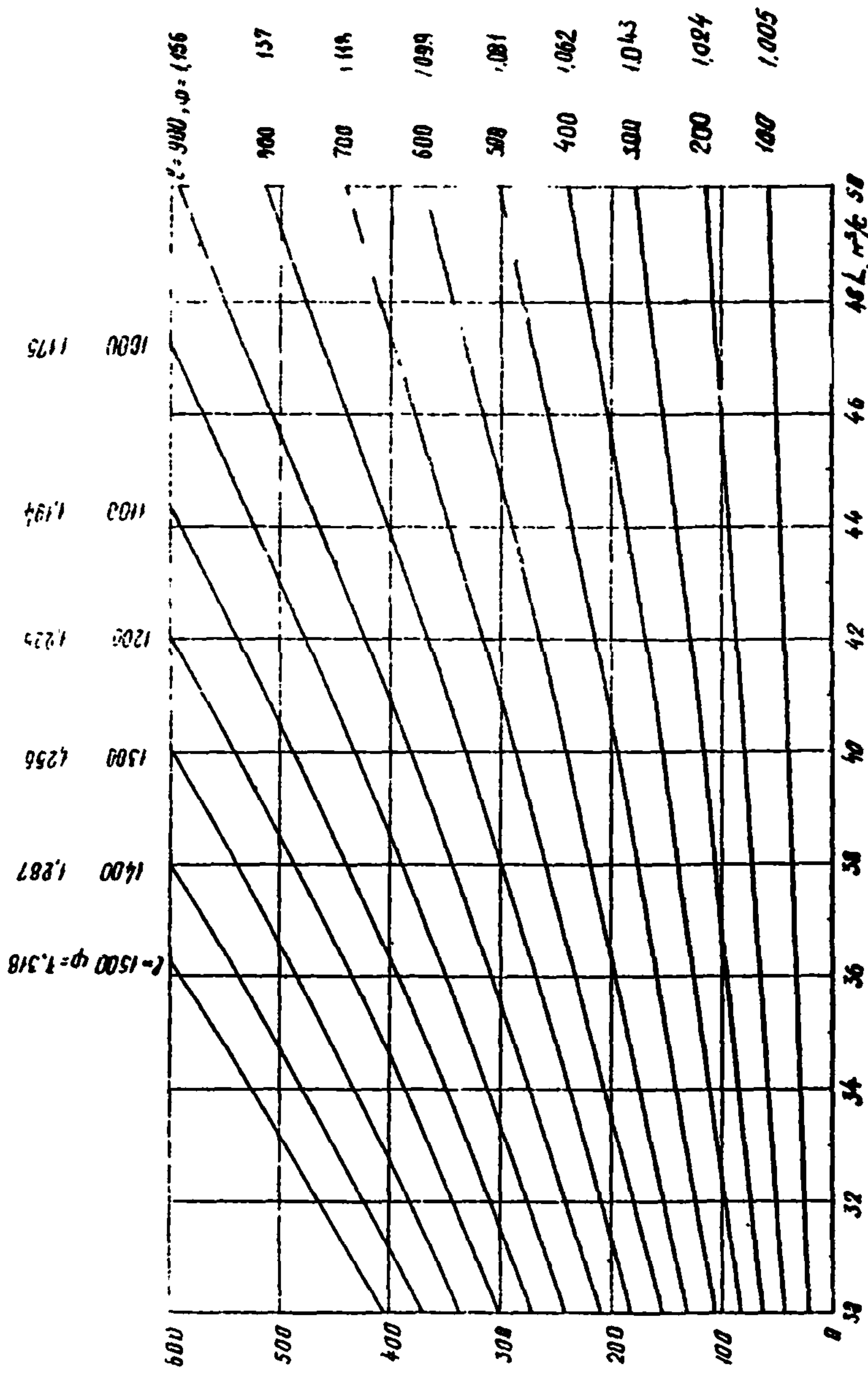


Рис. 9. Вентиляторы с $d = 1,5 \text{ м}$; $l = 1500 \text{ м}$; $\kappa_0 = 0,001$

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕВЫХ ТРУБ

Тип труб	Основа	Покрытие	Масса 1 м^2 материала, кг	Срок службы, мес.
МУ	Чофэр	Двухстороннее негорючей резиной	1,5	22-24
ПХВ	- " -	Двухстороннее полихлорвиниловое	1,2-1,4	24-26
ПХВ-К	Высокопрочный капрон	Одностороннее полихлорвиниловое	1,0-1,1	28-30
ЧЛХВ	Комбинированная ткань	Двухстороннее полихлорвиниловое	1,0-1,2	26-28
ЧЛХР	То же	Двухстороннее негорючей резиной	1,1-1,2	26-28
ЛХВ	Лавсан	Одностороннее полихлорвиниловое	-	28-30
ЧЛХВ-У	Комбинированная ткань	Двухстороннее поливинилхлоридной смесью с добавлением углерода	1,0-1,2	26-28

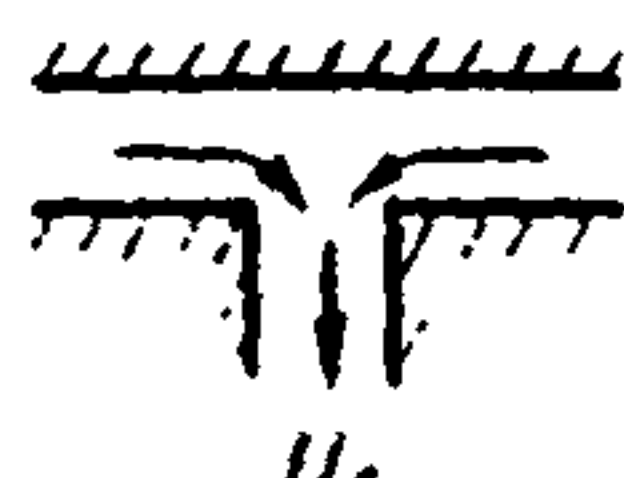
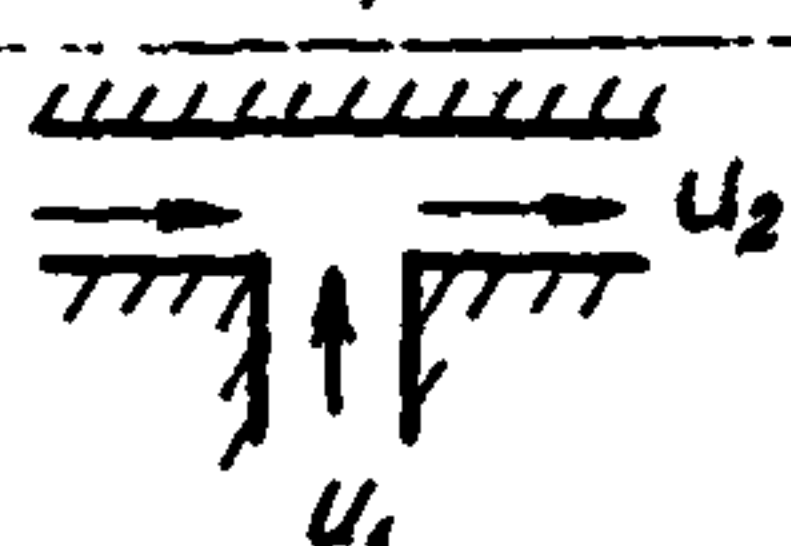
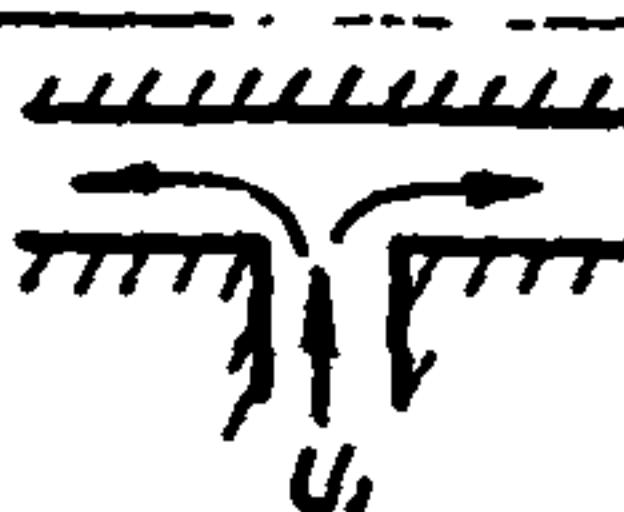
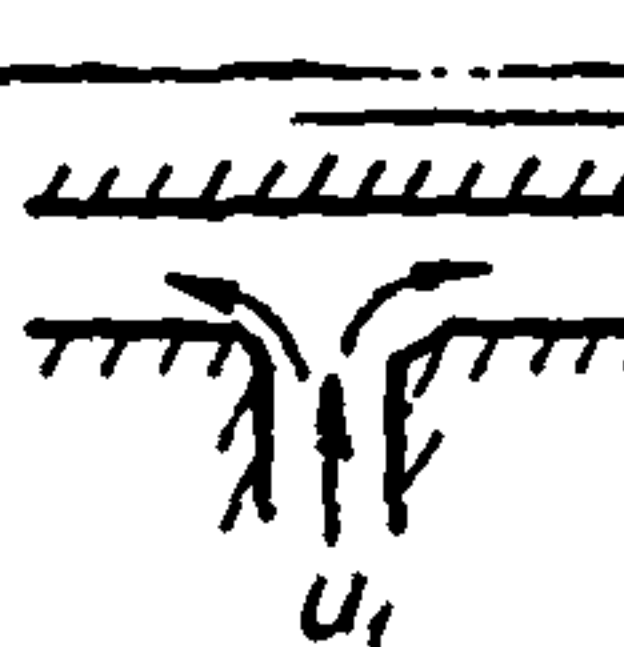
Диаметры выпускаемых труб 400, 500, 600, 800, 1000 и 1200 мм.

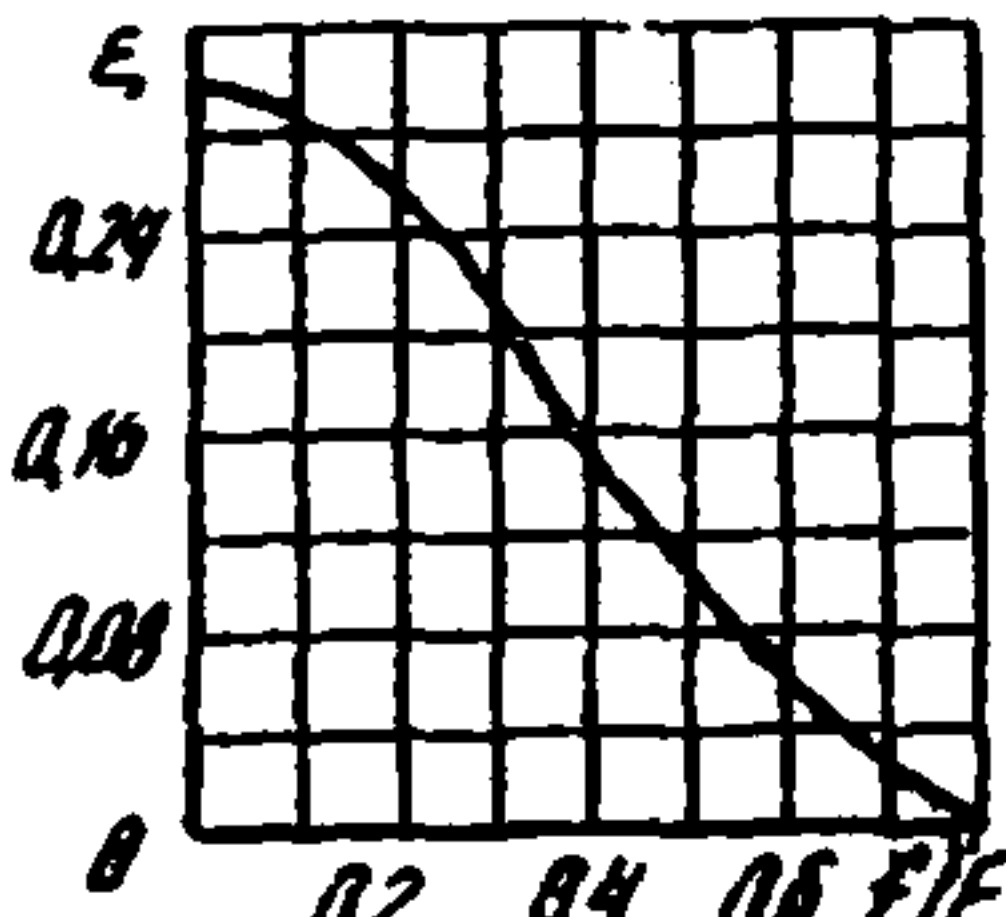
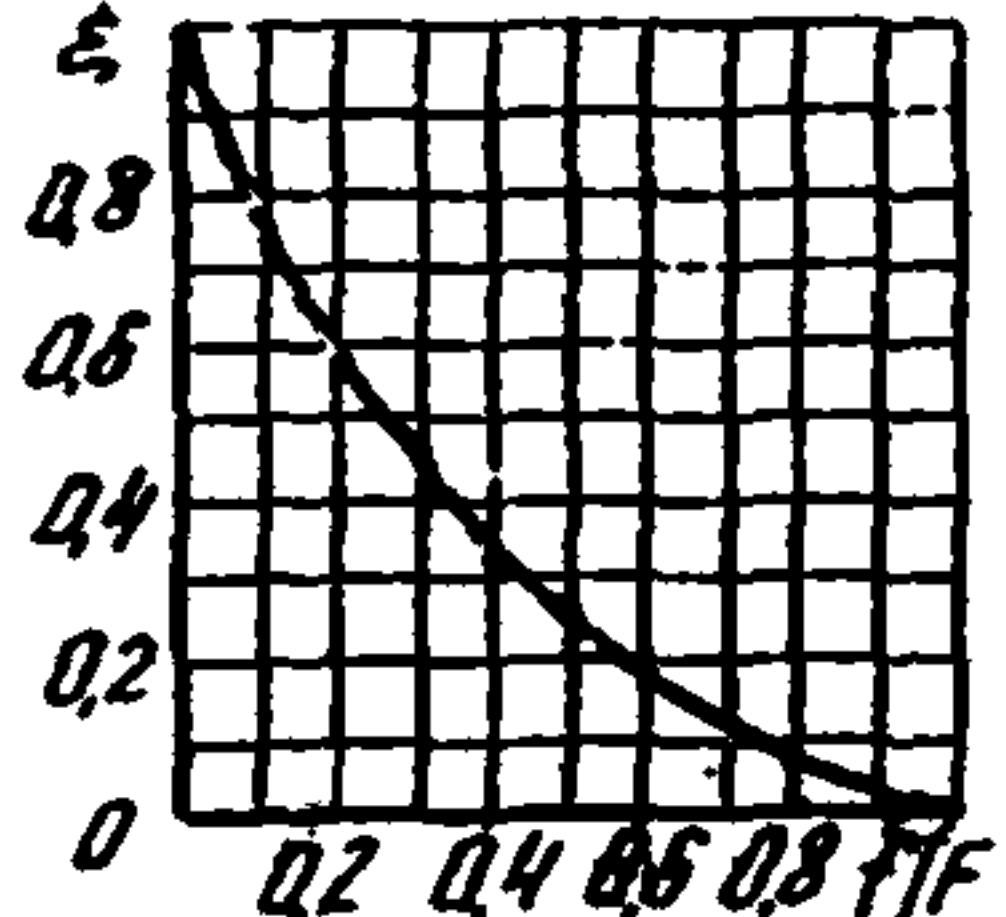
Длина звеньев для диаметров 400 и 500 мм - 5, 10, 20, 30 и 40 м;

для диаметров 600 мм - 5, 10, 20 м;

для диаметров 800-1200 мм - 5 и 10 м.

КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
ВЫРАБОТКИ

№ п/п	Название, форма	Коэффициент местного сопротивления	
I	Сопряжения	Значения ζ относятся к скорости	
		U_1	U_2
		$\zeta = 3,6$	$\zeta = 0,4$
		$\zeta = 2,0$	-
		$\zeta = 2,0$	-
		$\zeta = 2,6$	$\zeta = 0,6$
		$\zeta = 2,5$	-
		$\zeta = 1,5$	-

№ п/п	Название, форма	Коэффициент местного сопротивления														
2	Внезапное сужение 	Значения ζ отнесены к скорости U в сечении f  <table><thead><tr><th>f/F</th><th>ζ</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.0</td><td>0.50</td></tr><tr><td>0.2</td><td>0.36</td></tr><tr><td>0.4</td><td>0.24</td></tr><tr><td>0.6</td><td>0.14</td></tr><tr><td>0.8</td><td>0.06</td></tr><tr><td>1.0</td><td>0.00</td></tr></tbody></table>	f/F	ζ	0.0	0.50	0.2	0.36	0.4	0.24	0.6	0.14	0.8	0.06	1.0	0.00
f/F	ζ															
0.0	0.50															
0.2	0.36															
0.4	0.24															
0.6	0.14															
0.8	0.06															
1.0	0.00															
3	Внезапное расширение 	Значения ζ отнесены к скорости U в сечении f  <table><thead><tr><th>f/F</th><th>ζ</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.0</td><td>1.00</td></tr><tr><td>0.2</td><td>0.64</td></tr><tr><td>0.4</td><td>0.36</td></tr><tr><td>0.6</td><td>0.16</td></tr><tr><td>0.8</td><td>0.04</td></tr><tr><td>1.0</td><td>0.00</td></tr></tbody></table>	f/F	ζ	0.0	1.00	0.2	0.64	0.4	0.36	0.6	0.16	0.8	0.04	1.0	0.00
f/F	ζ															
0.0	1.00															
0.2	0.64															
0.4	0.36															
0.6	0.16															
0.8	0.04															
1.0	0.00															
4	Поворот под прямым углом с острыми кромками 	$\zeta = 1.4$														

СПОСОБЫ УПЛОТНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ

Повышенная воздухопроницаемость воздуховодов обычно обнаруживается в процессе их эксплуатации (хотя дефект мог возникнуть и при сборке), когда перемонтаж связан с нарушением вентиляции и прекращением проходки.

В ряде случаев восстановление герметичности возможно без перерывов или с короткими перерывами функционирования вентиляции, позволяющими продолжать строительные работы.

В таблице приводятся основные причины повышенных утечек и подсосов и даны рекомендации по их снижению.

Надо иметь в виду, что отыскание мест дефектов и их устранение, как правило, более трудоемки, нежели тщательный монтаж воздуховодов сначала.

№ п/п	Причина дефекта	Способы устранения
А. Стальные воздуховоды		
Монтажные дефекты		
1	Непроверенный шов	Защпеклевать нитрошпеклевкой, шпеклюемые места высушить Замазать кабельной мастикой (см. примечание 1)
2	Негодный материал для прокладок между фланцами (малая толщина, недостаточная упругость)	Для одиночного стыка: ослабить болты, расклинить концы труб, законопатить паккой или концами ветоши между фланцами, замазать его кабельной мастикой или зачеканить расширяющимся цементом (РЦ), вбить клинья, подтянуть ослабленные болты без натяга (см. примечание 2) Для многих стыков: проконопатить каждый стык (см. описание для одиночного стыка), высушить, обмазать кабельной мастикой, оклеить мешковиной, покрасить сверху кабельной мастикой (см. примечание 3)
3	Порванная межфланцевая прокладка	Зачеканить место разрыва кабелкой или концами, пропитанными кабельной мастикой

№ п/п	Причина дефекта	Способы устранения
4	Вмятины на фланцах	Вмятину зачеканить РЦ
5	Попытые концы труб при бендажном соединении	При небольших вмятинах снять бендаж, выравнять впадину нанесением на нее нужного количества слоев материала, примененного для прокладки (см. примечание 4) При наличии выпуклости (вмятины с внутренней стороны) снять бендаж, выправить бугор кувалдой и устранить неровности
6	Несоответствующая овальность труб	Снять бендаж, дополнительно уложить слой прокладочного материала так, чтобы его стик был сдвинут не менее чем на 1/4 окружности от стыка ранее поставленного материала
7	Недостаточное прилегание прокладочного материала к трубам Слабая затяжка болтов бендажа	Снять бендаж и прокладку, установить заново, заменив последнюю Затянуть болты
Эксплуатационные дефекты		
8	Осадка опор воздухопровода при фланцевом соединении	Ослабить болты, выровнять воздухопровод на опорах установкой прокладок (так, чтобы не было перелома воздухопровода), затянуть болты
9	Осадка опор воздухопровода при бендажном соединении	Снять бендаж, выровнять воздухопровод, уложить дополнительный прокладочный слой (см. п. 6), поставить бендаж
10	Механические повреждения (попытость околостыковых участков)	Снять болты с фланцев или бендаж, вынуть его, выправить его и поставить на место
11	Расстройство стыков (старение прокладок, см. примечание 5)	В бендажном соединении заменить прокладку, при фланцевом соединении см. п. 2

№ п/п	Причины дефекта	Способы устранения
Б. Тканевые воздухопроводы		
1	Пропуск воздуха в стыках. Недостаточное натяжение воздухопровода	Увеличить статическое давление в воздухопроводе, поставив на выходе из него диафрагму
2	Износ местами покрытия из ткани	Подшить заплату соответственно инструкции по эксплуатации

П р и м е ч а н и я: 1. Каболяная мастика готовится из нефтяного битума марки 5 - 3 части, машинного масла (можно отработанного) марки АС-8 I часть и летекса (желательная добавка) 0,2 части.

Состав варится до окончания выделения пены и наносится в жидком состоянии.

В качестве заменителя может применяться бутепрод.

2. Мешковина должна закрывать гребни фланцев и прилегающие к ним участки трубопроводов не ширину не меньшую, чем 5 см и по всей поверхности быть приклепанной; покрытие мешковины мастикой сверху должно быть такой толщины, чтобы структура ткани не была видна.

3. Наличие выгибов и достаточность их исправления целесообразно устанавливать с помощью шаблона, имеющего форму неполного полукольца.

4. Стерение и обжатие прокладок особенно вероятно при фланцевых соединениях, работающих многократных переменных температурных деформаций воздухопроводов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Параметры	Единица измерения	Типоразмеры		
		ВЛП-4	ВМП-5	ВМП-3
Диаметр рабочего колеса	мм	400	500	300
Производительность	м ³ /мин	85	120	45
Давление	Па (кгс/м ²)*	1400 (140)	1500 (150)	1250 (125)
Коэффициент полезного действия вентилятора		0,70	0,71	0,62
Рабочее давление скважного воздуха (воды)	МПа (кгс/см ²)	0,5(5)	0,5(5)	
Расход скважного воздуха (воды)	м ³ /мин	4	6	
Габаритные размеры:	мм			
длина		300	300	-
высота		556	680	450
ширина		500	660	450
Масса	кг	50	75	Проект

* Здесь и далее при указании величины давления (давления) в новой и старой системах измерения принято, что 1 кгс/м² ~ 10 Па.

Аэродинамические характеристики вентиляторов, рекомендуемых в тоннелях, приведены на рис. 1-8.

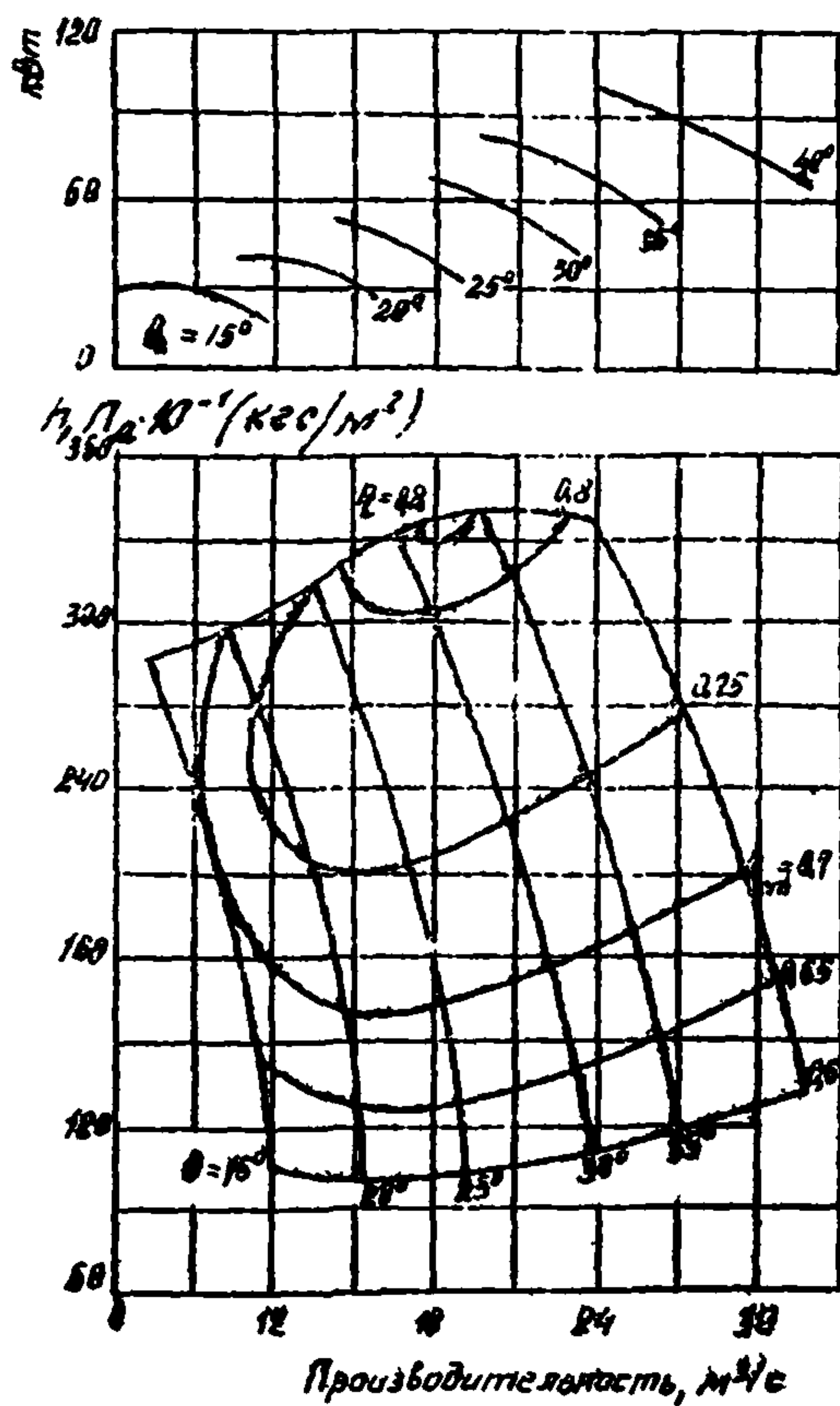


Рис. 1. Аэродинамические характеристики компрессора ВД-11 при $n = 1420 \text{ об/мин}$

