

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Н.Х. КИМ

АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ

Рекомендовано Республиканским учебно-методическим объединением
в качестве учебного пособия

АЛМАТЫ 2004

УДК 622.271:622.888.0123

ББК33.22я7

К 40

К40 **КИМ Н.Х. Аэрология карьеров.** Учеб. пособие: -Алматы:
КазНТУ, 2004. 185с.
ISBN 9965-673-82-9

Учебное пособие составлено в соответствии с требованиями квалификационной характеристики специалиста и Государственных стандартов, способствует глубокому изучению курса «Аэрология карьеров», направляет студентов на активизацию теоретических знаний.

Данное пособие предназначено для студентов специальности 1902.40 — «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» в соответствии с рабочей программой курса.

ББК 33.22я7

Ил. 63. Табл. 7. Библиогр. - 9 назв.

Рецензенты:

М. К. Дюсебаев, д-р техн. наук, проф.

А. К. Кенжебаев, д-р техн. наук, проф.

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2004 г.

К $\frac{4310020000}{00(05) - 04}$

ISBN 9965-673-82-9

© Ким Н.Х., 2004

©КазНТУ, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Богатство недр и разработка месторождений полезных ископаемых способствовали развитию в Республике Казахстан прежде всего горно-добывающей промышленности. Горно-рудная промышленность создает огромные материальные ценности и служит одним из основных источников жизнедеятельностей всех отраслей товарного производства.

Современный этап развития горно-добывающей промышленности характеризуется прогрессивным развитием открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых, являющегося основным направлением технического прогресса. Этому способствуют огромные потенциальные возможности открытых разработок, которые базируются на комплексную механизацию и автоматизацию горного производства. Система разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом характеризует определенный комплекс вскрышных, добычных и вспомогательных работ, обеспечивающих экономическую и безопасную их разработку. Технология открытой разработки месторождений обычно предусматривает наличие двух основных процессов горного производства: вскрышных и добычных работ, каждая из которых включает отделение горных пород от массива, их перемещение до пунктов назначения и складирование, либо отвалообразование.

Большая часть месторождения полезных ископаемых Казахстана расположена в зонах засушливого климата, что замедляет биологические процессы и затрудняет самовосстановление природы. Масштабы антропогенного воздействия на окружающую среду столь велики и разрушительны, что человечество вынуждено вести интенсивный поиск новых подходов к решению экологических и экономических проблем.

В процессе развития открытых горных работ в атмосферу карьеров выделяется значительное количество пыли и ядовитых газов. Запыленность и загазованность воздуха в карьерах зависит от природных, технологических и технических факторов. Загрязнение атмосферы карьеров приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий, отражается на здоровье рабочих и снижает производительность труда.

Аэрология карьеров - раздел горной науки, в котором изучаются свойства атмосферы карьеров и происходящие в ней процессы. Целью аэрологии карьеров является создание научных основ и средств улучшения атмосферы карьеров. Основная задача оздоровления атмосферы карьеров - разработка методов и средств подавления вредных примесей в местах их образования и выделения, а также использование природных сил и факторов для интенсификации естественного проветривания. При решении этих задач используются достижения таких смежных наук, как метеорология, аэромеханика и термодинамика. Как и всякая естественная наука, аэрология карьеров широко использует основные законы физики и химии, математические методы описания процессов. Немаловажную роль играет технология горного производства, существенно влияющая на состояние атмосферы карьеров.

Проектирование карьеров на весь период разработки - процесс довольно сложный. Поэтому при проектировании карьеров должна быть оценена эффективность естественного проветривания с целью прогноза состава атмосферы и использование средств борьбы с пылью и газами в местах их выделения. Необходимо применять динамический подход, позволяющий повысить достоверность и глубину проработки проекта, включающий комплексную оценку влияния горного производства на окружающую среду.

В работе изложены; состояние атмосферы карьера, динамика воздушных потоков при естественном воздухообмене и основные источники загрязнения при основных технологических процессах. При проведении исследования использованы методы математического моделирования.

Приведены описания приборов и их технические характеристики для контроля атмосферы карьеров по пылевому и газовым факторам. Кроме того изложены причины работы, управления ими и меры безопасности при их эксплуатации.

В основу учебного пособия положены материалы исследований автора в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева (КазНТУ). Вместе с тем, в работе использованы рекомендации организаций, занимающихся проблемами экологии при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

1. АТМОСФЕРА И МИКРОКЛИМАТ КАРЬЕРОВ

1.1. Климатические условия района расположения и микроклимат карьера

Основными параметрами климата района являются температура, барометрическое давление и влажность воздуха. Атмосфера находится в непрерывном движении относительно времени. Движение воздуха относительно земной поверхности порождается неравномерным распределением давления в горизонтальной плоскости. Ветер характеризуется повторяемостью направлений и средней скоростью, которые определяются за фиксируемый промежуток времени (год, месяц, сезон).

Осадки в зависимости от их количества и интенсивности выпадения, также являются основным критерием климата района. Важной метеорологической характеристикой является тепловой режим местности, который определяется интенсивностью солнечной радиации. Последняя зависит от высоты стояния Солнца, прозрачности атмосферы и угла падения солнечных лучей на земную поверхность.

Микроклимат - климат приземного слоя воздуха. Микроклимат карьера определяется в основном климатом района расположения карьера, а также зависит от динамических и термических факторов.

Скорость воздуха в карьерах в основном зависит от динамических сил, т.е. от скорости ветра на поверхности и от термических сил, вызываемых прогревом или охлаждением воздуха за счет солнечной радиации.

При скорости ветра на поверхности более 2 м/с скорость воздуха в карьере в значительной степени зависит от энергии ветрового потока. При меньших скоростях ветра скоростное поле главным образом зависит от термических факторов. Скорость и направление ветра непостоянны по времени. Суточное изменение скорости ветра обусловлено турбулентным перемешиванием слоев воздуха.

Скорость воздуха в карьере обычно меньше, чем на поверхности при глубине карьера около 200 м и более (рис. 1.1). Это объясняется законом свободных струй. Особенностью свободных струй является равенство статических давлений в струе и давления во внешней среде. Скорость и направление ветра в карьере непостоянны.

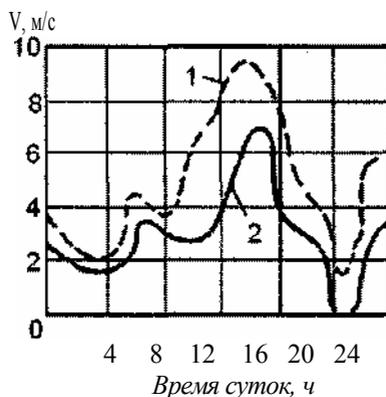


Рис. 1.1. Изменение скорости ветра в течение суток 1 - на поверхности;
2 - в карьере

Термические силы, вызываемые прогревом и охлаждением воздуха, могут существенно влиять на изменение скорости воздуха в карьере. Важным критерием воздухообмена в карьере за счет термических сил является градиент температуры. Величина температурного градиента в карьере изменяется от отрицательной величины до +6 градусов на 100 м и зависит от общих климатических условий района. Обычно минимальные величины и отрицательные значения температурного градиента наблюдаются в вечерние и ночные часы при наличии приземных инверсий и в утренние часы при интенсивном повышении температуры воздуха с высотой.

Сложный характер изменения вертикального градиента в атмосфере карьера объясняется действием двух факторов: во-первых, наличием неоднородного горизонтального температурного поля, которое обуславливает перемещение воздуха в том или ином направлении; во-вторых, действием на атмосферу карьера воздушного поверхностного потока со своей температурой, накладывающего, на температурное поле карьера.

Геометрия карьерного пространства, характеристика поверхности и технологические процессы отражаются на особенностях теплового баланса и распределении солнечной радиации в карьере.

Одной из особенностей термического режима карьеров является неоднородное распределение температуры почвы и воздуха по его бортам и уступам. Это связано с различиями в облучении склонов разной крутизны, экспозиции и затемнения. Так, например, в полдень

южный борт находится в условиях дефицита тепла, а на западном и восточном бортах температура ниже, чем на северном.

Второй особенностью термического режима карьеров является то, что воздух в карьере теплее, чем на поверхности. Это обусловлено меньшей величиной эффективного излучения на дне карьера и меньшим его альбедо, т.е. от величины характеризующая способность поверхности тела отражать или рассеивать падающее на нее излучение.

Характер изменения температуры на дне и поверхности карьера в солнечную и пасмурную погоду приведен на рис. 1.2, откуда видно, что существенную роль в изменении температуры воздуха дна и поверхности карьера играет облачность.

Солнечная радиация (энергия, излучаемая солнцем) является единственным источником энергии для земли и атмосферы. Значение других источников для земли ничтожно мало. Термический фактор, определяемый нагревом под действием солнечной радиации, оказывает большое влияние на формирование естественного воздухообмена в карьере.

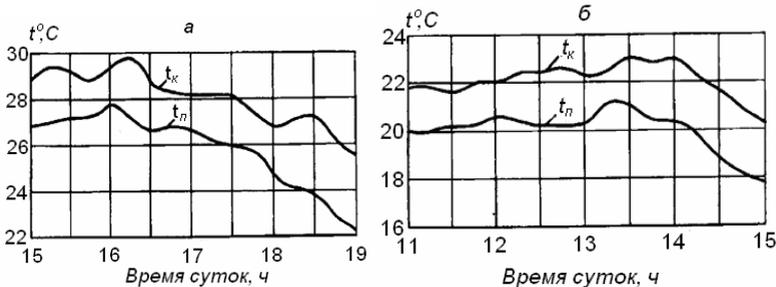


Рис. 1.2. Изменение температуры воздуха на дне и поверхности карьера: а - в солнечный день; б - пасмурный день

Изменение интенсивности солнечной радиации на бортах карьера определяет тепловое состояние карьерного пространства вследствие нагрева горных пород.

Величину прямой солнечной радиации при безоблачном небе можно определить по формуле

$$Q = q_n \cos \theta, \text{ вт} / \text{м}^2 \quad (1.1)$$

где q_n - величина интенсивности солнечной радиации на нормальную поверхность;

θ - угол между направлением солнечных лучей к углу откоса борта карьера, град.

Величина склонения солнца зависит от времени года и изменяется в пределах $+23^{\circ}27'$ в день летнего солнцестояния, а в день зимнего солнцестояния - $23^{\circ}27'$, дважды в году она равна нулю: в день весеннего и осеннего равноденствия.

Изменение интенсивности прямой солнечной радиации на горизонтальный участок на широте 40° - 60° представлено на рис. 1.3: прямая солнечная радиация начинает поступать на горизонтальный участок около 5 ч утра и заканчивается около 20 ч местного времени. Максимальная величина прямой солнечной радиации приходится на полдень.