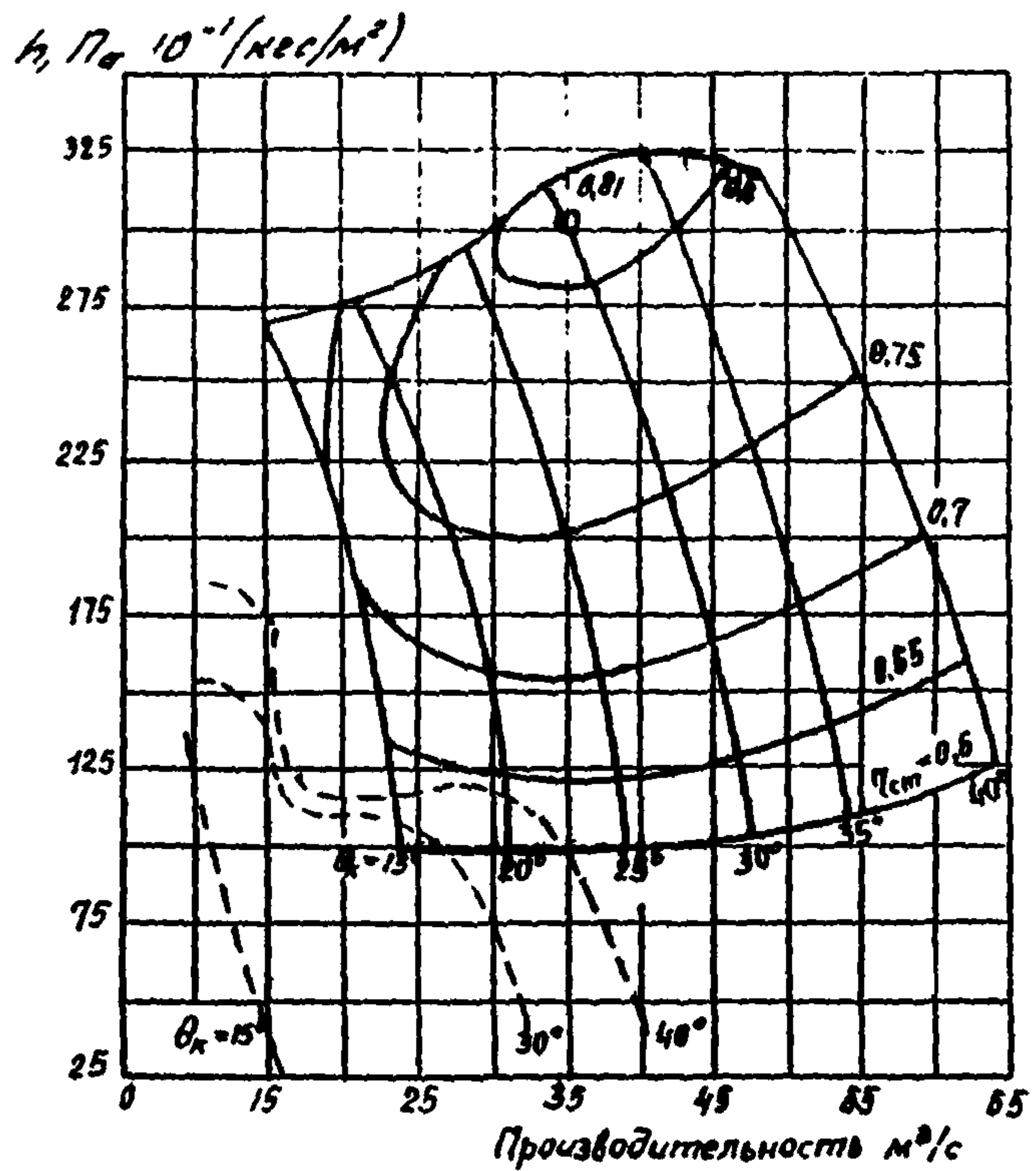
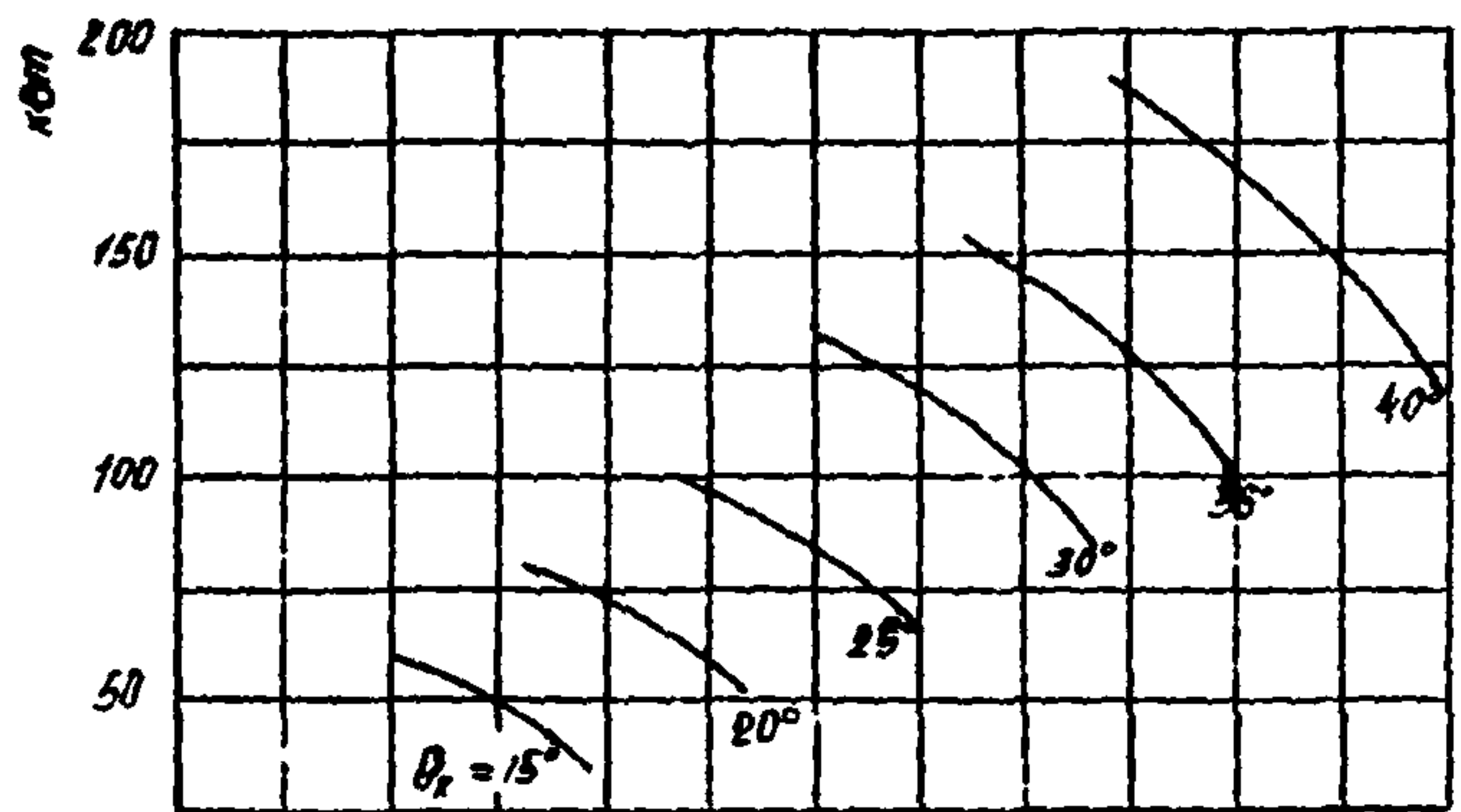


Рис.2. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-16 при $n = 980$ об/мин

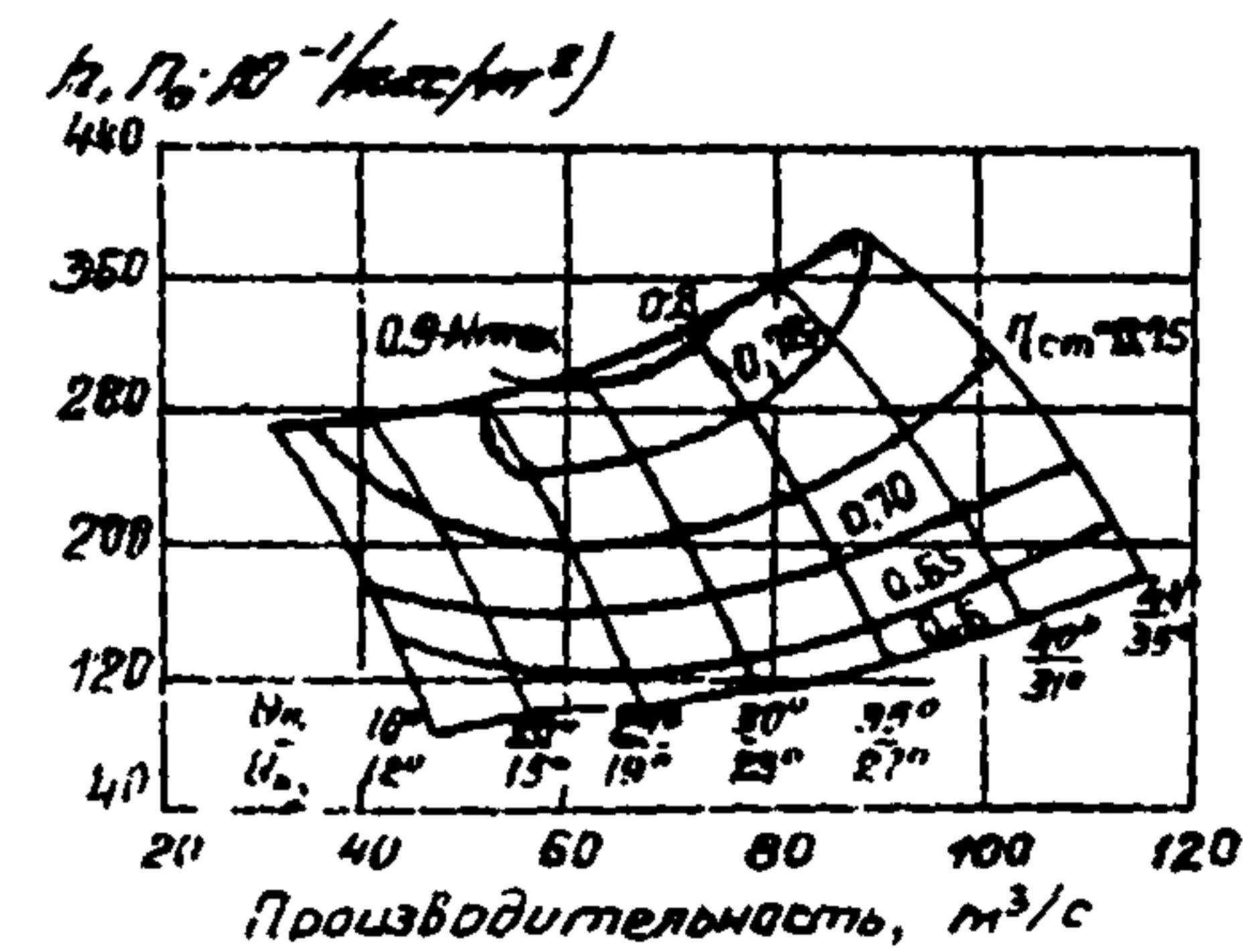
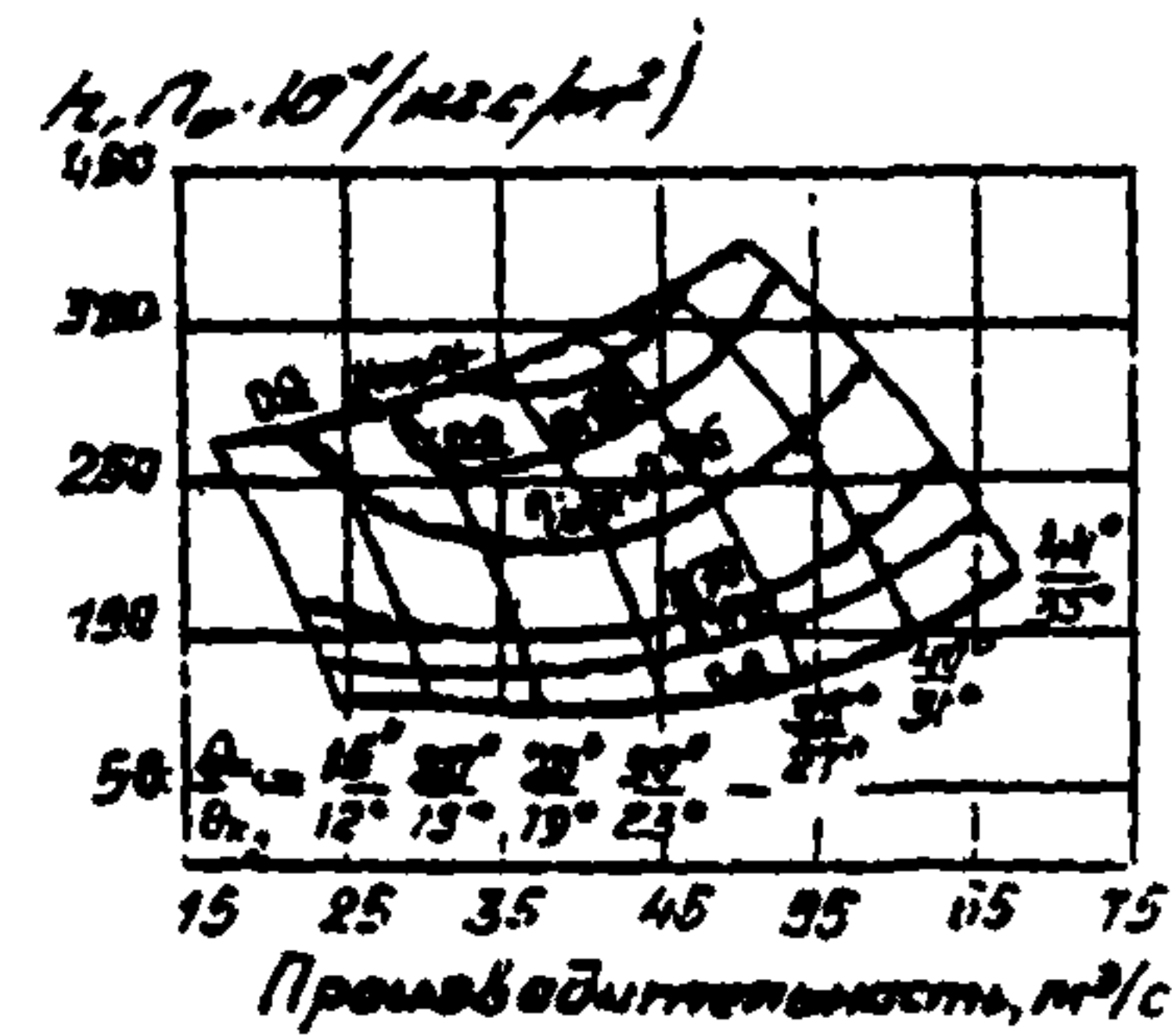
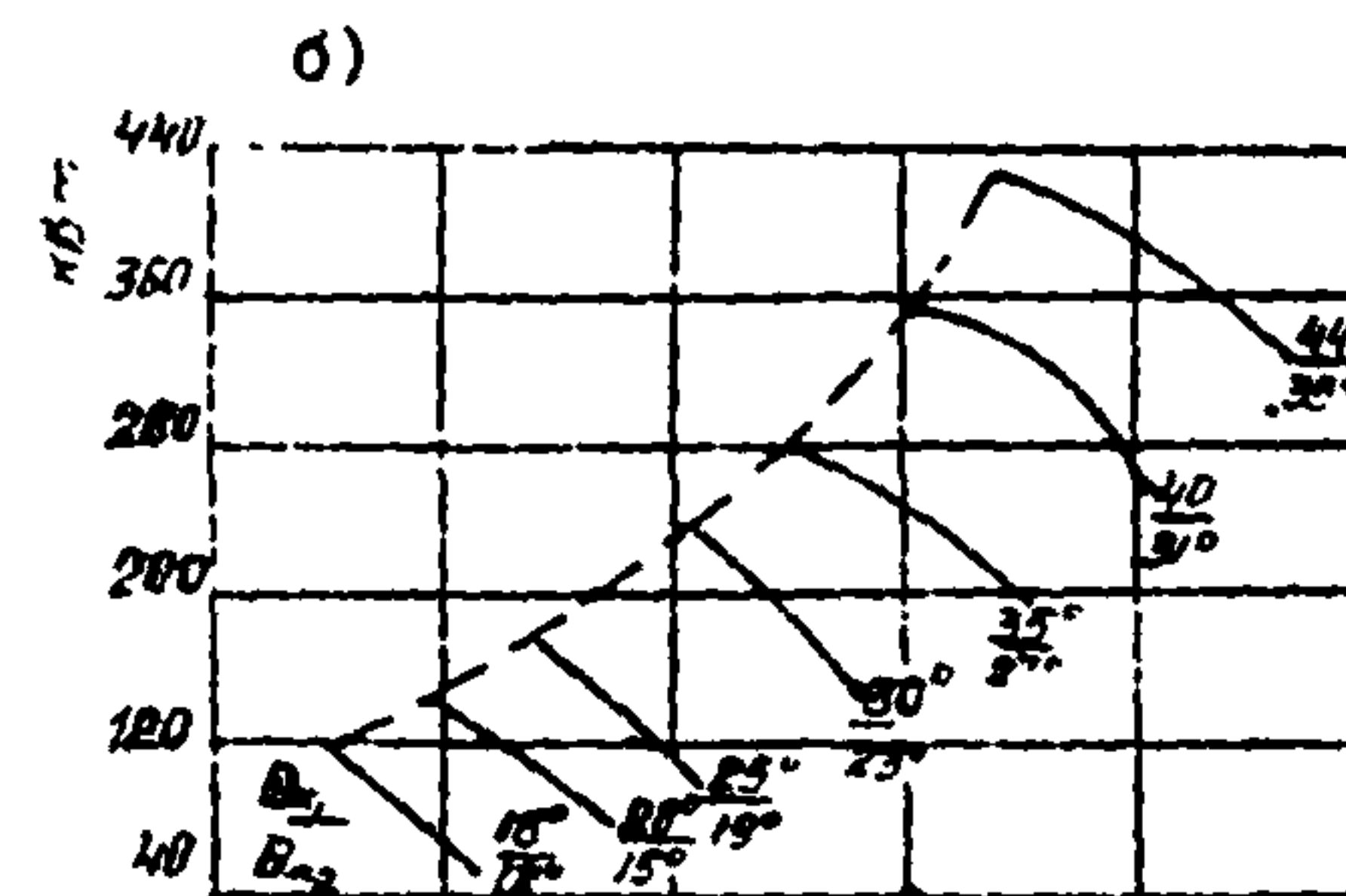
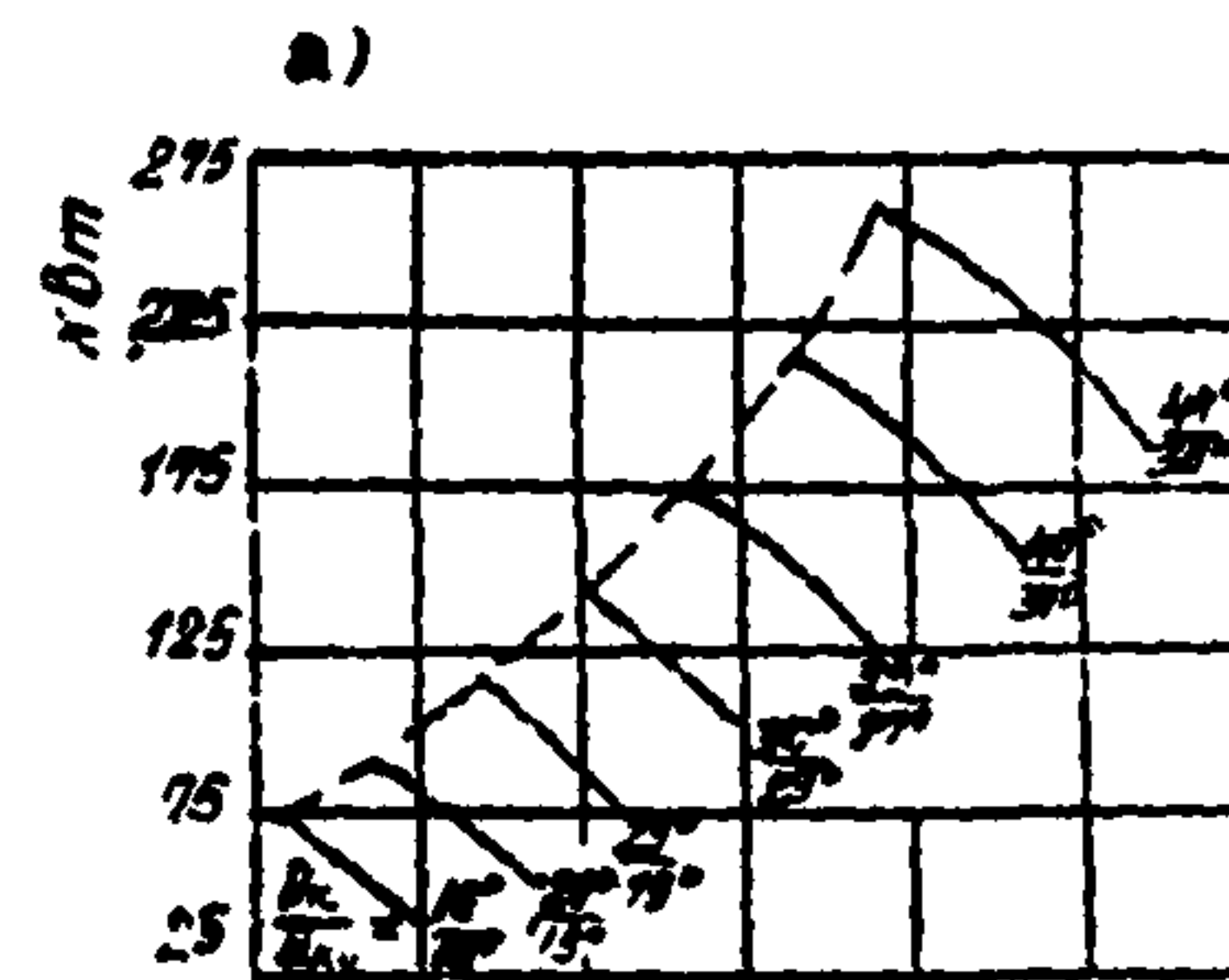


Рис. 3. Аэродинамические характеристики вентиляторов:
 а - ВВВ-16 при $n = 980$ об/мин; б - ВВВ-21 при
 $n = 750$ об/мин

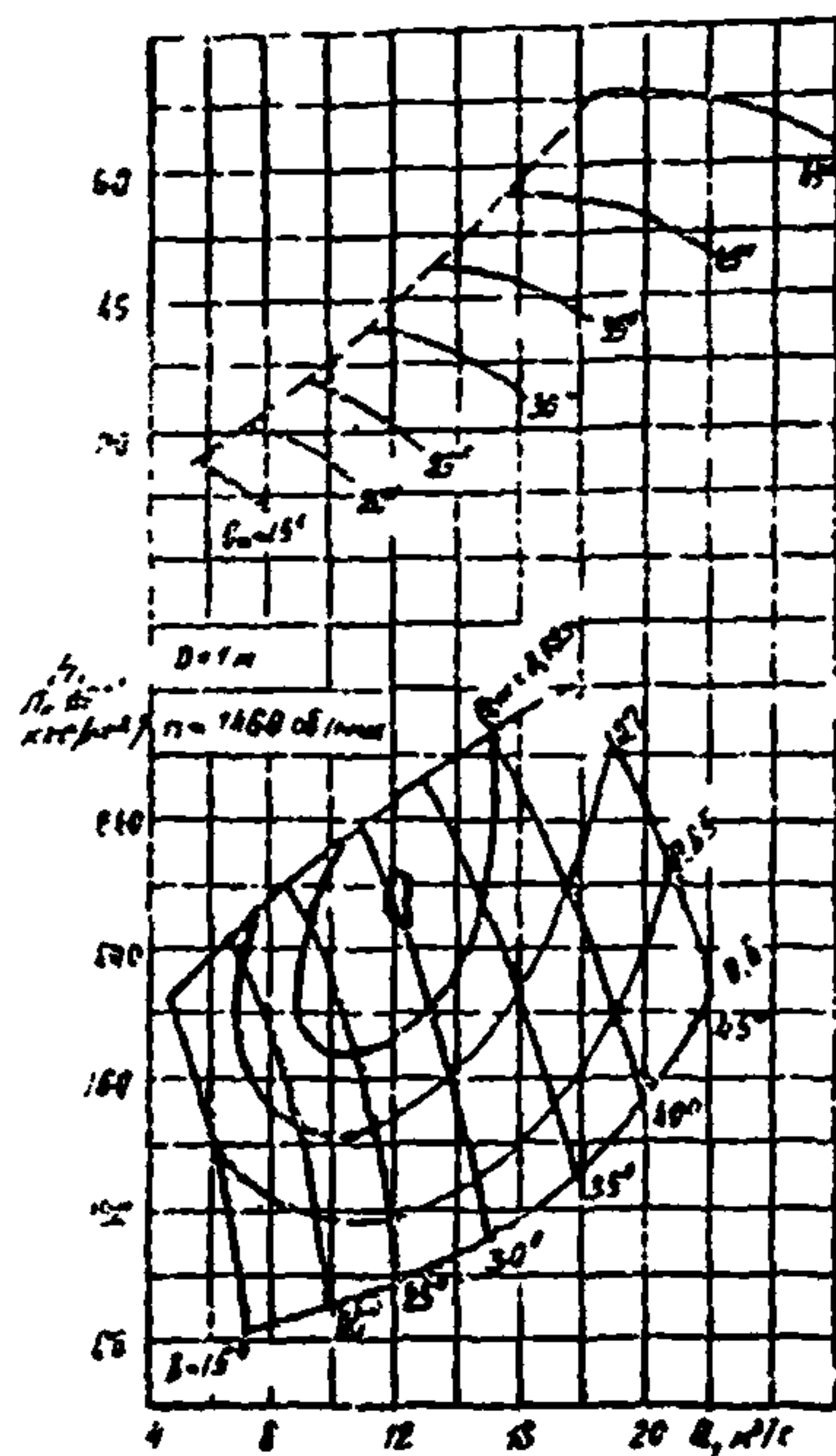
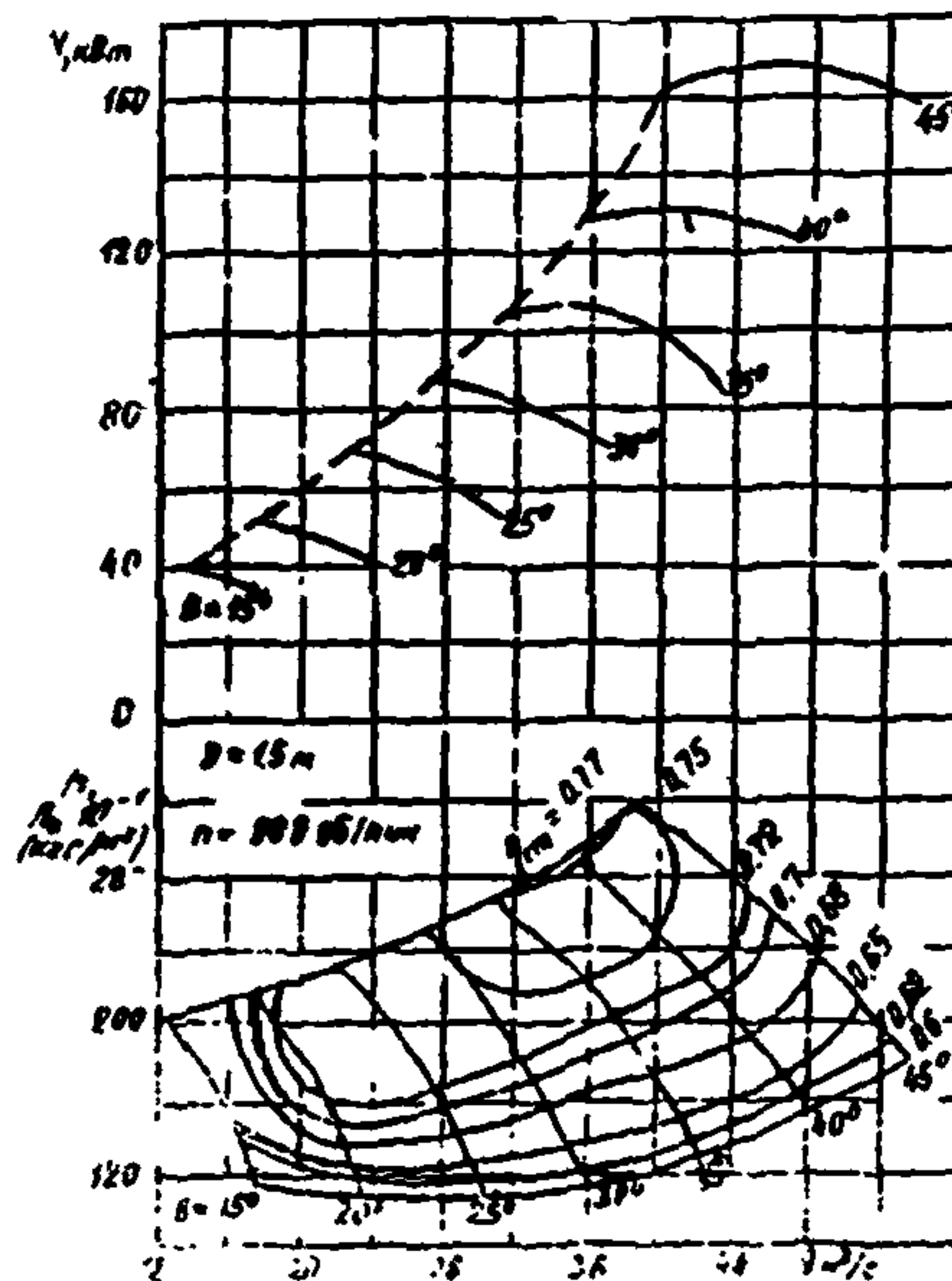