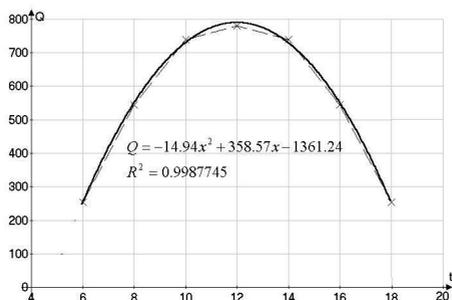


Рисунок 1.3 Распределение прямой солнечной радиации на горизонтальном участке

Значение q_n определяется актинометрическими наблюдениями на высоте 2 м от поверхности земли. Для широт от 38° до 64° она может быть вычислена по формуле

$$q_n = \frac{q_o \sinh}{\sinh + C}, \quad \text{вт} / \text{м}^2 \quad (1.2)$$

где q_o – солнечная постоянная (для указанных широт принимается равной $0,0035 \text{ вт}/\text{м}^2$); h – высота стояния солнца для данной местности в расчетный час суток т. е. возвышение над горизонтом выраженные в угловых градусах; C – эмпирический коэффициент, характеризующий прозрачность атмосферы.

В условиях безоблачных дней по наблюдениям актинометрических станций значения эмпирического коэффициента C составляет около $0,25 \div 0,43$.

Значения высоты стояния солнца (склонения солнца h , град) для любой широты, времен года и дня, а также ориентации поверхности определяем по формуле

$$\sin h = \cos \Theta \cos \varphi \cos \gamma + \sin \Theta \sin \varphi \quad (1.3)$$

где φ - географическая широта, град.

Часовой угол γ определяется из того, что в полдень $\gamma = 0$, а для n часов будет равняться $15n$. Число n следует считать до полудня положительным, а после полудня отрицательным. Значения $\cos \Theta$ зависят от угла падения луча, ориентации карьера по сторонам света и широты для наклонных, горизонтальных и вертикальных поверхностей.

Эпюра интенсивности прямой солнечной радиации на борт карьера представлена на рис. 1.4. при углах откоса бортов $30^\circ - 50^\circ$.

Максимальная интенсивность прямой солнечной радиации в 5 ч утра приходится на юго-западный борт. Солнечными лучами облучаются южный, юго-западный, западный и северо-западный борт карьера, остальные находятся в тени.

В полдень максимум приходится на северный борт, а минимум - на южный. При этом на северный борт поступает 798 вт/м^2 , а на горизонтальный участок - 680 вт/м^2 .

В 19 ч максимум солнечной радиации приходится на юго-восточный борт. Солнечные лучи поступают на восточный, юго-восточный и южный борт карьера, а остальные борты находятся в тени.

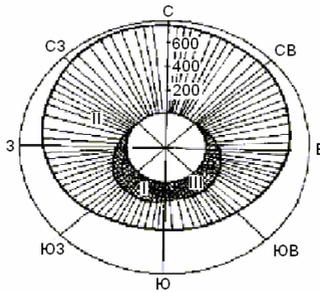


Рис. 1.4. Эпюра распределения прямой солнечной радиации в карьере:
I-в5ч; II-в12ч; III-в19ч

Закономерность, по которой происходит изменение интенсивности солнечной радиации на борт карьера и горизонтальную поверхность можно представить в виде

$$Q = -a\tau^2 + b\tau - c \quad (1.4)$$

где a, b, c - размерные параметры уравнения; τ - время.

Углубление карьера приводит к уменьшению притока солнечной радиации, отнесенной к единице поверхности. Кроме того, уменьшается продолжительность поступления прямой солнечной радиации к нижним уступам карьера.

Большая неравномерность в освещенности и распределении прямой солнечной радиации во времени, а также углубление карьера приводит к образованию нестационарных температурных полей. При неравномерном нагреве отдельных участков усиливается местная циркуляция, появляются местные потоки, и в то же время значительная часть карьера может длительное время находиться в условиях отрицательного радиационного баланса, при котором потеря тепла преобладает над его поступлением.

1.2. Состав атмосферы карьеров и предельно-допустимые концентрации вредных примесей

Атмосферный воздух по объему в основном состоит из азота (79 %), кислорода (20,96 %) и углекислого газа (0,04 %). Кроме того, в воздухе в различных количествах содержатся водяные пары и незначительное количество тонкодисперсной пыли.

Атмосферу карьера можно рассматривать с достаточной точностью как атмосферный воздух. Кроме указанных выше газов содержатся такие ядовитые газы, как окислы азота, окись азота, окись углерода, сероводород, сернистый газ и альдегиды.

Азот - газ без цвета, запаха и вкуса, является основной частью воздуха. В обычных условиях незначительное колебание процентного состава не влияет на организм человека. При высоких температурах азот вступает в соединение с кислородом и водородом.

Кислород - газ без цвета, запаха и вкуса, является основным и необходимым компонентом для поддержания дыхания и горения. При снижении содержания кислорода до 17 % по объему у человека начинается отдышка и учащается сердцебиение, а при 12 % наступает обморочное состояние и затем смерть от «кислородного голодания».

Углекислый газ - бесцветен, обладает слабым кислым вкусом. При 5-6 % углекислого газа в воздухе учащается дыхание, появляется сильная отдышка и слабость, при 10 % и выше наступает обморочное состояние, а при 20-25 % возможно смертельное отравление.

Из окислов азота наибольшую опасность представляет двуокись азота - газ красновато-бурого цвета с характерным запахом. Легкая степень отравления проявляется в виде кашля, общего недомогания и рвоты. Тяжелая степень отравления связана с отеком легких. Смер-

тельная опасность возникает при концентрации двуокиси азота около 0,02 % по объему.

Окись углерода - газ без цвета, запаха и вкуса. Вдыхаемый воздух с содержанием CO кровь легко усваивает вместо кислорода, что приводит к кислородному голоданию, которое при большом насыщении в крови окиси углерода может привести к смерти. Длительное пребывание человека в атмосфере с концентрацией окиси углерода 0,01 % приводит к хроническим отравлениям.

Сероводород - бесцветный газ со сладковатым вкусом и характерным запахом тухлых яиц. Газ действует на нервную систему, раздражает слизистую оболочку дыхательных путей и глаз. При содержании 0,05 % через 0,5 - 1 час наступает опасное отравление, а при 0,1 % быстро наступает смерть.

Сернистый газ - газ без цвета, с острым запахом и вкусом. Газ действует на слизистую оболочку глаз и верхних дыхательных путей, вызывает кашель действием на легкие. При острых отравлениях происходит удушье, а при концентрации 0,05 % - даже кратковременное воздействие опасно для жизни.

Акролеин - присутствует в воздухе в виде паров и имеет неприятный резкий запах. Пары акролеина действуют на слизистые оболочки, вызывают головокружение, тошноту, рвоту и боли в желудке. При концентрации 0,002 % - непереносимо, 10-минутное пребывание человека в атмосфере с содержанием акролеина 0,014 % смертельно опасно.

Формальдегид - бесцветный газ, с резким удушливым запахом. Формальдегид действует на слизистые оболочки и центральную нервную систему, а также вызывает нейродермит. При концентрации 0,002 % хроническое отравление формальдегидом приводит к расстройству пищеварения, сердцебиению, постоянным головным болям, бессоннице, заболеванию слизистых оболочек верхних дыхательных путей и глаз.

Источниками углекислого газа, окислов азота и окиси углерода являются взрывные работы, двигатели внутреннего сгорания, станков термического бурения и пожары.

Акролеин и формальдегид выделяются при работе двигателей внутреннего сгорания и станки термического бурения.

При разработке некоторых месторождений в атмосферу карьеров могут выделяться радиоактивные газообразные вещества. Содержание в воздухе наиболее широко встречающихся вредных газов не должно превышать значений, приведенных в табл. 1.1.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) газов в карьерах

Таблица 1.1

Газы	ПДК	
	% по объему	мг/м ³
Окислы азота (в пересчете на N ₂ O ₅)	0,0001	5
Оксид углерода	0,0016	20
Сероводород	0,00066	10
Сернистый ангидрид	0,00035	10
Акролеин	0,00008	2
Формальдегид	0,00016	5

При разработке твердых полезных ископаемых в атмосферу выделяется мелкодисперсная пыль, которая может быть ядовитой и неядовитой. К ядовитым относятся пыли, содержащие свинец, ртуть, хром, марганец, мышьяк, сурьму и другие ядовитые элементы. Вдыхание этих пылей приводит к профессиональным специфическим заболеваниям. К неядовитым относятся кварцевая, угольная, силикатная и другие пыли. Длительное вдыхание пыли может привести к заболеваниям рабочих различными видами пневмокониоза: силикозом, антропокозом, асбестозом и др. Большую опасность представляют радиоактивные пыли, которые кроме обычного воздействия могут привести к раковым заболеваниям.

Свободная двуокись кремния SiO_2 , содержащаяся в пыли атмосферы карьера, представляет наибольшую опасность. С увеличением ее содержания в воздухе опасность заболевания силикозом возрастает. Содержание свободной двуокиси кремния в мелкодисперсной пыли карьеров как по содержанию, так и по дисперсному составу изменяется в широких пределах.

Запыленность воздуха на рабочих местах в карьерах при разработке различных пород не должна превышать предельно допустимых концентраций, мг/м³.

Таблица 1,2

Пыль, содержащая более 70% свободной SiO_2 в ее кристаллической модификации	1
Пыль, содержащая более 10% SiO_2 и более 10 % асбеста	2
Асбестовая пыль и пыль смешанная, содержащая более 10% асбеста	2
Пыль угольная и угольно-породная, содержащая более 10 и до 70 % свободной SiO_2	2
Пыль силикатов (тальк, оливин и другие), содержащая менее 10 % свободной SiO_2	4
Пыль барита, апатита, фосфорита, содержащая менее 10 % свободной SiO_2	4
Пыль угольная, не содержащая свободной SiO_2	10
Пыль слюды-сырца с примесью свободной SiO_2 до 28%	1
Пыль цемента, глины и минералов и их смесей не содержащих свободной SiO_2	6

2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ И ЕСТЕСТВЕННЫЙ ВОЗДУХООБМЕН

2.1. Прогноз загрязнения природной среды при добыче полезных ископаемых

Объем добычи и переработка полезных ископаемых в Казахстане, приводящие по ряду параметров окружающей среды, к ее загрязнению в отдельных промышленных регионах могут оценивать экологической ситуацией близкую к критической. Кроме того, если принять во внимание предприятия, которые обеспечивают горнодобывающую отрасль энергией, материалами, оборудованием и т.д. то экологическая ситуация района еще более усугубляется.

В таких условиях дальнейшее развитие добычи полезных ископаемых в отдельных областях Казахстана должно производиться под строжайшим контролем его экологического состояния. При этом контроль должен осуществляться как во всего регионе, так и в отдельных предприятиях добывающих, поставляющих и потребляющих отраслей. Отсюда следует, что необходим системный подход к решению экологических проблем промышленного региона.