Рис. 4. Аэродинамические характеристики вентилятора БОКД-1,0 при $n = 1460 \text{ об/мин}$

Рис. 5. Аэродинамические характеристики вентиляторов БОКД - 1,5 при $n = 980 \text{ об/мин}$



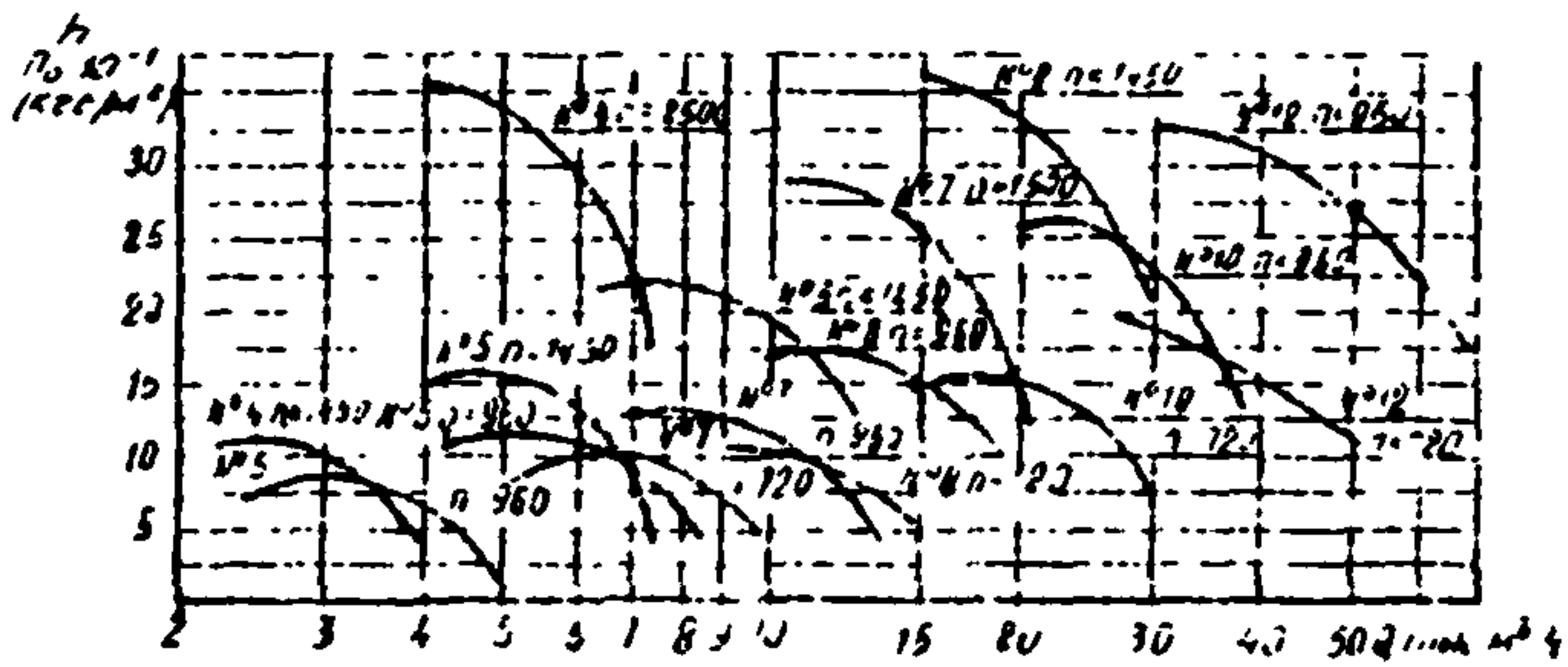


Рис.6. Аэродинамические характеристики вентиляторов III

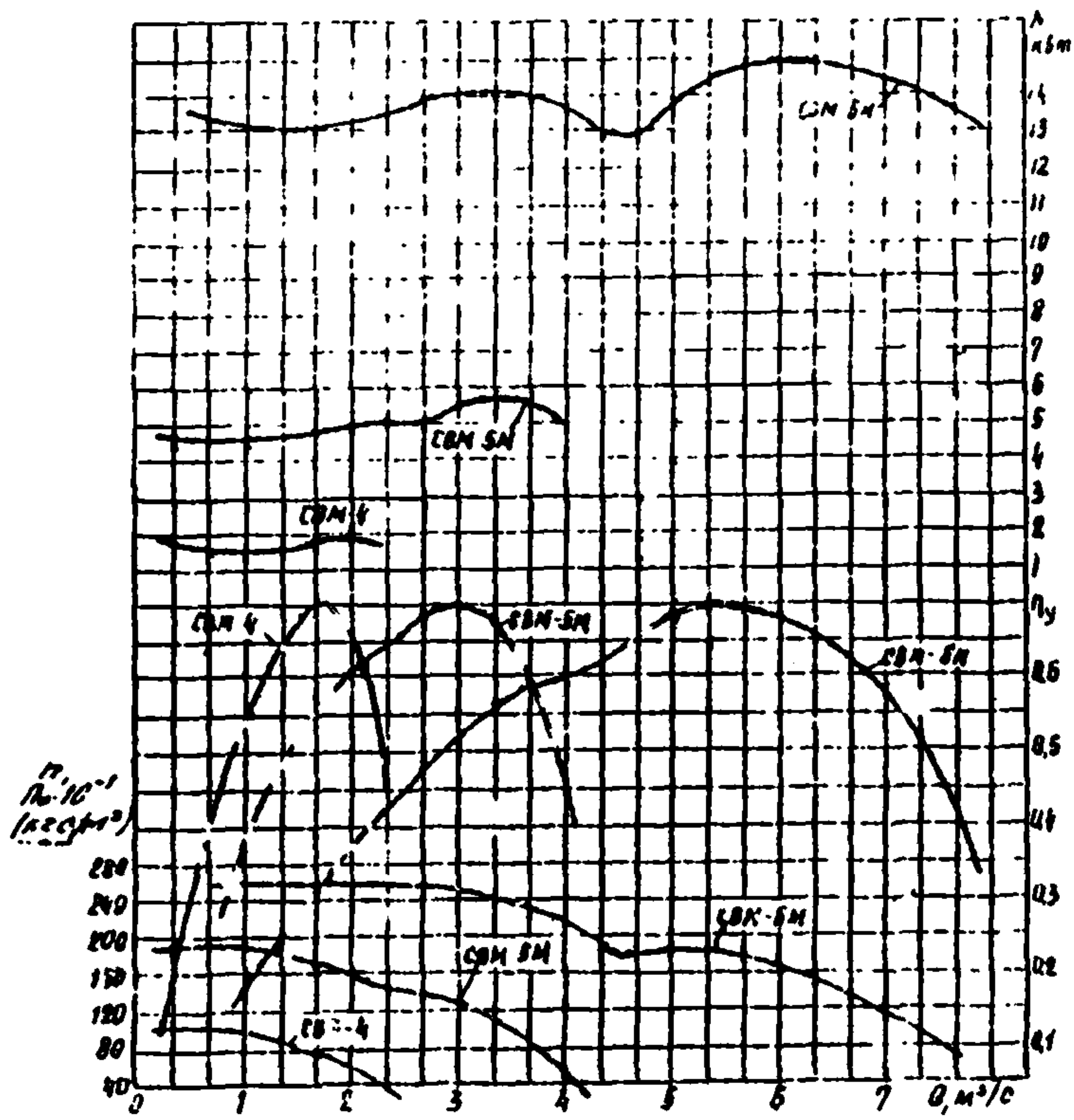


Рис.7. Аэродинамические характеристики вентиляторов CBM

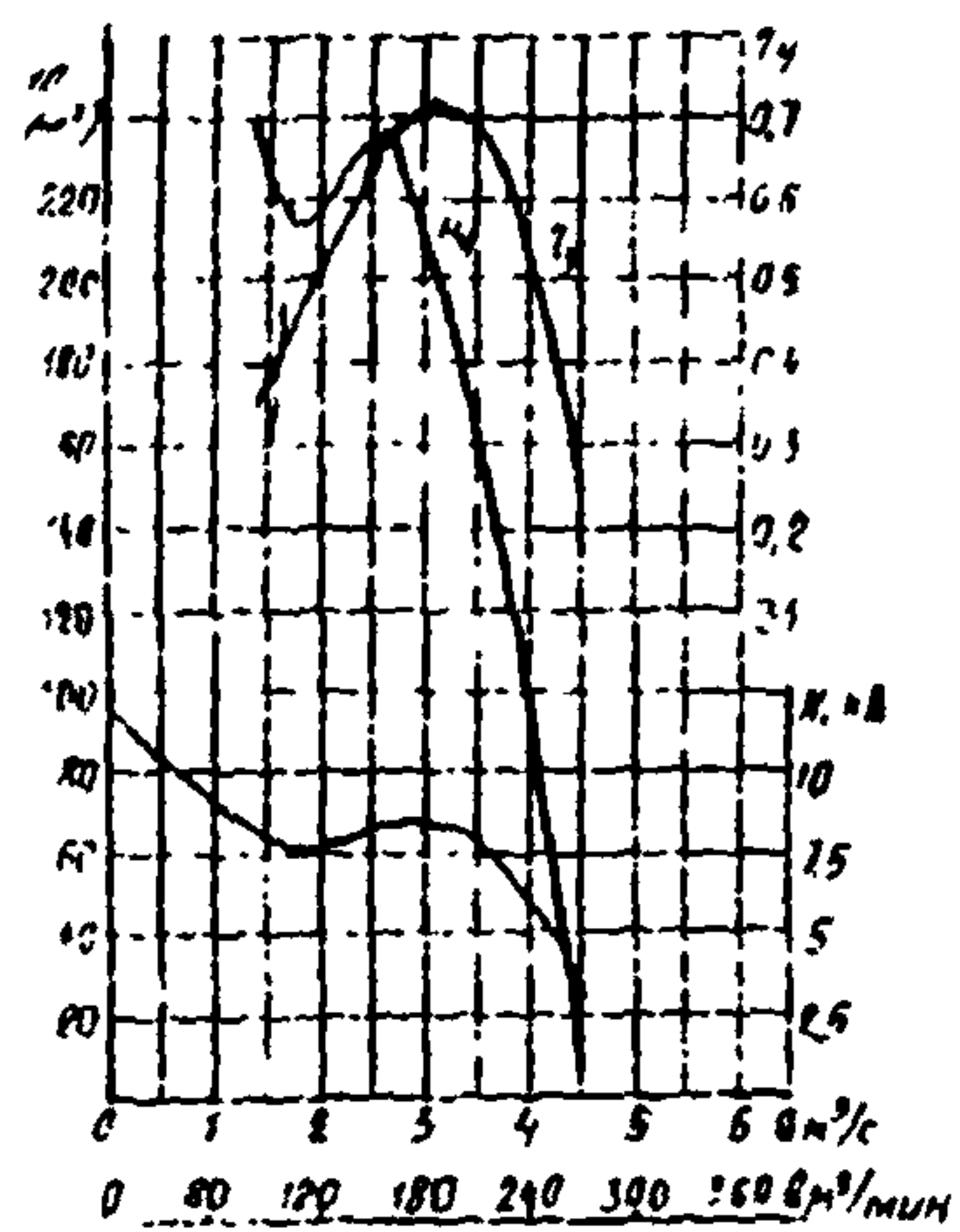


Рис. 8. Аэродинамические характеристики вентилятора "Проходка-500-2М"

Приложение 14

ПРИМЕР РАСЧЕТА МОЩНОСТИ КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

И с х о д н ы е д а н н ы е:

Диаметр выработки $d = 8,5 \text{ м};$
Периметр выработки $P = 26,69 \text{ м};$
Площадь поперечного сечения $F_p = 56,72 \text{ м}^2;$
Эквивалентный радиус $R_{\text{эк}} = 4,25 \text{ м}.$

Первоначальная температура породы, окружающей выработку,
 $t = +5^\circ\text{C}$; коэффициент теплопроводности $\lambda_p = 1,9 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$
 $(= 2,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}))$, коэффициент температуропроводности
 $a = 0,00318 \text{ м}^2/\text{ч}$

В выработке осуществляется проточная вентиляция. Диаметр
воздуховода $d = 0,7 \text{ м}$; периметр $P = 2,2 \text{ м}$. По воздуховоду
подаётся $V = 10800 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. Расчетная температура на-
ружного воздуха $t_n = -42^\circ\text{C}$. В выработке следует обеспечить темпе-
ратуру не ниже $t_p = 10^\circ\text{C}$. Длина выработки $L_{\text{выр}} = 2500 \text{ м}$; срок
строительства 4 года или $\tau_p = 35040 \text{ ч}$.

Требуется определить мощность калориферных установок.

Температура нагрева воздуха в калориферах $t_{\text{кал}}$ вычисляется
по формуле (30)

$$t_{\text{кал}} = t_p + \frac{N(e^n + 1)}{e^n + 1 + 2M} (t_p - t_n), ^\circ\text{C}.$$

Определяем

$$N = 8,5 \ell \frac{P}{L} = 8,5 \cdot 2500 \frac{2,2}{10800} = 4,33;$$

$$e^n = 75,94.$$

Для определения величины M рассмотрим коэффициент тепло-
обмена породы с воздухом выработки по формуле (31):

$$K = 1,3 \frac{\lambda_p \left(1 + 0,27 \sqrt{\frac{a_p \tau_p}{R_{\text{эк}}^2}} \right)}{0,88 \sqrt{a_p \tau_p} + \frac{\lambda_p}{\alpha_n}} =$$

$$0,23 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (0,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})).$$

Здесь

$$\alpha_n = 4,5 \frac{L^{0,3} \rho^{0,2}}{F} = 4,5 \frac{3^{0,3} \cdot 26,69^{0,2}}{56,72} =$$

$$= 4,5 \frac{2,41 \cdot 1,928}{56,72} = 0,37 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$$

или $\alpha = 0,32 \text{ ккал/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$ ($0,37 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$).

Следовательно,

$$M = 2,88 \frac{\kappa_z P}{L} = 2,88 \cdot 2500 \frac{0,27 \cdot 26,69}{10800} = 4,75.$$

Отсюда

$$t_{\text{воз}} = 10 + \frac{4,75(75,94 + 1)}{75,94 + 2 \cdot 4,75} (10 - 5) = 10 + 21,1 = 31,1^\circ\text{С}.$$

Определяем мощность калориферных установок по формуле (29)

$$Q_n = 0,3L (t_{\text{воз}} - t_n) = 0,35 \cdot 10800(31,1 + 42) \approx 277000 \text{ Вт}.$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРООБЕСПЫЛИВАНИЯ

Средства борьбы с пылью	Эффективность
Бурение	
Бурение с промывкой	0,90-0,95
Нагнетание воды в породный массив	0,50-0,65
Бурение с применением кольцевого оросителя	0,75-0,90
Комплексное применение нагнетания воды в породу с кольцевым оросителем	0,92-0,95
Взрывание	
Нагнетание воды в породный массив	0,65-0,85
Внешняя водяная забойка	0,60-0,70
Внутренняя водяная забойка	0,65-0,80
Орошение призабойной части выработки перед взрыванием	0,20-0,30
Водяные завесы перед взрыванием и после него при использовании:	
механических оросителей	0,60-0,70
туманообразователей	0,70-0,80
Комплексное применение средств пылеподавления:	
туманообразователя с водяной завесой из форсунок	0,88
туманообразователя с орошением призабойной части выработки перед взрыванием	0,92
нагнетание воды в массив с внутренней водяной забойкой	0,90-0,94
нагнетание воды в массив с внешней водяной забойкой	0,82-0,90
внутренняя водяная забойка с внешней	0,81-0,83
Погрузка	
Увлажнение отбитой породы перед погрузкой	0,75-0,80
Многokrатное увлажнение породы в период погрузки	0,80-0,85
Установка оросительной системы на погрузочной машине	0,80-0,85

Средства борьбы с пылью	Эффективность
Комплексное применение увлажнения отбитой породы перед погрузкой с установкой бросительной системы на мезине	0,91-0,95
Изгнание воды в массив, туманообразователи, внутренняя и внешняя водяные забойки	0,80-0,87

П р и м е ч а н и е. Эффективностью средства обеспыливания называется величина, равная отношению

$$I = \frac{\Delta A}{A},$$

где I - интенсивность пылевыделения при процессах, происходящих во времени, или начальная концентрация пыли при ее запыленных выбросах без каких-либо средств пылеподавления;
 ΔA - интенсивность или концентрация пыли при использовании данного средства гидрообеспыливания.

БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ РАБОТЕ КОМБАЙНОВ

При проходке тоннелей с использованием комбайнов ПК-9р и 4ПП-2 со стреловидным исполнительным органом основными процессами, при которых в воздушную среду тоннеля выделяется пыль, является разработка забоя, погрузка и транспортировка породы.

Основными средствами борьбы с пылью при разработке забоя являются встроенные в комбайны установки пылеулавливания, состоящие из оросительного устройства и пылеуловителя, и поставляемые комплектно с комбайном 4ПП-2 передвижные пылеулавливающие установки ППУ-2.

Технические характеристики этих средств приведены в таблице.

Технические характеристики	Единица измерения	Комбайн		Установка ППУ-2
		ПК-9р	4ПП-2	
Производительность по отсосу воздуха	м ³ /мин	180	180	75-350
Расход воды	л/мин	140	150	32
Установленная мощность	кВт	56	56	40
Эффективность	%	98,3	98,8	92

Поскольку выбрасываемый пылеуловителями комбайнов воздух содержит некоторое количество пыли, то для предотвращения ее накопления в призабойной зоне и распространения по тоннелю запыленный воздух следует удалять из забоя всасывающим воздуховодом. Количество удаляемого воздуха должно быть не менее производительности пылеулавливающей установки комбайна, а скорость притока свежего воздуха по выработке к забою при этом должна находиться в пределах 0,3-0,6 м/с. Это позволит создать нормальные санитарно-гигиенические условия в призабойной зоне тоннеля и предотвратить распространение пыли из забоя в тоннель.

С целью предотвращения циркуляции запыленного воздуха от места выброса из пылеуловителя к всасывающему патрубку пылеулавливающей установки и недопущения всасывания чистого приточного воздуха вытяжным воздуховодом, воздухозаборный патрубок вытяжного воздуховода следует располагать на участке комбайнового комплекса между всасом и выхлопом пылеулавливающей установки.

Для борьбы с пылью при механизированной погрузке породы на транспортные средства применяются оросительные устройства различных конструкций, поставляемые заводами-изготовителями в комплекте с погрузочными машинами. Оросительное устройство погрузочной машины состоит из форсунок, фильтров, вентилей, средств блокировки и автоматизации орошения, манометра и системы разводки воды. Форсунки оросительных устройств устанавливаются на близком расстоянии (0,4-0,6 м) от источника образования пыли. Расход воды на оросительные устройства погрузочных машин определяется по формуле

$$G_{вод} = q_{уд} A_m, \text{ л/мин},$$

где $q_{уд}$ - удельный расход воды на 1 м³ погружаемой горной массы ($q_{уд} = 40-50$ л/мин);

A_m - максимальная производительность машины, м³/мин.

Для борьбы с пылью при транспортировке горной массы конвейерными линиями применяются плоскоструйные эжекторы или конусные форсунки с автоматическим выключающим устройством. Места перегрузок горной массы на конвейерных линиях оборудуются типовыми укрытиями из металла или огнестойкого материала с отсосом запыленного воздуха и орошением пересыпаемой породы.

Количество отсасываемого из укрытия воздуха от 70 до 100 м³/мин; удельный расход воды 15 л/т.

БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ БУРЕНИИ ШПУРОВ В МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

I. Применение воды

Отрицательная температура породы сама по себе не является препятствием для применения воды в целях промывки шпуров при бурении. Необходимо, чтобы температура воды и режим ее подачи были таковы, при которых не было бы образования льда. В тоннельных выработках это вполне реально, так как температура воздуха в них не должна опускаться ниже 2°C .

В этих условиях минимальное значение температуры воды, поступающей в скважину определяется условием:

$$t_{\text{вх}} = t_{\text{вых}} + \frac{\pi d_s^2 \ell}{4} \left[(1-\omega) \frac{\rho_w \gamma_w}{4} \int_{t_{\text{вх}}}^{t_{\text{вых}}} (t_{\text{вх}} - t) dt + \frac{\pi d_s^2 \ell}{8} \frac{\rho_w \gamma_w}{4} \frac{1}{\rho_p \gamma_p} \frac{1}{\alpha} \right]$$

где

ρ_w и γ_w — соответственно весовой расход, кг/л, и удельная теплоемкость воды, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$) (ккал/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$));

$t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ — температура воды на входе в шланг и на выходе из шпура, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{п}}, \rho_p$ и γ_p — соответственно температура, $^{\circ}\text{C}$, плотность, кг/м 3 , и удельная теплоемкость породы, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$) (ккал/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$));

d_s и ℓ — диаметр и длина шпура, м;

α — коэффициент теплоотдачи от воды стенке шпура

$$\alpha = 5,7 \frac{(\rho_w \gamma_w)^{0,8}}{d_s^{0,2}} \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)} (4,9 \frac{(\rho_w \gamma_w)^{0,8}}{d_s^{0,2}} \text{ ккал/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)})$$

Здесь w_s — скорость движения воды в шпуре, м/с;

d_s — эквивалентный диаметр шпура, м.

$v_{\text{бур}}$ — скорость бурения скважины, м/ч;

ω — объемная влажность породы (льдистость) в долях единицы;

r — удельная теплота плавления льда, кДж/кг (ккал/кг);

ρ_w — плотность воды, кг/м 3 ;

зная температуру воды на выходе из шпура и геометрические характеристики скважины и теплофизические константы породы, можно определить требуемую температуру воды на входе в буровую штангу. Самым неблагоприятным моментом будет окончание бурения, когда длина ℓ является наибольшей.

П р и м е р I.

Дано: $d_w = 0,042$; $L_w = 4$ м; $V_{w,p} = 0,6$ м/мин = 36 м/ч;
 $\gamma_w = 2800$ кг/м³; $c_w = 0,92$ кДж/кг⁰С)
 $(c_w = 0,22$ ккал/кг⁰С); $G = 7$ кг/мин = 420 кг/ч;
 $c = 4,2$ кДж/кг⁰С ($c = 1,0$ ккал/кг⁰С); $\gamma = 1000$ кг/м³
 $\omega = 0,1$; $r = 346$ кДж/кг ($r = 80$ ккал/кг); $t_w = -1^0$ С.

Кроме того, известно, что диаметр штанги равен 0,025 м.

Найти температуру воды на входе $t_{w,в}$, чтобы $t_{w,в}$ была не менее 0⁰С.

Расчет начинаем с определения α .

В рассматриваемом случае вода движется по кольцевому зазору между штангой и стенками скважины.

$$w_w = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi(4,2^2 - 2,5^2) \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 0,13 \text{ м/с};$$

$$d_z = \frac{(4,2^2 - 2,5^2) \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 4,2} = 0,027 \text{ м};$$

$$\alpha = 5,7 \frac{(2800 \cdot 0,13)^{0,8}}{0,027^{0,2}} = 580 \text{ Вт/м}^2\text{}^0\text{С},$$

$$(\alpha = 4,91 \frac{(2800 \cdot 0,13)^{0,8}}{0,027^{0,2}} = 500 \text{ ккал/м}^2\text{}^0\text{С}).$$

По формуле настоящего приложения

$$\begin{aligned} \text{так } t_{w,в} \geq 0 + \frac{3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2}}{420 \cdot 1 - \frac{3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 4}{2}} \left\{ 500 \cdot 4 + \right. \\ \left. + \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 36 \cdot 2800 \cdot 0,22}{4} (1 - 0,1) + \right. \\ \left. + \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot 1}{4} \right\} (0 + 1) + \\ + \frac{3,14 \cdot 4,2^2 \cdot 10^{-4} \cdot 36 \cdot 0,1 \cdot 1000 \cdot 80}{2(2 \cdot 420 \cdot 1 - 3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 4)}; \quad \text{так } t_{w,в} \geq 2,4^0\text{С}. \end{aligned}$$

Этот расчет производится в старой системе единиц.

Вода на входе в штангу должна иметь температуру всего 2,4⁰С, что гарантирует отсутствие ее заморозки.

Надо отметить, что большая доля тепла идет на скрытую теплоплавания льда.

Если при бурении попадает ледяная линза, заполненная льдом, то для его расплавления температура воды на входе в бур должна быть не менее 15°C (это не означает, что такую температуру надо поддерживать при бурении — вполне допустимо плавление только части льда и выход из скважины воды с ледяной крошкой).

Пример 2.

Дано: $d_0 = 0,105 \text{ м}$; $v_{\text{бур}} = 3 \text{ м/ч}$; $G = 15 \text{ кг/мин} = 900 \text{ кг/ч}$.

Остальные условия те же, что и в примере 1.

Считая, что диаметр штанги равен 50 мм, получим:

$$\begin{aligned} \alpha &= 122 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}). \\ \text{тп } t_{\text{в}} &\geq 0 + \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2}}{900 \cdot 1 - \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4}{2}} \left\{ 122 + \right. \\ &+ \frac{10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 2800 \cdot 0,22}{4} (1 - 0,1) + \\ &+ \left. \frac{10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot 1}{4} \right\} \Gamma + \\ &+ \frac{3,14 \cdot 10,5^2 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 0,1 \cdot 1000 \cdot 80}{2(2 \cdot 900 \cdot 1 - 3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4)} = 0,5^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

2. Пылеподавление антифризами.

Для подавления пыли при бурении мерзлых пород в условиях, когда не применима промывка скважины водой, рекомендуется разработанное Всесоюзным научно-исследовательским институтом золота и редких металлов (ВНИИ-1) Министроства цветной металлургии СССР пылеподавляющее приспособление ПП, принцип действия которого основан на увлечении продуктов бурения диспергированной незамерзающей жидкостью непосредственно в месте разрушения породы.

Пылеподавляющее приспособление состоит из регулятора расхода жидкости, присоединяемого к перфоратору (например, ПР-30РП или ПР-30РК), резинотканевых рукавов, бачка и переходника с вентилями и манометром. Регулятор предназначен для изменения количества жидкости, поступающей на пылеподавление, в зависимости от минерального состава и механических свойств горных пород в диапазоне 15–1050 мл/мин.

Оптимальный расход жидкости находится в пределах от 40 до 125 мл/мин. Резинотканевые рукава предназначены для подачи сжатого воздуха с давлением до 6 кгс/см^2 в бак с раствором и для

подачи раствора из бака к регулятору.

Бак вместимостью 14 л, рассчитанный на давление 10 кгс/см², служит для хранения и переподачи смазывающей жидкости. Переходник, смонтированный в магистраль, служит для подачи сжатого воздуха в бак, контроля и изменения давления. На нем установлены вентили и манометр.

Сжатый воздух из магистрали по резиноканавому рукаву подается в бак с раствором. Жидкость из бака под давлением воздуха по второму резиноканавому рукаву поступает к регулятору, из которого в заданном режиме по жидкостной трубке подается в канал буровой штанги, где смешивается с воздухом, предназначенным для продувки, и направляется непосредственно на забой шпура. Буровой штырь, увлажненный жидкостью, выносятся воздухом из шпура и выдает на почву выработки.