Приоритетным направлением контроля окружающей среды предприятий является создание системы мониторинга качества атмосферного воздуха в зонах интенсивного выброса вредных веществ. Для создания систем мониторинга атмосферы, кроме регистрирующих приборов и пункта регистрации, необходимо также установить зависимость между величинами, характеризующими состояние окружающей среды.

Установление строгих зависимостей между величинами, характеризующими состояние атмосферного воздуха, позволит прогнозировать степень загрязнения рабочих зон предприятия. Одной из наиболее важных величин, определяющих загрязнение воздуха, является интенсивность пылевыведения при различных технологических процессах, которая в свою очередь зависит от многих физических и технологических процессов.

Интерес к изучению интенсивности пылевыведения не ослабевает до настоящего времени. В работах Никитина В.С. предлагаются для определения интенсивности пылевыведения полученные эмпирические формулы, которые содержат множество трудно определяемых коэффициентов. Использование этих формул для практического применения расчета прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха оказалось практически очень затруднено.

В настоящее время интерес к изучению интенсивности выбросов вредных твердых веществ приобретает еще большее значение в связи с огромными объемами отходов горного производства, занимающих площади в несколько тысяч га.

Исследованиями установлено, что примерно 80 % горной массы складирована в отвалы и в хвостохранилища. При этом площадь нарушенных земель составляет 214 тыс. га и становится мощным источником пылеобразования и загрязнения больших территорий. Примерно такие же большие площади занимают отходы горно-обогатительных комбинатов Казахстана, которые влияют на экологическое состояние атмосферы.

В работах Собко В.Е. рассматриваются процессы диффузии над поверхностью источника загрязнения атмосферы вредными примесями совершенно нетрадиционным подходом. Независимо от вида источников, деление которых является совершенно условными, и от технологического процесса интенсивность источников пылевыведения должна характеризоваться определенными физическими величинами, которые описывают все виды источников вредных выбросов. К ним можно отнести геометрические размеры, гранулометрический состав, в частности, процентное содержание пыли на поверхности и во всем объеме, скорость воздушного потока, место отбора проб и коэффициент оседания.

Любой источник в основном представляет собой несвязную среду с локальной неоднородностью. Распределение пылевидных частиц на поверхности и во всем объеме источника является одним из важных характеристик интенсивности пылевыведения. Поэтому в выражении, описывающем интенсивность пылевыведения источника загрязнения окружающей среды, должна содержаться поверхностная площадь и процентное содержание пыли на поверхности источника выделения вредных веществ.

Рассматривая сферический источник пылевыведения с поверхностной площадью S , на которую действуют различные явления, приводящие к вертикальной диффузии, удалось получить аналитическую зависимость интенсивности пылевыведения. При этом использовался метод статистической физики, основанный на определении числа частиц в вероятном направлении движения. Такой подход позволил получить выражение для определения интенсивности пылевыведения, которое можно представить в следующей формуле

$$I = \frac{1}{4} N_3 u S e^{-kr} \quad (2.1)$$

где I - интенсивность пылевыведения, $мг/с$;

N_3 - запыленность воздуха $мг/м^3$;

u - средняя скорость воздушного потока $м/с$;

k - коэффициент оседания пыли, $1/м$;

r - расстояние от источника до места отбора проб на запыленность, $м^2$;

S - площадь источника пылевыведения, $м^2$.

Как видно из формулы 2.1, она содержит основные характеристики источника загрязнения атмосферы и скорость воздушного потока. Величина скорости воздушного потока зависит от климатических условий рассматриваемого региона. Таким образом, полученная формула учитывает основные характеристики пылевыведения и окружающей среды.

Следует отметить что, эту формулу, хотя и получена она для источника сферической формы, можно использовать для любого вида источника пылевыведения. Это объясняется тем, что в (2.1) поверхностная плотность входит в общем виде и пространственная ее ориентация учтена коэффициентом k . Можно утверждать, что эта формула является более универсальной для того, чтобы учесть влияние технологических процессов, позволяющих учитывать тот или иной процесс. Величина коэффициента k зависит от длительности процесса вторичного пылеобразования, поэтому установление его для каждого технологического процесса является задачей опытно-промышленных испытаний и лабораторных исследований. Лабораторные исследования должны проводиться на моделях, которые должны быть адекватны реальным процессам.

Таким образом, интенсивность всех источников загрязнения воздуха твердыми выбросами описывается зависимостью экспоненциального вида, включающей в себя все основные величины, характеризующие источники и воздушный поток.

2.2. Источники загрязнения атмосферы карьеров

Основные источники загрязнения атмосферы карьеров вредными газами можно разделить на два типа: внутренние и внешние. Внешние источники располагаются за пределами верхнего контура карьера. К внешним источникам относятся дробильные и обогатительные фабрики, отвалы пустых пород и склады забалансовых руд, котельные, заводы и автомобильные дороги. К внутренним источникам пыле- и газообразования относятся механизмы, технологические процессы и автомобильные дороги, располагающиеся внутри карьера. Внутренние источники могут вызывать как местное, так и общее загрязнение.

Все источники выделения вредных примесей можно разделить на точечные, линейные и равномерно распределенные, а во времени - кратковременного и непрерывного действия. К точечным источникам относятся буровые станки, экскаваторы и др.; к линейным - автодороги, выделение газов из пластов. К равномерно распределенным относится срыв пыли с поверхности уступов и бортов карьера энергией ветра.

При бурении шарошечными станками наибольшую опасность представляет мелкодисперсная пыль. Работа станков без средств пылеподавления приводит к образованию пыли, содержание которой в атмосфере десятки раз превышает предельно-допустимые концентрации. Применение средств пылеподавления и пылеулавливания значительно снижает запыленность воздуха.

Воздействие высокотемпературных газовых струй на породу при термическом бурении приводит к образованию газопылевой смеси. Запыленность воздуха при различных операциях бурения и при отсутствии средств пылеулавливания может достигать несколько тыс. мг/м³.

Количество и состав газов, образующихся при огневом бурении, изменяется в широких пределах и зависит от таких факторов, как химический состав горючего и окислителя, режима работы горелки, глубины скважины и др. Содержание газов значительно превышает предельно допустимые концентрации.

При взрывных работах образуется большое количество пыли и вредных газов. Процесс образования пыли и газов при взрывных работах и ее пылеподавление - вопрос довольно сложный, заслуживает особого внимания и более детально будет рассмотрен позднее.

Выемочно-погрузочные работы при разработке месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом, как правило, выполняются оборудованием циклического и непрерывного действия. К механизмам циклического действия относится, например, одноковшовый экскаватор, который производит следующие операции: черпание, поворот и разгрузку. Каждый из этих указанных процессов загрязняет карьер с различной интенсивностью. При операции черпания пыль образуется от обрушения породы в забое и ее измельчении при воздействии ковша с породой, а также породы друг с другом. Просыпание горной массы происходит при повороте экскаватора и также приводит к образованию пыли. Процесс разгрузки в транспортные средства также сопровождается пылеобразованием.

Большое влияние на интенсивность выделения пыли в процессе экскавации оказывает состояние горной массы, т.е. от гранулометри-

ческого состава, влажности и вязкости, а также от скорости ветра и организации работ в забое.

Запыленность воздуха во многом зависит от времени года. Так например, в летнее время (июнь-август) в кабине экскаваторов запыленность достигает до 30 мг/м^3 , а в зимнее - около 10 мг/м^3 без применения средств пылеподавления. Главной причиной повышенной запыленности в летнее время является пониженная влажность воздуха и горной массы.

Существенное влияние на запыленность воздуха при экскавации горной массы оказывает скорость и направление ветра, а также работа находящихся по соседству механизмов и технологические процессы.

Пылеподавление при погрузочных работах основано на увлажнении пылевидных частиц горной массы до рациональной величины. При экскавации орошенной водой разрыхленной горной массы в результате повышения влажности содержащихся частиц пыли уменьшается пылевыделение и соответственно снижается запыленность воздуха. Принимая изменение запыленности воздуха dN пропорционально приращению влажности $d\varphi$, дифференциальное уравнение уменьшения запыленности воздуха при погрузочных работах можно представить в виде

$$dN = -\alpha N d\varphi, \quad (2.2)$$

где N - концентрация пыли при естественной влажности вычетов атмосферного фона, мг/м^3 ;

α - коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение запыленности воздуха при изменении на единицу влажности пыли.

Проинтегрировав дифференциальное уравнение, получим функциональную зависимость для определения концентрации пыли в зависимости от влажности при погрузочных работах

$$N_k = N e^{\alpha(\varphi_e - \varphi)} \quad (2.3)$$

где φ_e - естественная влажность пылевидных частиц по массе, %;

φ - конечная влажность пылевидных частиц по массе, %.

Решив уравнение (2.3) относительно φ , получим формулу для определения величины влажности, при которой запыленность воздуха не будет превышать предельно допустимую концентрацию

$$\varphi = \varphi_e - \frac{1}{\alpha} \ln \frac{N_k}{N} \quad (2.4)$$

где N_k - конечная запыленность воздуха, равная предельно допустимой концентрации, мг/м^3 .

Коэффициент пропорциональности α зависит прежде всего от физико-механических свойств пылевидных частиц горной массы.

Запыленность воздуха в кабине экскаватора существенно зависит и от удельной сдуваемости пыли с развала горной массы. На сдуваемость пыли оказывает существенное влияние скорость воздушного потока. На рис. 2.1 приведена эта зависимость.

Борьба с пылью при экскаваторных работах должно проводиться по трем основным направлениям:

- 1) мероприятия по уменьшению пылеобразования в забое и изоляции рабочих мест;
- 2) выбор технологического режима погрузки с учетом направления воздушного потока и расположения смежных источников пылеобразования;
- 3) квалифицированное управление горными машинами и уход за ними.

Некоторые теоретические основы пылеподавления при погрузочных работах заслуживают особого внимания. Работа автомобильного транспорта является одним из основных источников загрязнения атмосферы карьеров пылью и газами.

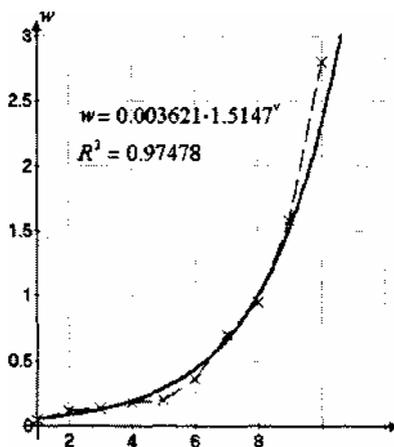


Рис. 2.1, Зависимость удельной сдуваемости пыли от скорости воздушного потока

В настоящее время для снижения пылевыведения на автомобильных дорогах при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом применяются следующие мероприятия:

- 1) орошение дорог водой поливочными машинами, а на обще карьерных автодорогах стационарными оросительными установками;
- 2) орошение растворами гигроскопических солей и эмульсий;

3) нанесение на поверхность дорог порошкообразного или гранулированного хлористого кальция;

4) обработка стационарных дорог нефтью или топочным мазутом.

Выбор способа обеспыливания и оптимального режима подавления пыли различными растворами и составами постоянных и временных карьерных автодорог должен производиться с учетом климатических условий района и технико-экономических показателей.

Интенсивность пылевыведения на карьерных автодорогах существенно зависит от вида покрытия полотна дороги и скорости движения автомобиля. Интенсивность пылевыведения в зависимости от скорости движения автомобиля приведена на рис. 2.2.

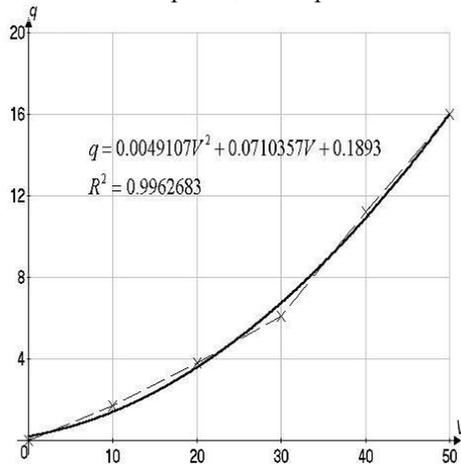


Рис. 2.2. Зависимость интенсивности пылевыведения от скорости движения автосамосвала БелАЗ-540

Интенсивность пылевыведения на автомобильных дорогах с гравийным покрытием увеличивается при увеличении скорости автомобиля.

Применение различных растворов солей, эмульсий и других средств пылеподавления необходимо производить после подготовки полотна автомобильных дорог. В процессе обработки полотна дороги должны соблюдаться операции, рекомендуемые разработчиками. Регулярная поливка автодорог водой снижает запыленность воздуха до уровней предельно допустимых концентраций. При этом необходимо производить орошение обочин дорог. Наряду с положительным эффектом при высоких температурах воздуха происходит большой рас-

ход воды и износ покрытия дороги. Применение воды возможно только при положительных температурах.

Эффективность орошения автодорог увеличивается при применении водных растворов солей. Исследования показали, что при отсутствии дождей 10-20- и 30 % - ные растворы хлористого кальция снижают запыленность воздуха до предельно допустимых концентраций в течение 2-5 суток (рис.2.3). При этом эффективность действия водных растворов хлористого кальция существенно зависит от интенсивности движения автомашин.

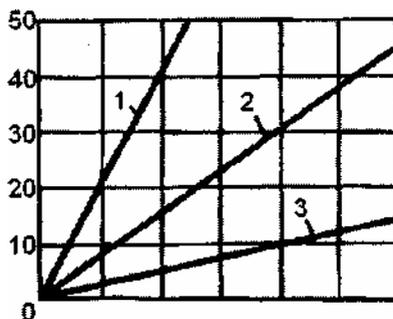


Рис. 2.3. Зависимость срока действия растворов хлористого кальция от интенсивности движения машин 1-150 маш/ч; 2-75 маш/ч

Для обработки стационарных карьерных автодорог применяются нефть и топочный мазут. Эффективность действия топочного мазута, как показали исследования, при удельном расходе $4,5 \text{ кг/м}^2$ составляет 1,5-2 месяца. Существенным недостатком рассмотренных методов борьбы с пылью на временных и стационарных автодорогах является износ гравийного покрытия (рис. 2.4). Исследования показали, что износ гравийного покрытия зависит от работы силы трения.

Загрязнение атмосферы обусловлено многими факторами жизнедеятельности человека, однако одним из основных источников этого процесса являются выбросы отработавших газов двигателя

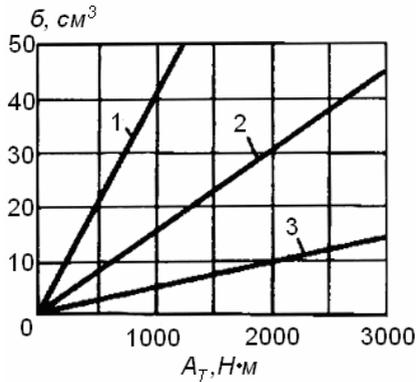


Рис. 2.4. Износ гравийного дорожного покрытия в зависимости от применяемых способов уменьшения пылевыделения: 1 - полив водой; 2 - без полива; 3 - обработка нефтью

внутреннего сгорания. Расширение производства двигателей внутреннего сгорания с высокими технико-экономическими показателями и оснащение ими автомобилей, тракторов и дизель-генераторных установок приводит к значительному росту выброса вредных веществ в атмосферу. Содержание основных вредных компонентов отработавших газов дизелей по данным В.И. Смайлиса приведены в табл. 2.1.

Содержание основных вредных компонентов в отработавших газ дизелей при режиме полной нагрузки

Таблица 2. 1

Компоненты отработавших газов	Концентрация, г/м³
Окись углерода, CO	0,25-2,5
Оксиды серы, SOx	0,10-0,70
Альдегиды (к акролеину)	0,01-0,04
Углеводороды суммарно, СЯ	0,25-2,0
Оксиды азота суммарно, NO,	2,0-8,0
Сажа	0,05-0,50

Оксиды азота NO_x являются одним из основных токсичных веществ отработавших газов дизелей. Их доля по результатам исследования составляет от 60 % до 96 % общей токсичности выхлопных газов. Таким образом, токсичность отработавших газов дизелей во многом определяется содержанием в них окислов азота. При совершенствовании рабочего процесса с целью улучшения экологических показате-

телей дизеля стремятся в первую очередь добиться сокращения выброса окислов азота.

Основными факторами технологического аспекта, влияющими на выброс окислов азота, являются параметры воздуха на режиме впуска, режим работы двигателя, характеристики топлива и применяемых присадок к топливу, рециркуляция и перепуск отработавших газов. Применяемые способы очистки выхлопных газов от вредных примесей можно разделить на следующие группы: жидкие и твердые реагенты, обеспечивающие улавливание; химическую и механическую очистку газов; пламенные или каталитические дожигатели, дожигающие ядовитые примеси в выхлопных газах.

Для снижения вредного влияния на окружающую атмосферу выбросов технологического и вспомогательного автотранспорта наиболее перспективными являются комбинированные нейтрализаторы, предусматривающие двухстадийную очистку. На первой стадии каталитическое дожигание, на второй - промывка химическими растворами. К основным факторам следует отнести отработку оптимального режима работы двигателей внутреннего сгорания с применением качественного топлива и присадок к ним, изменение конструкций камер сгорания топлива.

2.3. Естественный воздухообмен в карьере

Естественный воздухообмен в карьерах осуществляется энергией двух естественных сил: термических, возникающих за счёт разности температур отдельных слоев массы заполняющего карьер воздуха, и динамических - за счёт ветра. Термические силы определяются интенсивностью притока солнечной радиации и теплом, выделяемым при окислительных процессах и пожарах. Приток солнечной радиации на земную поверхность в зависимости от её широты изменяется в течение суток, а в карьерах ещё зависит от угла между направлением солнечных лучей и нормалью к откосу их бортов. Тепловые условия северного и южного бортов карьеров особенно резко отличаются в зимний и весенний периоды года. Например, на северный борт Коркинского карьера в течение года за счёт инсоляции поступает на 40 % больше тепла, чем на южный борт. Вследствие изменения температуры бортов карьеров происходит формирование в них воздушных потоков различного направления в течение суток. При ветрах менее 1м/с вертикальные перемещения воздушных масс определяются величиной и знаком вертикального температурного градиента. Зависимости вертикального температурного градиента от скорости ветра, приведённые на рис. 2.5,

показывают, что на уровне 2 м температурный градиент при скорости ветра 1 м/с и более не зависит от скорости и по величине равен сухоадиабатическому градиенту температур. Величина температурного градиента на уровне 1 м уменьшается с увеличением скорости ветра и при скоростях 5 м/с и более остается почти постоянной и имеет значение выше сухоадиабатического градиента температур. Это показывает, что при скоростях ветра 1 м/с и более термический фактор в слое воздушного потока толщиной 2 м выполняет подчинённую роль турбулизатора, способствующего интенсивному процессу теплообмена.

В зависимости от того, самостоятельно или совокупно действуют силы, формирующие воздушные потоки, а также и от геометрических параметров карьеров, в них возникают следующие 4 основные схемы естественного воздухообмена: конвективная, инверсионная, рециркуляционная и прямочная. Первые две схемы возникают в карьерах под влиянием термических сил, при действии которых там также может возникать инверсионно-конвективная схема, представляющая сочетание элементов этих 2-х схем естественного воздухообмена.

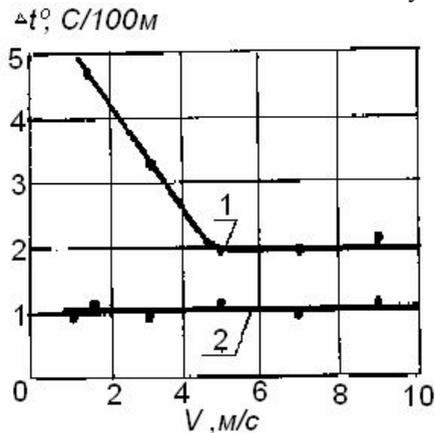


Рис. 2.5. Зависимость вертикального температурного градиента от скорости ветра: 1 - на уровне 1 м, 2 - на уровне 2 м

Конвективная и инверсионная схемы движения воздушного потока в карьерах возникают при безветренной или слабоветренной погоде, так как при наличии ветра температурные перепады у бортов карьеров быстро сглаживаются и тем самым ликвидируется формирование потоков под действием термических сил.

При скоростях ветра 0,8-1 м/с и более тепловые схемы естественного воздухообмена переходят в ветровые: прямочную и рецир-

куляционную. При ветрах в карьерах могут иметь место и комбинированные схемы: прямоточно-рециркуляционная и рециркуляционно-прямоточная. Их возникновение обуславливается рельефом местности, геометрическими размерами карьеров и порядком их отработки.

При ветровых схемах естественного воздухообмена термические силы не оказывают существенного влияния на движение воздуха в карьерах.

Таким образом, главными физическими величинами, определяющими схемы естественного воздухообмена в карьерах, являются скорость ветра u_0 , величина и знак вертикального градиента температур воздуха Δt . К основным параметрам карьеров, характеризующим условия воздухообмена в них, относятся размеры карьеров L на уровне поверхности l/H_K в направлении, перпендикулярном направлению ветра, и l на уровне поверхности в направлении движения ветра, глубина карьера H_K относительный размер углы откосов бортов (β_1 и β_2 - углов откосов бортов соответственно верхней и нижней группы уступов).