В качестве незамерзающей пылеподавляющей жидкости по гигиеническим и экономическим соображениям рекомендуются водные растворы хлористого натрия и хлористого кальция. Плотность раствора принимают в зависимости от температуры воздуха по таблице.

Температура воздуха, °С	Раствор хлористого натрия		Раствор хлористого кальция	
	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°С, г/см ³	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°С, г/см ³
-5	84	1,05	100	1,08
-10	160	1,10	170	1,13
-15	230	1,14	226	1,17
-20	290	1,17	271	1,19
-25	Не применяют		310	1,22
-30	- " -		340	1,24
-35	- " -		360	1,25
-40	- " -		380	1,26
-45	- " -		400	1,27
-50	- " -		415	1,28

Раствор готовят в отдельном сосуде. Плотность раствора контролируется денсиметром.

Для улучшения пылеподавления рекомендуется в раствор добавлять смазочный ДБ(СТУ № 10.139-61) в количестве 0,1% от объема жидкости, предварительно растворив его в небольшом количестве теплой воды.

Пылеподавляющее приспособление ПП изготавливается ремонтно-механическим заводом в г.Магдана.

Несмотря на наличие пылеподавляющего устройства в качестве индивидуального средства защиты от пыли, при бурении шпуров необходимо применять противопылевые респираторы и специальные очки.

3. Сухое обеспыливание воздуха.

Принятая технология строительства тоннелей предусматривает применение специальных буровых агрегатов ПБА и "Фуркава". При одновременной работе шести тяжелых перфораторов типа БУ-1м (агрегат ПБА-1) требуется отсасывать и очищать не менее $60 \text{ м}^3/\text{мин}$ запыленного воздуха, при работе того же количества перфораторов типа РД-100 (агрегат "Фуркава") - производительность пылеотсасывающей установки должна быть не менее $70 \text{ м}^3/\text{мин}$.

В настоящее время в горной промышленности широко используются индивидуальные пылеулавливающие установки при бурении шпуров и скважин диаметром от 42 до 100 мм [4-5], а также взрывных скважин в карьерах. Пылеулавливающая установка размещается в пределах 10-50 м от места бурения и состоит из пылеулавливающего колпака для отсоса пыли от устья шпура, гибкого шланга диаметром 25-35 мм, циклона (ступень грубой очистки) и матерчатого фильтра для улавливания тонкодисперсной пыли менее 10 мкм, побудителя тяги (эжектора, высоконапорного вентилятора или воздуходувки).

Максимальное количество отсасываемого и очищаемого от пыли воздуха не превышает 2-3 $\text{м}^3/\text{мин}$ при бурении шпуров и 10-12 $\text{м}^3/\text{мин}$ при бурении скважин.

Для улавливания пыли при бурении ручными и телескопными перфораторами типа ПР-30К, ПР-30КС, ПРО-24Д и др. в заводском исполнении поставляются несколько типов пылеулавливающих установок: ТБЮТ СПАР-4 и ДСП-3 (количество отсасываемого воздуха 0,4-0,5 $\text{м}^3/\text{мин}$) пылеуловитель ВНИИ-1 М-С4РД и др.

Имеется опыт централизованного удаления пыли при работе нескольких ручных перфораторов.

Запыленный воздух от каждого перфоратора по всасывающим гибким шлангам и по центральному всасывающему трубопроводу транспортируется в осадительную камеру. Побудителем тяги служит эжектор производительностью до 2 $\text{м}^3/\text{мин}$.

Из анализа используемых в горной промышленности технических решений по сухому пылеотсосу на буровых работах следует, что в настоящее время отсутствует опыт централизованного улавливания пыли при одновременной работе нескольких тяжелых перфораторов или

буровых машин типа БУ-1м с расходом сжатого воздуха на установку 10-12 м³/мин и суммарным расходом до 70 м³/мин.

Применять же индивидуальные пылеулавливающие установки на каждой буровой машине нецелесообразно по условиям их размещения на буровой раме.

Для дальнейших проработок и исследований можно предложить в качестве базовой следующую схему централизованного пылеотсоса для буровых агрегатов ПБА-1 и "Фуркава" с использованием тягловых агрегатов типа БУ-1м и БД-100.

От устья каждого шпура отсос пыли производится через пылевой коллектор, на котором устанавливается отдельный побудитель тяги - эжектор (например, Э-95 с расходом сжатого воздуха 2,5 м³/мин и создаваемым разрежением 750 мм вод.ст.). Запыленный воздух по гибким шлангам от каждого агрегата через сборную камеру поступает в отдельный циклон пылевой циклон типа ЦН.

Чистая очистка воздуха здесь производится в материальном циклоне с автоматическим стряхиванием фильтрующей ткани. Чистый воздух выводится в атмосферу призабойной зоны.

Эта пылеулавливающая установка размещается на буровой раме на специальной тележке и соединяется с буровой рамой.

Окончательный выбор побудителей тяги, типов и количества циклонов, фильтра тонкой очистки производится после детального

ПРИМЕР РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

У о л о в и я з а д а ч и.

Железнодорожный однопутный тоннель сооружается двумя параллельными выработками: основной – с площадью поперечного сечения $F_0 = 62,3 \text{ м}^2$ и штолью – с $F_{\text{ш}} = 14,1 \text{ м}^2$.

Штольня располагается на 20 м от основной выработки. Через каждые 300 м делается обойка выработок с той же площадью поперечного сечения, что и у штольни.

Штольня опережает тоннель на 300 м. Таким образом, получается, что максимальная длина тупиковой части основной выработки составляет $l_1 = 300 \text{ м}$, а штольни $l_2 = 600 \text{ м}$ (рис.1).

Разработка породы ведется буровзрывным способом, транспортировка – двумя машинами МСАД независимо по штольне и основной выработке. Скорость движения транспорта по выработкам $V = 12 \text{ км/ч} = 3,34 \text{ м/с}$.

Для уборки породы из забоя штольни необходимы 5 вздоков, основной выработки – 19 вздоков.

Наибольшая длина выработок, проходимых по указанной схеме, составляет:

штольни $l_1 + l_2 = 1500 \text{ м}$,

тоннеля $l_1 + l_2 = 1200 \text{ м}$.

Продолжительность одного транспортного цикла (погрузка, вывозка, разгрузка и возвращение):

для штольни $t_{\text{ш}} = 30 \text{ мин}$,

для тоннеля $t_{\text{т}} = 25 \text{ мин}$.

Система вентиляции – комбинированная по схеме "оквизник + вытяжник".

Требуется рассчитать воздухообмен оквизной вентиляции и вентиляции тупиковых частей выработок для разбавления и выноса выхлопных газов автомашин. Для защиты забоев от газов после взрывов могут применяться вытяжные системы вентиляции с прокладкой воздухопроводов по выработкам (использовать воздухопроводы для удаления выхлопных газов автомашин экономически невыгодно, так как это требует существенно больших воздухообменов).

В настоящем примере не рассматриваются вопросы переключения вентиляции с работы одной системы на другую, использования одного

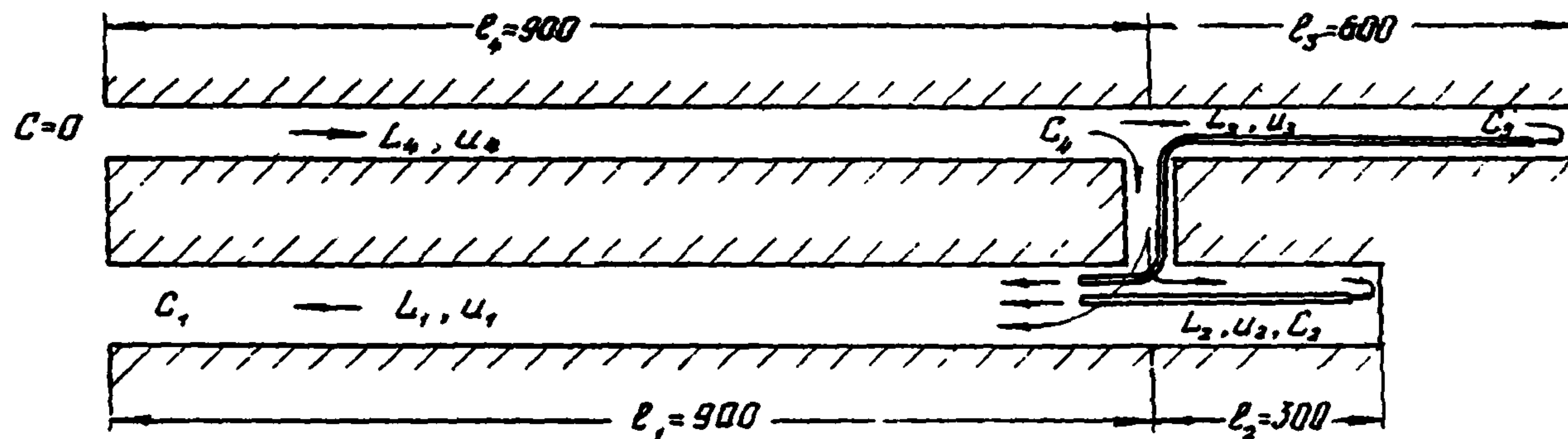


Рис. I. Расчетная схема проветривания (длины выработок l в м)

оборудования для обеих систем и т.п. Разбирается только расчет требуемой производительности вентиляции при транспортировке породы, осложненный взаимным влиянием воздухообмена в основной штольне и в выработке.

Р е ш е н и е.

Принципиальная схема вентиляции представлена на рис. I.

Наиболее "трудной" частью всего сооружения, с точки зрения обеспечения требуемой чистоты воздуха, является штольня, имеющая малую площадь поперечного сечения. Поэтому для эффективного проветривания выбрано направление потока воздуха "из штольни - в тоннель", при котором в штольне по направлению движения воздуха (наиболее неблагоприятному) будет следовать порошковый транспорт, выделяющий меньшее количество газов, чем грузевики.

Определяющим вредным веществом при работе дизельного транспорта является окись углерода. Считаем ее содержание в воздухе, забираемом снаружи, равным нулю.

При прохождении по штольне со скоростью u , этот воздух (расход L_1) будет загрязняться выхлопными газами автомашины, следующей в прямом или обратном направлении, в результате чего у сбойки концентрация окиси углерода будет равна C_1 .

Некоторая доля L_2 воздуха с этой концентрацией забирается в тупиковую часть штольни, где получает дополнительное загрязнение до концентрации C_2 от стоящей под погрузкой машины.

Другая часть воздуха L_3 идет в забой основной выработки и загрязняется там до концентрации C_3 .

Воздух с концентрациями C_1 , C_2 , C_3 и соответственными расходами L_1 , L_2 и L_3 смешивается в точке А основной выработки и на ее длине дополнительно разбавляется вред. в. вещества от курсирующей автомашины, в результате чего у портала концентрация становится равной C_4 .

Эта концентрация не должна превышать предельно допустимой.

Пользуясь тем, что конечная концентрация не зависит от порядка поступления в воздух вредных веществ, сводим фактическую схему к условной, позволяющей упростить расчеты.

Условная схема заключается в следующем: имеется основная выработка длиной $l_1 + l_2 = 1200$ м, проветриваемая воздухом с фоновой концентрацией C_0 , равной концентрации вредных веществ в воздухе, поступающем из вспомогательной штольни.

$$C_0 = \frac{(L_2 - L_3)C_1 + L_3C_2}{L_1}$$

Расчет ведем методом подбора. Для этого выполняем следующее:
 а) определяем через C_p балансовые параметры вентиляций ξ , ζ и w (см. приложение 6) для основной выработки (индекс "о")

$$\bar{\xi}_o = \frac{\xi_o V}{2(L_1 + L_2)} = \frac{25 \cdot 60 \cdot 3,34}{2(900 + 300)} = 2,1;$$

$$\zeta_o = \frac{F_o V (C_{доп} - C_p)}{\bar{q}_o (C_o - C_o)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - C_p)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} (1,8 \cdot 10^3 - C_p)} =$$

$$= 0,64 (20 - C_p)$$

(величиной C_p в знаменателе пренебрегаем, так как она, по крайней мере, на 2 порядке меньше $1,8 \cdot 10^3$).

Здесь $C_{доп}$ - предельно допустимая концентрация окиси углерода, равная 20 мг/м³;

$\bar{q}_o$ - средний расход выхлопных газов для грузовой и порожней машины (номинальной мощностью 200 л.с.), идущих по выработке $\bar{q}_o =$
 $= 200 - \frac{10 + 8}{2} \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (см. п. 2.1 основного текста);

C_o - средняя концентрация окиси углерода в выхлопных газах; $C_o = \frac{2 + 1,6}{2} \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3$.

Знаясь значениями C_p , подсчитываем ξ и по номограмме приложения 6 находим;

б) определяем максимально необходимый расход воздуха L'_1 для разбавления газов одной стоящей (под погрузкой) машины

$$L'_1 = \frac{q_o}{C_p} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^3}{C_p} = \frac{256}{C_p} \text{ м}^3/\text{с}$$

(параметры газовыделений принимаем такими же, как для порожней машины);

в) определяем минимально необходимый расход воздуха L_1 для разбавления газов, выделяемых одной машиной, идущей по потоку воздуха (от портала к забоям).

$$L'_1 = F_o u_1 = F_o v + \frac{q_o C_o}{C_p} = 14,1 \cdot 3,34 + \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 1,6 \cdot 10^3}{C_p} =$$

$$= 47 + \frac{256}{C_p} \text{ м}^3/\text{с}; L_1 = 47 - \frac{256}{C_p} \text{ м}^3/\text{с};$$

г) по наибольшему из значений L_1 , определенных по пп. "б" и "в", вычисляем u_1 и $\bar{w}_o$

$$u_o = \frac{L_1}{F_o} = \frac{L_1}{62,3} \text{ м/с};$$

$$\bar{w}_0 = \frac{v}{u_1} = \frac{3,34 \cdot 62,3}{L_1} = \frac{208}{L_1};$$

д) полученное значение $\bar{w}_0$ сравниваем с ранее определенным в п."в". Значения c_p , при котором значения $\bar{w}_0$ будут достаточно близки, является искомым.