Схемы естественного воздухообмена в карьерах и условия их возникновения приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Схемы Воздухообмена	Определяющие физические Величины	Характеризующие Геометрические параметры карьера
Конвективная	$\Delta t > 1^0 c/100m, u_0 < 0,8 - 1,0 м/с,$ температура	Не зависит от L, H_K и β .
Инверсионная	$\Delta t = 1^0 c/100m, u_0 > 0,8 - 1,0 м/с,$ температура	То же.
Рециркуляционная	$\Delta t = 1^0 c/100m, u_0 > 0,8 - 1,0 м/с,$ ветер	При $\frac{l}{H_K} < 5 - 6, \beta > 15^0$
Прямоточная	$\Delta t = 1^0 c/100m, u_0 > 0,8 - 1,0 м/с,$ ветер	При $\frac{l}{H_K} \geq 5 - 6, \beta \leq 15^0$ и равномерной отработке уступов подветренного борта.
Рециркуляционно - прямоточная	$\Delta t = 1^0 c/100m, u_0 > 0,8 - 1,0 м/с,$ ветер	При $\frac{l}{H_K} > 8 - 10, \beta > 15^0$
Прямоточно - рециркуляционная	$\Delta t = 1^0 c/100m, u_0 > 0,8 - 1,0 м/с,$ ветер	При $\frac{l}{H_K} > 8 - 10, \beta > 15^0,$ $\beta_1 \leq 15^0$ и $\beta_2 > 15^0.$

При скоростях ветра $0,8 - 1 м/с$ и более движение воздуха в карьерах подчиняется законам свободных турбулентных струй и притом

зона согласного движения воздуха с направлением ветра на поверхности является турбулентной струёй первого рода, а зона обратного движения воздуха - турбулентной струёй второго рода.

Струя называется свободной, если она не ограничена твёрдыми стенками. При турбулентном движении в струе происходят беспорядочные перемешивания массы воздуха, которые при поперечном движении попадают за пределы струи и, вступая в соприкосновение с окружающей воздушной средой, увлекают её слои. Свободная турбулентная струя вместе с увеличенной массой окружающей среды образует турбулентный пограничный слой, толщина которого в направлении движения возрастает. Горизонтальные составляющие скорости потока в поперечном сечении пограничного слоя распределяются неравномерно и на его внешней границе, соприкасающейся с неподвижной средой, равны нулю. Скорость на внутренней границе пограничного слоя равна скорости невозмущённого потока.

В условиях естественного воздухообмена в карьерах горизонтальные составляющие скорости потока на внешней границе пограничного слоя определяются углом откоса их подветренных бортов, а на внутренней границе равны скорости ветра на поверхности.

2.3.1. Конвективная схема воздухообмена

Конвективный воздухообмен в карьерах возникает в том случае, если вертикальный температурный градиент положителен и по величине больше сухоадиабатического градиента температур. При этой схеме в карьерах воздухообмен осуществляется восходящими по их бортам воздушными потоками (рис.2.6) . Причиной образования воздушных потоков служит различие в нагревании воздуха на бортах карьера и на той же высоте в свободной атмосфере. При этом вследствие неравномерного нагревания воздуха возникает горизонтальный барический градиент, причём в свободной атмосфере карьера давление будет больше, чем на его бортах. Следовательно, тёплые слои воздуха, прилегающие к нагретым бортам карьера, поднимаются по ним вверх, а верхние, менее нагретые слои воздуха, как более тяжёлые, спускаются вниз, которые в свою очередь, нагреваются и, становясь менее плотными, также поднимаются, а на их место снова поступают холодные слои воздуха и т.д.

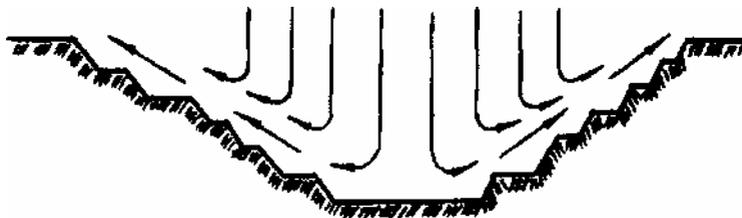


Рис. 2.6. Конвективная схема воздухообмена в карьере

Скорости потоков при конвективной схеме возрастают в направлении снизу вверх и на северном борту карьера как более прогревом получают выше, чем на южном. При глубине карьеров до 100 м - 120 м скорость потока у верхней бровки достигает 1,5 м/с.

$$u = 0,55K_1 \sqrt{g(H_k - h) \left(\frac{t_k}{t_n} - 1 \right) \sin \beta}, \text{ м/с}, \quad (2.5)$$

где K_1 , - коэффициент, учитывающий замедление воздушного потока вследствие влияния уступов ($K_1 = 0,11$ при высоте уступов 10—12 м и углах откоса бортов карьера 20° - 30°);

g - ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

H_k - глубина карьера, м;

h - глубина расположения точки от поверхности, в которой определяется скорость воздушного потока, м;

t_k t_n - соответственно температуры воздушных потоков в точке, расположенной на глубине h , и на поверхности карьера, $^\circ\text{C}$;

β - угол откоса борта карьера, град.

При этой схеме воздухообмена вследствие незначительных скоростей потоков не происходит интенсивное перемешивание воздушных масс и в загрязнении атмосферы карьеров участвуют только внутренние источники выделения вредных примесей, а внешние источники заметного влияния не оказывают. Для этой схемы характерны в основном местные загрязнения, что является её преимуществом по сравнению с другими схемами воздухообмена, связанными с общим загрязнением атмосферы карьеров.

2.3.2. Инверсионная схема воздухообмена

В карьерах при отрицательных значениях вертикального градиента температур воздухообмен осуществляется по инверсионной схеме.

При этой схеме могут быть два случая воздухообмена, хотя они основаны на одном и том же физическом явлении.

К первому относится воздухообмен в карьерах, расположенных на равнине или во впадинах, выработанное пространство которых представляет замкнутый контур (рис. 2.7). В таких карьерах при инверсиях охлаждённый воздух по всем бортам стекает в глубокую часть, в результате чего на дне образуются слои холодного воздуха, загрязнённого пылью и газами. При этом глубина изменяется в больших пределах и даже может быть равна глубине карьера. Скорости потоков у верхних бровок карьера не превышают 1 м/с, а под уровнем инверсии - 0,1 м/с.

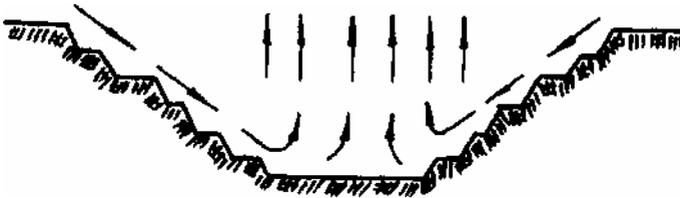


Рис. 2.7. Инверсионная схема воздухообмена в карьере с замкнутым контуром

Скорости потоков на откосах бортов карьера выше слоя инверсии ориентировочно могут быть определены по формуле

$$u = K \sqrt{2gh \sin \beta \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{к}}}{T_{\text{п}}}}, \text{ м/с}, \quad (2.6.)$$

где K – экспериментальный коэффициент, учитывающий уменьшение сил гравитации за счёт адиабатического нагревания воздуха, наличия уступов и трения стекающего воздушного потока о слои неподвижного воздуха ($K = 0,35$ при высоте уступов 10 - 12 м и углах откоса борта 25 - 30 °);

h - глубина расположения точки от поверхности, в которой определяется скорость воздушного потока, м; $T_{\text{к}}$, $T_{\text{п}}$ - средние абсолютные температуры воздуха на поверхности в точке, расположенной на глубине h , °К.

Этот случай инверсионной схемы воздухообмена наиболее неблагоприятен, так как при этом в карьерах происходит накопление вредных примесей и загрязнение общей атмосферы, а их вынос начинается лишь после заполнения карьера холодным воздухом до уровня поверхности. В общем загрязнении участвуют не только все внутренние, но и внешние источники выделения вредных примесей, расположенные по периметру карьера.

Ко второму случаю относится воздухообмен в карьерах, расположенных на косогорах и обрабатываемых без образования замкнутого контура (рис. 2.8). При инверсиях такие карьеры проветриваются нисходящим охлаждённым воздушным потоком, который стекает в прилегающую к карьере долину, вынося из него все вредные примеси. При этом в карьерах общие загрязнения атмосферы или застойные зоны не возникают. Скорости потоков на откосах бортов карьера возрастают сверху вниз и при больших значениях вертикального градиента температур воздуха, крутых углах откосов и их большой протяжённости могут достигать 4-5 м/с и более, чем обеспечивают интенсивное проветривание как всего карьера, так и отдельных рабочих мест.



Рис. 2.8. Инверсионная схема воздухообмена в косогорном карьере без замкнутого контура

В этом случае скорости потоков на откосах бортов карьера также могут быть ориентировочно определены по формуле (2.6).

2.3.3. Инверсионно - конвективная схема воздухообмена

Если воздух одного из бортов карьера находится в состоянии радиационного охлаждения, а другого подвергается инсоляции, то возникают условия, при которых вертикальный градиент температур воздуха на одном из бортов может иметь отрицательное значение, а другом положительное и по величине отличается от сухоадиабатического градиента температур. В таких случаях в карьерах по одним бортам воздух стекает вниз, а по другим движется вверх и схема воздухооб-

мена в них называется иверсионно - конвективной (рис. 2.9). Такие условия в карьерах возникают в периоды захода или восхода солнца и продолжительность их действия бывает незначительна. Этой схеме присущи все недостатки конвективной и иверсионной схем воздухообмена в карьерах.



Рис. 2.9. Инверсионно-конвективная схема воздухообмена в карьере

Скорости воздушных потоков на откосах бортов карьера не превышают 1–1,5 м/с и минимальны в его глубокой части.

При инверсионно-конвективной схеме масса неподвижного воздуха на дне карьера не образуется или её высота будет незначительна. Эта схема после захода солнца переходит в инверсионную, а после восхода - в конвективную схему воздухообмена.

2.3.4. Рециркуляционная схема воздухообмена

Рециркуляционная схема воздухообмена в карьерах возникает при скоростях ветра более 0,8–1 м/с и углах откосов подветренного борта $\beta > 15^\circ$ или $\beta \leq 15^\circ$, но при различном опережении уступов относительно друг друга, вследствие чего на значительной части их (50 % и более) создаются условия для циркуляции потоков обратного направления.

Структура воздушного потока при рециркуляционной схеме воздухообмена по сечению карьера, совпадающему с направлением ветра, представлена на рис. 2.10. Поток воздуха, попадая в карьер, по мере движения деформируется, расширяется и образует турбулентный пограничный слой, охватываемый между линиями OP и OP_2 .

Внутренняя граница пограничного слоя проходит по линии $OPAK$, на которой горизонтальная составляющая скорости u равна скорости ветра u_0 .

Внешняя граница пограничного слоя определяется линией OC , на которой горизонтальная составляющая скорости ветра равна нулю, и образует с осью OX угол наклона $\alpha \approx 15^\circ$. Заторможенная часть первоначальной массы струи заключена между линиями OPA и OP_1B ; встре-

тив противоположный борт, обтекает его и обеспечивает вынос из карьера вредных примесей.

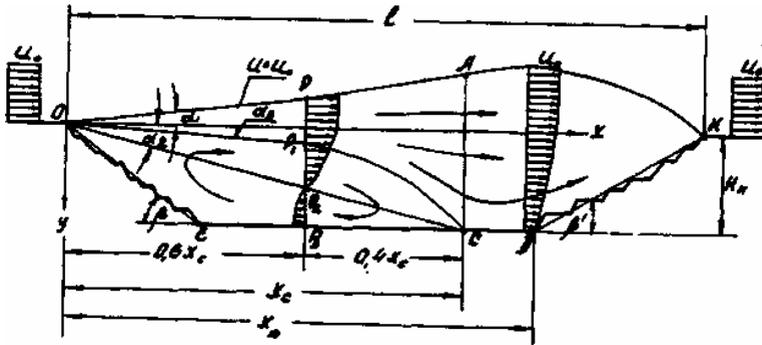


Рис. 2.10. Рециркуляционная схема воздухообмена в карьере

Поток воздуха, заключённый между линиями OP_1B и OP_2C , за сечением P_1P_2 поворачивается на 180° , движется в противоположном направлении и поступает в противоположном основном потоку на участке OP_2 . Таким образом, между струями первого и второго рода происходит непрерывная циркуляция воздуха, которая обеспечивает вынос в пограничный слой вредных примесей, выделяемых в глубокой части карьера $BCDE$ и на его подветренном борту EO .

Прямолинейность внутренней, внешней границ пограничного слоя и заторможенной части первоначальной струи сохраняется на участке от точки срыва воздушного потока O до сечения PP_2 , а далее они претерпевают деформацию. Внутренняя граница за сечением PP_2 изгибается вверх и имеет максимальную деформацию в сечении AB , так как в этом сечении отсутствует струя второго рода. Далее внутренняя граница изгибается вниз до точки K . Положение сечения AB определяется точкой встречи линии OB , проходящей под углом 10° , с наветренным бортом карьера. Внешняя граница заторможенной части первоначальной массы струи на участке OP_1 прямолинейна и далее изгибается вниз до точки B .

Воздушный поток в карьерах приобретает такую структуру, когда внешняя граница пограничного слоя OC выходит на их наветренный борт, т.е. в карьерах с отношением геометрических размеров

$$\frac{l}{H_k} < 5 - 6.$$

2.3.5. Изменение скорости воздушного потока при рециркуляционной схеме воздухообмена

При рециркуляционной схеме безразмерная скорость воздушного потока в турбулентной струе первого рода описывается функцией

$$\frac{u}{u_0} = F'(\varphi), \quad (2.7)$$

где u_0 – скорость внутренней границы пограничного слоя в области невозмущённого потока, м/с.

При этом $F'(\varphi)$ - первая производная от некоторой функции $F(\varphi)$, которая пропорциональна функции тока, выражающей расход воздуха через сечение пограничного слоя длиной в поперечном направлении $L=I$, т.е.

$$\varphi = \int u dy = axu_0 \int F' d\varphi = axu_0 F(\varphi), \quad (2.8)$$

где a - коэффициент структуры струи, величина которого определяется опытным путём;

x, y - координаты точки, в которой определяются составляющие скорости потока; φ - безразмерная ордината пограничного слоя струи первого рода.

Безразмерная ордината определяется как

$$\varphi = \frac{y}{ax} \quad (2-9)$$

Основное дифференциальное уравнение пограничного слоя плоскопараллельной струи имеет вид

$$F''' + F' = 0 \quad (2.10)$$

Полный интеграл уравнения (2.10) равен

$$F(\varphi) = C_1 e^{-\varphi} + C_2 e^{\frac{\varphi}{2}} \cos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\varphi\right) + C_3 e^{\frac{\varphi}{2}} \sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\varphi\right) \quad (2.11)$$

Для вычисления постоянных интегрирования C_1, C_2, C_3 и нахождения значений φ , характеризующих внутреннюю φ_1 и внешнюю φ_2 границы потока, пользуются следующими пятью граничными условиями:

1. на внутренней границе пограничного слоя ($\varphi = \varphi_1$) имеем:

а) вертикальная составляющая скорости V равна нулю, т.е.

$$F(\varphi_1) = \varphi_1 \quad (2.12)$$

б) горизонтальная составляющая скорости и равна скорости не возмущённого потока u_0) т.е.

$$F'(\varphi_1) = \frac{u}{u_0} = 1 \quad (2.13)$$

с) градиент горизонтальной составляющей скорости $\frac{\partial u}{\partial y}$ равен нулю, т.е.

$$F''(\varphi_1) = 0 \quad (2.14)$$

2) на внешней границе пограничного слоя ($\varphi = \varphi_2$) имеем:

а) горизонтальная составляющей скорости $(\frac{\partial u}{\partial y})$ равна нулю, т.е.

$$F'(\varphi_2) = 0; \quad (2.15)$$

б) градиент горизонтальной составляющей скорости $(\frac{\partial u}{\partial y})$ равен нулю, т.е.

$$F''(\varphi_2) = 0 \quad (2.16)$$

При вышеприведённых граничных условиях получены следующие результаты вычислений:

$$\varphi_1 = 0,981; \quad \varphi_2 = -2,040; \quad c_1 = -0,0176; \quad c_2 = 0,1336; \\ c_3 = 0,6876.$$

Подставляя числовые значения постоянных интегрирования и безразмерных ординат внутренней и внешней границ пограничного слоя в уравнение (2.11), получим искомую функцию

$$F(\varphi) = \frac{\phi}{axu_0} = -0,0176e^{-\varphi} + 0,1337e^{\frac{\varphi}{2}} \cos \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi + 0,6876 \sin \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi e^{\frac{\varphi}{2}}; \quad (2.17)$$

По условию (2.13) горизонтальная составляющая скорости в пограничном слое $\frac{u}{u_0} = F'(\varphi_1)$, тогда при рециркуляционной схеме воздухообмена в карьерах безразмерная величина для струи первого рода описывается уравнением

$$\frac{u}{u_1} = F'(\varphi) = -0,0176e^{-\varphi} + 0,1337 \frac{1}{2} e^{\frac{\varphi}{2}} \cos \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi - 0,1337 \frac{\sqrt{3}}{2} e^{\frac{\varphi}{2}} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi + \\ + 0,6876 \frac{1}{2} e^{\frac{\varphi}{2}} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi + 0,6876 \frac{\sqrt{3}}{2} e^{\frac{\varphi}{2}} \cos \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi = \\ = 0,0176e^{-\varphi} + 0,6623e^{\frac{\varphi}{2}} \cos \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi + 0,228e^{\frac{\varphi}{2}} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}\varphi. \quad (2.18)$$

Формула (2.18) применима для определения скорости и до сечения PP_2 прямолинейного участка пограничного слоя между φ_1 и φ_2 . Дальнейшая дополнительная деформация струи между сечениями PP_1 и AB не оказывает существенного влияния на распределение скоростей на этом участке. Поэтому формула (2.18) практически применима и для определения распределения горизонтальных скоростей между сечениями PP_1 и AB . Значение φ в формулу (2.18) подставляется с учётом знака. Для уменьшения объёма вычислений рекомендуется пользоваться таблицей показательных и тригонометрических функций в дуговых единицах.

Вертикальная составляющая скорости на границе φ_2 определяется уравнением

$$v = au_0 [\varphi_2 F'(\varphi_2) - F(\varphi_2)]. \quad (2.19)$$

Зная угол между внешней границей пограничного слоя OC и осью OX , равный $\alpha \approx 15^\circ$ и величину безразмерной ординаты, равную $\varphi_2 = -2,04$, можно вычислить значение коэффициента структуры струи

$$a = \frac{y_2}{x\varphi_2} = \frac{tg(-15^\circ)}{-2,04} = 0,131. \quad (2.20)$$

Подставляя значение a в выражение (2.9), получим формулу для определения величины безразмерной ординаты при рециркуляционной схеме воздухообмена для турбулентной струи первого рода

$$\varphi = \frac{y}{0,131x} = 7,64 \frac{y}{x}. \quad (2.21)$$

Внутренняя граница OP пограничного слоя определяется безразмерной ординатой φ_1 , т.е.

$$\varphi = \frac{y_1}{ax} = \frac{tg\alpha_1}{a} = 0,981$$

Отсюда угол наклона внутренней границы пограничного слоя будет равен

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{y_1}{x}\right) = \arctg(\varphi_1 a) = \arctg(0,981 \cdot 0,131) = 7^\circ 20'$$

Граница, отделяющая первоначальную массу струи от присоединенной, соответствует значению функции

$$F(\varphi_1) = 0. \quad (2.22)$$

Тогда безразмерная ордината, как видно из табл. 2. 3 «Значения основных функций пограничного слоя плоско - параллельной струи» равна

$$\varphi_3(F = 0) = -0,185, \quad (2.23)$$

которая соответствует углу наклона

$$\alpha_3 = \arctg\left(\frac{-y_3}{x}\right) = -\arctg(\varphi, a) = -\arctg(-0,981 \cdot 0,131) = 1^{\circ}25'$$

Вследствие дополнительной деформации скоростного поля в пограничном слое в зоне действия прямых потоков за сечением AB на наветренном борту карьера (на участке BK) закон распределения скоростей будет отличаться от уравнения (2. 1 8).

Исследования в натуре и на модели показали, что на участке BK скорость воздуха изменяется от $u = (0,10-0,15)u_0$ в точке B до $u = u_0$ в точке K .

На участке BK значения безразмерной ординаты φ изменяется от нуля для точки K , так как ордината в этой точке $y = 0$, до величины, определяемой положением точки B . Ввиду того, что точка B лежит на луче, проходящем под углом 10° , то безразмерная ордината, характеризующая положение точки B , определяется формулой (2.21), т.е.

$$\varphi_2 = 7,64 \frac{x}{y} = 7,64 \operatorname{tg}(-10^{\circ}) = -7,64 \cdot 0,1763 = -1,346. \quad (2-24)$$

Скорость воздушного потока на наветренном борту карьера, т.е. на участке BK , при рециркуляционной схеме воздухообмена может быть определена по эмпирической формуле

$$u = u_0(1 + 1,14\varphi + 0,348\varphi^2), \quad \text{м/с}, \quad (2.25)$$

которая справедлива при изменении φ в пределах

$$-1,346 \leq \varphi \leq 0. \quad (2.26)$$

Вынос вредных примесей из участка BC наветренного борта, глубокой части карьера и подветренного борта в заторможенную часть пограничного слоя ветрового потока осуществляется турбулентной струей второго потока, образованной и действующей беспредельной плоскопараллельной струей в объеме призмы OBC .