Вычисления представлены в табличной форме

$$c_p = 2,1$$

c_p	ξ_0	$\bar{w}_0$	L'_1	L'_2	L'_3	$\bar{w}_0$
8	7,7	4,1	32,0	79,0	15,0	2,64
10	6,4	3,3	25,6	72,6	21,4	2,73
12	5,1	2,1	21,5	68,4	25,6	3,04
11	5,75	2,6	23,2	70,2	23,8	2,97
10,5	6,1	<u>2,9</u>	24,3	71,4	22,6	<u>2,90</u>

Значение $c_p = 10,5$ мг/м³ является расчетным.

Определяем

$$u_1 = \frac{L_1}{62,3} = \frac{71,4}{62,3} = 1,14 \text{ м/с};$$

$$u_2 = \frac{L_2}{14,1} = \frac{71,4}{14,1} = 5,05 \text{ м/с}.$$

Расход L_1 определяется соотношением

$$F_0 u_1 c_p = L_1 c_p; \text{ откуда } L_1 = L_0 u_1 = \frac{L_0 c_p}{c_p} = \frac{71,4 \cdot 10,5}{20}$$

$$= 37,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Соответственно $u_2 = \frac{37,5}{14,1} = 2,66 \text{ м/с}.$

Расход L_2 находим, пользуясь номограммой приложения 6.

Для этого определяем

$$\xi_2 = \frac{v}{2L_2} = \frac{25,60 \cdot 3,34}{2 \cdot 300} = 8,3;$$

$$\xi_2 = \frac{F_2 v (c_{\text{атм}} - c_p)}{F_0 (c_2 - c_p)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - 10,5)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 1789,5} = 6,15;$$

$$\bar{w}_2 = 4,2; \quad u_2 = \frac{v}{\bar{w}_2} = \frac{3,34}{4,2} = 0,8 \text{ м/с};$$

$$L_2 = F_0 u_2 = 62,3 \cdot 0,80 = 50 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Распределение скоростей, расходов и максимально возможных концентраций в выработках показано на рис.2.

Подсчитываем гидродинамическое сопротивление воздушного тракта сквозной вентиляции.

Сопротивление по длине участка 4 (см.п.4.II основного текста Рекомендаций):

$$h_l = \alpha \frac{\rho}{\tau} \xi u^2 = 150 \cdot 10^{-4} \frac{13}{14,1} \cdot 900 \cdot 5,05^2 =$$

$$= 318 \text{ Па (31,8 кгс/м}^2\text{)}.$$

То же участка I:

$$h_l = 150 \cdot 10^{-4} \frac{27 \cdot 900}{62,3} \cdot 1,14^2 = 5 \text{ Па (0,5 кгс/м}^2\text{)}.$$

Местные сопротивления (см.приложение II) определяются

$$h_m = (3,6 + 2,6) \frac{u^2 \rho}{2} = 6,2 \frac{5,05^2 \cdot 0,127}{2} = 9,9 \text{ кг/м}^2.$$

Скоростной напор

$$h_v = 6,2 \frac{5,05^2 \cdot 0,127}{2} = 99 \text{ Па (9,9 кгс/м}^2\text{)}.$$

Общая потеря давления по тракте

$$h_t = 318 + 5 + 99 + 16 = 438 \text{ Па (43,8 кгс/м}^2\text{)}.$$

По характеристикам подходит, например, группа, состоящая из 5 параллельно работающих пар вентиляторов МЦ-12 (каждая пара - две последовательно установленных вентилятора).

Общая мощность этих десяти вентиляторов при КПД = 0,55

$$N = \frac{43,8 \cdot 71,4}{0,55 \cdot 102} = 56 \text{ кВт.}$$

Размещение вентиляторов, как указывалось в п.4.22 основного текста, может быть различным.

На рис.3 представлен вариант размещения вентиляторов у портала штольни. В этом случае у этого портала будет создаваться статическое давление, равное 43,8 кг/м², обуславливающее необходимость устройства шлюза, для данного примера вполне приемлемого, так как по штольне, согласно условиям задачи, за транспортный цикл машина будет делать всего 5 вздоков.

Конструкцию шлюза, конечно, необходимо рассчитывать на восприятие указанного давления.

Распределение статического давления по выработкам показано на рис.2.

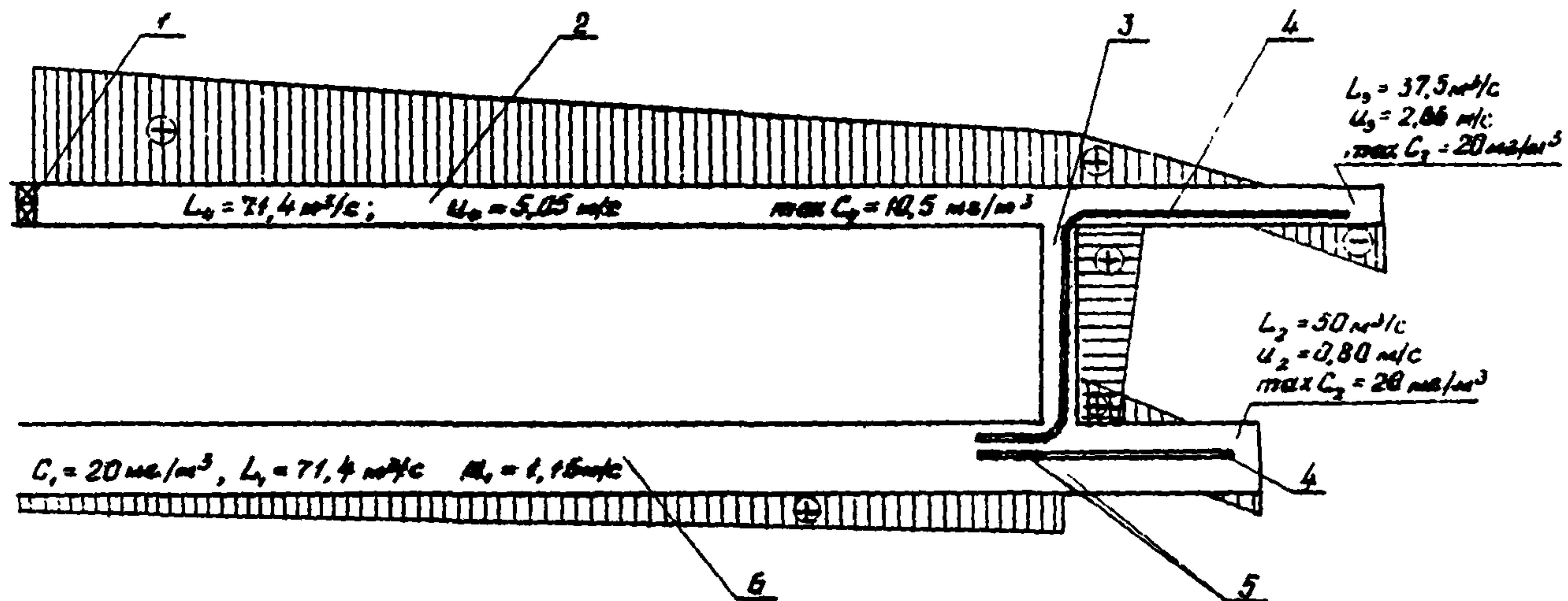


Рис.2. Распределение давлений в выработках при комбинированной вентиляции:
 1 - вентиляторы у портала штольня; 2 - штольня; 3 - обойка; 4 - воздухопровод;
 5 - вентиляторы местного проветривания; 6 - основная выработка

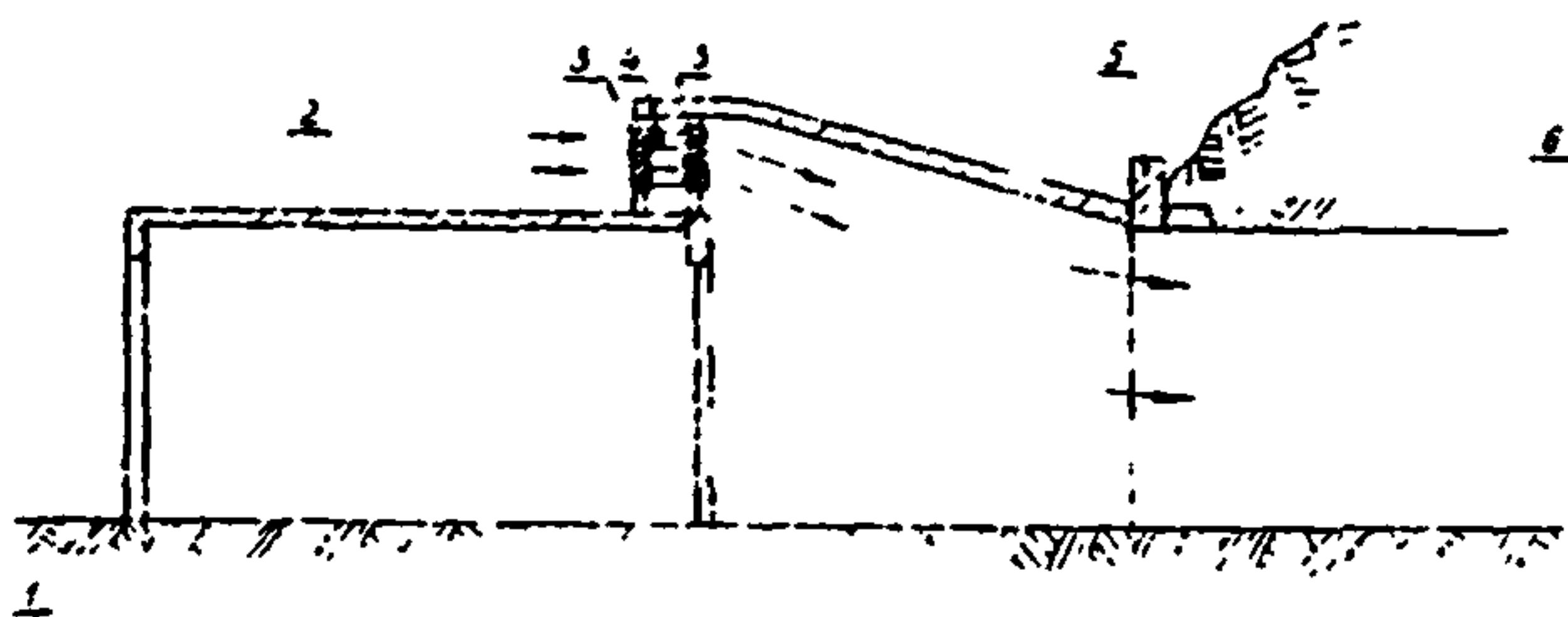


Рис.3. Подача воздуха через портал штольни:
1 - ворота; 2 - шлюз; 3 - вентилятор; 4 - вставки между
вентиляторами; 5 - оголовок портала; 6 - штольня;
направление движения воздуха

Отметим, что узким местом системы является штольня, в которой для обеспечения требуемой чистоты воздуха приходится создавать его движение со скоростью, близкой к предельно допустимой (6 м/с).

Соответственно получаются большие аэродинамические сопротивления, несоизмерные с сопротивлениями других частей воздушного тракта. Возникают осложнения с устройством шлюзов и т.п. Отсюда следует, что в выработках малого поперечного сечения применение автотранспорта вызывает большие трудности и значительные материальные затраты на вентиляцию.

Просто приточная вентиляция штольни для разобранных условий примера (подача воздуха в забой по трубам) вообще не обеспечивает требуемых санитарно-гигиенических норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проектированию вентиляции при сооружении железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитенов. М., Главтрансстрой, 1969.
2. Тоннели. Справочно-методическое пособие. М., Транспорт, 1979.
3. Высокопроизводительные технологические схемы сооружения горных транспортных тоннелей. Информационный листок межведомственной информации ГЗ-79. М., Оргтрансстрой, 1979.
4. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М., Недра, 1973.
5. Правила техники безопасности и производственной санитарии при строительстве метрополитенов и тоннелей. М., Оргтрансстрой, 1975.
6. Руководство (рекомендации) по проектированию и организации проветривания строящихся и реконструируемых шахт. Харьков, ВНИИОМШС, 1976.
7. Р а д ч е н к о Г.А. Обогащающее проветривание подземных выработок. Алма-Ата, Наука, 1970.
8. Г р и ш е в В.И. Вентиляция тоннелей на железных дорогах. М., Транскондоркадет, 1961.
9. И в а н о в М.И. Бурение шпуров при проходке подземных выработок. М., Оргтрансстрой, 1971.
10. С к о б у н о в В.В. Профилактика силикоза при строительстве тоннелей и метрополитенов. М., Оргтрансстрой, 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ...	6
3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И РАСЧЕТ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	11
4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ	21
5. ВЫБОР СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ	39
6. ГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК	46
ПРИЛОЖЕНИЯ	
1. Характеристики основных газовых примесей в воз- духе рабочей зоны тоннельных выработок	50
2. Характеристики основных пылевидных примесей (аэрозоль) в воздухе тоннельных выработок ...	54
3. Метеорологические условия в рабочей зоне тоннельных выработок	55
4. Характеристики вредных веществ, выделяемых при сварке в тоннельных выработках	56
5. Определение расходов воздуха продольной сис- темы вентиляции и системы с распределенной раздачей при автомобильной возке породы и материалов в выработке	57
6. График расчета вентиляции выработок, в ко- торых работают одиночные автомашины (МОАЗ) или дизель-поезда	62
7. Номенклатура отдельных воздухопроводов, применяемых в рудничной вентиляции	63
8. Выбор диаметра воздухопровода	64
9. Определение мест установки вентиляторов на воздухопроводах	66

10. Характеристики тканевых труб	74
11. Коэффициенты местных сопротивлений выработки	75
12. Способы уплотнения воздухопроводов	77
13. Характеристики основных видов вентиляторов	80
14. Пример расчета мощности калориферов для нагрева вентиляционного воздуха	87
15. Эффективность гидрообеспыливания	89
16. Борьба с пылью при работе комбайнов	91
17. Борьба с пылью при бурении шпуров в мерзлых породах	93
18. Пример расчета комбинированной системы венти- ляции	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	107

Редактор Н.Б.Букова
Корректор С.Д.Сухова
Технический редактор Е.В.Карелина

Подп. к печ. 18.04.83 г. Заказ 233
Объем 7,0 л.д. Тираж 300 экз. Цена 75 коп.
Роталпринт ЦНИИСэ