Осевая скорость потока второго рода на дне карьера между сечением P_2P_3 и подветренным бортом карьера, когда срыв струи второго рода происходит в точке C , определяется по формуле

$$u_M = 0,353u_0\left(\frac{H_C}{2,04ax_i} - 1\right), \quad \text{м/с}, \quad (2.27)$$

Значения основных функций пограничного слоя
плоскопараллельной струи

Таблица 2.3

φ	$F(\varphi)$	$F'(\varphi)$	φ	$F(\varphi)$	$F'(\varphi)$
0,98	0,98	1,00	-0,52	-0,1675	0,4133
0,88	0,8802	0,9953	-0,62	-0,2064	0,3651
0,78	0,7812	0,9817	-0,72	-0,2406	0,3189
0,68	0,6841	0,9609	-0,82	-0,2702	0,2752
0,58	0,5894	0,9322	-0,92	-0,2957	0,2341
0,48	0,4978	0,8981	-1,02	-0,3172	0,1960
0,38	0,4099	0,8590	-1,12	-0,3350	0,1611
0,28	0,3262	0,8158	-1,22	-0,3500	0,1285
0,18	0,2469	0,7694	-1,32	-0,3610	0,1014
0,08	0,1369	0,6953	-1,42	-0,3699	0,0769
0,00	0,1161	0,6799	-1,52	-0,3765	0,0562
-0,02	0,1028	0,6698	-1,62	-0,3813	0,0392
-0,12	0,0384	0,6182	-1,72	-0,3845	0,0259
-0,185	0,0000	0,5824	-1,82	-0,3866	0,0166
-0,22	-0,0208	0,5661	-1,92	-0,3879	0,0111
-0,32	-0,0748	0,5143	-2,02	-0,3889	0,0095
-0,42	-0,1237	0,4632	-2,04	-0,3890	0,0000

где x_l - абсцисса сечения рассматриваемой точки, измеряемая от точки C в направлении движения струи второго рода, м;

a - коэффициент структуры струи, его значение постоянно для струй первого и второго рода;

H_c - глубина расположения оси струи второго рода для данного профиля карьера, измеряемая от оси OX , м.

Положение сечения PP_3 , где начинается поворот присоединенных масс пограничного слоя и переход их в струю второго рода, определяется абсциссой, измеряемой от точки C ,

$$X=0,4X_C, \quad (2.28)$$

где $X_C = \frac{H_c}{\operatorname{tg} \alpha_2}$.

Из этого выражения следует, что вынос вредных примесей струёй второго рода осуществляется из участка BC наветренного борта, глубокой части карьера и подветренного борта в пограничный слой на

участке границы струи, примыкающем к подветренному борту, длина проекции которого на ось OX равна

$$X = 0,6X_C. \quad (2.29)$$

При этом вертикальная составляющая скорости на границе в соответствии с формулой (2.19) равна

$$v = au_0 [2,04 F'(\varphi_2) - F(\varphi_2)] = 0,389 au_0. \quad (2.30)$$

Таким образом, скорость и количество воздуха в струе второго рода возрастают от точки C к сечению P_2P_3 , а далее на последующем участке, длина проекции которого $0,6X_C$, убывают, равняясь нулю в точке O .

Максимальная осевая скорость струи второго рода в сечении P_2P_3 , когда дно карьера совпадает с горизонтальной осью этой струи, проводимой через точку C , равна

$$u_M = 0,525u_0, \text{ м/с}. \quad (2.31)$$

Скорость воздушного потока у поверхности площадок карьера с абсциссой больше $0,4 X_C$ и подветренного борта, где струя второго рода ограничена откосами, определяется по формуле

$$u_N = 0,381 \frac{u_0}{h_c} (H_C - 0,267x_i), \text{ м/с} \quad (2.32)$$

где h_c - высота от точки осевой скорости струи второго рода до внешней границы пограничного слоя плоскопараллельной струи, м.

Полученные аналитические зависимости для струи второго рода (2.36 - 2.41) справедливы на участке

$$0,4x_c \leq x_i < x_c. \quad (2.33)$$

На участке от B до P_3 скорость воздушного потока возрастает от (0,10-0,15) и 0 в направлении P_3 , где она достигает максимальной величины.

При развитии горных работ ниже горизонта с отметкой, соответствующей отметке точки встречи внешней границы пограничного слоя OC с наветренным бортом H_c более чем на 10 — 15 %, скорость воздушного потока у поверхности нижних уступов падает, в результате чего эффективность естественного воздухообмена ухудшается. Это объясняется тем, что количество воздуха, проходящего через сечение P_2P_3 , остаётся постоянным, а площадь этого сечения с углублением карьера увеличивается. При этом скорость воздуха у поверхности площадок уступов изменяется в обратной пропорции изменению данного сечения струи второго рода, т.е.

$$\frac{u_N}{u'_N} = \frac{h'_C}{h_c}, \quad (2.34)$$

где u'_N — скорость воздушного потока у поверхности площадок карьера с абсциссой больше $0,4X_C$ после углубления, м/с;

h'_c - высота от рассматриваемой точки до внешней границы пограничного слоя плоскопараллельной струи после углубления карьера, м.

2.3.6 . Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен в карьере при рециркуляционной схеме

Ширина пограничного слоя при рециркуляционной схеме воздухообмена составляет

$$b = ax(\varphi_1 - \varphi_2) = 0.131x(0.981 + 2,040) = 0,396, \text{ м,}$$

где x - абсцисса рассматриваемого сечения струи на прямолинейном участке пограничного слоя, м.

Количество воздуха, протекающего в единицу времени через произвольное сечение пограничного слоя, заключённого между φ_1 и φ_2 ср2 длиной в поперечном направлении $L=I$,

$$Q = \phi_1 - \phi_2 = axu_0[F(\varphi_1) - F(\varphi_2)], \quad (2.36)$$

где φ_1 и φ_2 — значения функций тока, соответствующие безразмерным ординатам φ_1 и φ_2 .

Из табл. 2.3 находим, что при $\varphi_1 = 0,981$ $F(\varphi_1) = 0,981$, $\varphi_2 = -2,040$ $F(\varphi_2) = -0,389$. Тогда формулу (2.36) можно представить как

$$Q = axu_0(0,981 + 0,389) = 1,37axu_0.$$

Прямолинейность границ пограничного слоя сохраняется на участке $X=0,6X_c$,

Тогда количество воздуха, протекающего в единицу времени через сечение пограничного слоя длиной в поперечном направлении $L=I$, будет равно

$$Q = 0,822ax_c u_c = 0,107x_c u_c, \quad (2.37)$$

где x_c как видно из рис. 2.10, абсцисса внешней границы OC пограничного слоя.

Вынос вредных примесей из зоны рециркуляции карьера (зона OP_1BCDP_3EO) осуществляется количеством воздуха в заторможенной части первоначальной струи, заключённой между безразмерными ординатами φ_1 и φ_3 проходящими через сечение PP_1 и далее через сечение AB . Следовательно, через сечения PP_1 и AB проходит одинаковое количество вредных примесей.

Количество воздуха, проходящего в единицу времени в заторможенной части первоначальной массы струи и осуществляющего разжижение и вынос вредных примесей из карьера при рециркуляционной схеме и $L=I$, определяется как

$$Q_B = \phi_1 - \phi_3 = axu_0[F(\varphi_1) - F(\varphi_3)], \quad (2.38)$$

где φ_3 - значение функции тока, соответствующее безразмерной ординате φ_3 .

Из табл. 2.3 видно, что при $\varphi_3 = -0,185$ $F(\varphi_3) = 0$, а величина $X=0,6X_c$. Тогда при размере карьера на уровне поверхности в направ-

лении, перпендикулярном направлению ветра на расстоянии $0,6X_c$ и равном L , количество воздуха, осуществляющего разжижение и вынос вредных примесей из карьера, определяется по формуле

$$Q_6 = 0,6ax_c u_0 (0,981-0)L = 0,077x_{c,cp} u_0 L, \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (2.39)$$

где $x_{c,cp}$ - средняя величина абсцисс внешней границы пограничного слоя OC , определяемая для параллельных разрезов через каждые $100 \text{ м.} - 200 \text{ м.}$

Из формулы (2.39) следует, что количество воздуха, обеспечивающего вынос вредных примесей из карьера, зависит от его геометрических размеров в плане и скорости ветра на поверхности.

Объём воздуха между границами φ_3 и φ_2 , обеспечивающего вынос вредных примесей из зоны ниже внешней границы пограничного слоя в заторможенную часть превоначальной массы ветрового потока или участвующего в рециркуляции, при $L=I$ определяется как

$$Q_B = \phi_3 - \phi_2 = ax u_0 [F(\varphi_3) - F(\varphi_2)], \quad (2.40)$$

или при $\varphi_3 = -0,185$ $F(\varphi_3) = 0$, $\varphi_2 = -2,040$ $F(\varphi_2) = -0,389$ и размере карьера на уровне поверхности в направлении, перпендикулярном направлению ветра, L получим

$$Q_P = 0,389ax u_0 L = 0,03x_{c,cp} u_0 L, \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (2.41)$$

Это есть максимальное количество воздуха, проходящего через сечение $P_1 P_2$ с абсциссой $X = 0,6X_c$.

2.3.7. Вынос вредных примесей из карьера при рециркуляционной схеме воздухообмена

При рециркуляционной схеме воздухообмена источники выделения вредных примесей, расположенные выше зоны рециркуляционного потока воздуха (участок ВК), в загрязнении общей атмосферы карьера не участвуют. Все остальные внутренние источники выделения пыли и газов, находящиеся в карьере в зоне обратных потоков воздуха, а также внешние источники, расположенные на наветренной стороне карьера, участвуют в загрязнении его общей атмосферы. Вследствие этого при рециркуляционной схеме воздухообмена работающие в карьере люди подвергаются совместному воздействию ряда выделяемых вредных примесей даже в случае расположения рабочих мест на значительном расстоянии от источников их выделения.

При рециркуляционной схеме воздухообмена и наличии источников непрерывного выделения вредных примесей вследствие рецир-

куляции части воздушного потока внутри карьера по замкнутому контуру в начальный момент загрязнения происходит постепенное их накопление и продолжается до тех пор, пока количество вредных примесей, выделяемых в единицу времени на участке карьера ВСДЕО и поступающих с наветренной стороны, не будет равно заносимому в заторможенную часть первоначальной массы струи и удаляемому из карьера количеству за этот же промежуток времени. При этом часть поступивших примесей непрерывно циркулируется с присоединенной массой воздуха, вследствие чего средняя концентрация вредных примесей в зоне обратных потоков становится приблизительно в 2 раза выше, чем в зоне прямых потоков на наветренном борту карьера.

Таким образом, поступающие в пограничный слой примеси как от внешних, так и от внутренних источников распределяются по всему его сечению PP_2 с концентрациями, равными их содержанию на линии OMP и максимальными на внешней границе OC . При дальнейшей циркуляции часть примесей, содержащихся в объеме воздуха, проходящем через сечение P_1P_2 , вновь заносится в зону обратных потоков и процесс повторяется. При установившихся аэродинамическом и газопылединамическом процессах концентрация примесей в атмосфере карьера остаётся постоянной. При рециркуляционной схеме воздухообмена более высокие концентрации примесей в общей атмосфере карьера характерны для зоны рециркуляции, а в остальной части карьера концентрация примесей будет значительно ниже. Следовательно, если при рециркуляционной схеме воздухообмена концентрация вредных примесей в общей атмосфере зоны рециркуляции воздушного потока не будет превышать ПДК, то в остальном объеме карьера состав общей атмосферы будет ниже ПДК. Поэтому расчёт загрязнения общей атмосферы следует вести по её составу в зоне рециркуляции. При рециркуляционной схеме воздухообмена средняя концентрация примесей в заторможенной части первоначальной массы C_{cp} может быть выражена через концентрацию примесей на внешней границе пограничного слоя C_k , т.е.

$$C_{cp} = kC_k \quad (2.42)$$

Концентрация примесей на внешней границе пограничного слоя практически равна средней концентрации примесей в струе второго рода.

Отношение средней концентрации примесей в заторможенной части первоначальной массы потока к концентрации примесей на внешней границе пограничного слоя установлено: при внутренних источниках выделения вредных примесей $K=0,382$; при внешних ис-

точника $K=0,62$; при наличии внутренних и внешних источников $K=0,5$.

Исходя из объёма воздуха, проходящего в единицу времени в заторможенной части первоначальной массы струи, допустимой концентрации вредной примеси C и её фактической концентрации, в поступающем в карьер воздухе можно определить суммарную интенсивность выделения вредной примеси G , при которой её содержание в атмосфере рециркуляционной зоны карьера не превышает предельно допустимую концентрацию:

а) при действии одних внутренних источников, расположенных в зоне обратных потоков воздуха,

$$G_1 = KQ_B(c - c_0') = 0,382 \cdot 0,077 x_{c,cp} u_0 L (c - c_0') = 0,029 x_{c,cp} u_0 L (c - c_0'), \text{ мккг/с} \quad (2.43)$$

б) при действии одних внутренних источников, расположенных с наветренной стороны вблизи карьера

$$G_2 = KQ_B(c - c_0') = 0,621 \cdot 0,077 x_{c,cp} u_0 L (c - c_0') = 0,048 x_{c,cp} u_0 L (c - c_0'), \text{ мккг/с}; \quad (2.44)$$

в) при совместном действии внутренних источников, расположенных в зоне обратных воздушных потоков, и внешних источников, расположенных с наветренной стороны вблизи карьера

$$G_{.2} = *e, (c - c_0') = 0,5 \cdot 0,077 * ccAL(c - Co') = 0,038 \wedge MoL(c - c_0'), \text{ МКкг/с}; (2A5)$$

При поступлении в карьер чистого воздуха, т.е. при $c_0' = 0$ и рециркуляционной схеме воздухообмена суммарная интенсивность выделения вредной примеси, при которой её содержание не превышает предельную допустимую концентрацию, определяется по формулам:

$$G_1 = 0,029 x_{c,cp} u_0 L c, \text{ мккг/с}; \quad (2.46)$$

$$G_2 = 0,048 x_{c,cp} u_0 L \text{ мккг/с}; \quad (2.47)$$

$$G_3 = 0,038 x_{c,cp} u_0 L c, \text{ мккг/с}; \quad (2.48)$$

где $G_1, G_2, G_{1,2}$ - суммарные интенсивности выделения одновременной примеси соответственно от внутренних и внешних источников и при их совместном действии.

2.3.8. Продолжительность проветривания карьера после штиля

В карьерах, где естественный воздухообмен осуществляется по рециркуляционной схеме, определение продолжительности проветривания после штиля представляет практический интерес. Для предупреждения вредного воздействия пыли и газов на людей работы в карьере не должны начинаться прежде, чем их содержание в воздухе не снизится до предельно допустимой концентрации.

Если после штiglia проветривание карьера осуществляется чистой струёй, проветриваемый объект карьера V_n с концентрацией вредных примесей в пограничном слое C_{cp} и на его внешней границе C_k , то количество воздуха, осуществляющего вынос вредных примесей из карьера qg , за время dt , количество примесей, выносимых из карьера, составляет $QVC_{cp}dT = QVKC_kdT$ и за это время вредные примеси в проветриваемом объёме уменьшаются на величину $Vndc_k$. Тогда дифференциальное уравнение, характеризующее изменение концентрации вредных примесей, можно представить в виде

$$KC_k Q_B d\tau = -V_{II} dc_k \text{ или}$$

$$d\tau = -\frac{V_{II}}{KQ_B} \cdot \frac{dc_k}{C_k} \quad (2.49)$$

Интегрируя (45), при начальных условиях $\tau=0$ $C_k=C_0$ получим

$$d\tau = -\frac{V_{II}}{KQ_B} \cdot \ln \frac{C_0}{C}$$

где C_0 – концентрация вредных примесей в атмосфере карьера в конце штiglia.

При этом проветривание карьера после штiglia должно осуществляться до тех пор, пока C_0 не снизится до предельно допустимой концентрации вредных примесей C .

Окончательно формулу (2.50) можно представить в виде

$$\tau = \frac{V_{II}}{0,382 \cdot 0,077 x_{c,cp} u_0 L} \ln \frac{C_0}{C} = \frac{78,28 V_{II}}{x_{c,cp} u_0 L} \lg \frac{C_0}{C}, \quad (2.51)$$

Проветриваемый объём карьера при рециркуляционной схеме воздухообмена

$$V_{II} = V_K - V_{BA'K} + V_{AOA'} = V_K - \frac{L}{2} (l_{CP} - x_{B,CP})^2 tg \beta_1' + 0,0643 x_{B,CP}^2 L, \quad (2.52)$$

где V_K – объём карьера, m^3 ;

l_{cp} – средний размер параллельных разрезов карьера на уровне поверхности в направлении движения ветра через каждые 100-200 м, м;

$x_{B,CP}$ – среднее значение абсцисс луча OB по параллельным разрезам через каждые 100-200 м, м;

$$0,0643 = \frac{tg \alpha_1}{2}$$

β_1' – угол откоса уступов наветренного борта карьера на участке BK .

2.3.9. Прямоточная схема воздухообмена

Прямоточная схема воздухообмена в карьерах возникает при скоростях ветра более $0,8-1\text{ м/с}$ и углах откосов подветренного борта $\beta < 15^\circ$ при равномерном опережении уступов относительно друг друга.

Структура воздушного потока при прямоточной схеме воздухообмена по сечению карьера, совпадающему с направлением ветра, приведена на рис. 2.11.

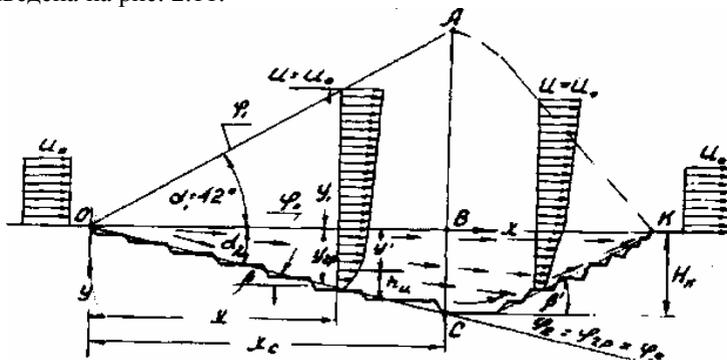


Рис. 2.11. Прямоточная схема воздухообмена в карьере

При этой схеме поток воздуха, попадая в карьер, по мере движения деформируется и полностью охватывает его объём. Внутренняя граница воздушного потока проходит по линии OAK , на которой горизонтальная составляющая скорости и равна скорости ветра u_0 . Внешняя граница потока определяется углом откоса подветренного борта карьера.

При этой схеме внешняя граница заторможенной части первоначальной воздушной массы совпадает с откосом подветренного борта карьера, т.е. безмерные ординаты $\varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_{0p}$, а внутренняя граница определяется безразмерной ординатой φ_1 , проходящей под углом α .

Прямолинейность внутренней и внешней границ воздушного потока сохраняется до сечения AC . При прямоточной схеме подобие скоростных полей в поперечных сечениях в прямолинейной части воздушной массы сохраняется так же, как и при рециркуляционной схеме, но имеет иной характер распределения. Относительные скорости при прямоточной схеме воздухообмена значительно больше, чем при рециркуляционной схеме.

Скорость воздушного потока в карьере падает в направлении к поверхности уступов, у которой она минимальна и составляет $(0,1-0,15) \cdot u_0$. У нижних бровок уступов подветренного борта возникают местные потоки обратного направления, размеры которых зависят от высоты уступов и ширины площадок.

При прямоточной схеме воздухообмена закон распределения скоростей на прямолинейном участке между границами OX и подветренным бортом карьера описывается уравнением

$$\frac{u}{u_K} = \cos \varphi \quad (2.53)$$

где u_x - скорость потока на оси OX , м/с;

φ - безразмерная ордината, изменяющаяся от 0 до -1,57.

Нижний предел безразмерной ординаты, равный -1,57, определяется граничной величиной безразмерной ординаты при $\alpha_2= 15^\circ$. По оси OX $\varphi_0 = 0$.

Безразмерная ордината при прямоточной схеме так же, как и при рециркуляционной, определяется

$$\varphi = \frac{y}{a_1 x} = \frac{tg \alpha_2}{a_1} \quad (2.54)$$

где a_1 - коэффициент структуры струи при прямолинейной схеме воздухообмена;

y, x - координаты точки, в которой определяются составляющие скорости потока.

При $\alpha_2= 15^\circ$ и граничной величине безразмерной ординаты $\varphi_{cp}=-1,57$

$$a_1 = \frac{tg \alpha_2}{\varphi_{cp}} = \frac{-0,268}{-1,57} = 0,171 \quad (2.55)$$

Следовательно, безразмерная ордината при прямоточной схеме воздухообмена равна

$$\varphi = \frac{y}{0,171x} = 5,85 \frac{y}{x} \quad (2.56)$$

Исследованиями установлено, что

$$u_x = 0,725u_0 \quad (2.57)$$

Тогда распределение скоростей воздушного потока на прямолинейном участке между $\varphi= 0$ и $\varphi_{cp}= -1,57$ можно представить как

$$u = 0,725u_0 \cos \varphi, \text{ м/с.} \quad (2.58)$$

Величина $\cos \varphi$ определяется исходя из значения φ по таблице тригонометрических функций в дуговых единицах.

Зависимость (2.58) позволяет определить скорость воздушного потока при углах откоса подветренного борта 12-15°. С уменьшением величины угла откоса подветренного борта карьера скорость воздушного потока будет заметно выше вычисленных по формуле (2.58) значений.

Существенным недостатком прямоточной схемы является то, что с увеличением размеров карьера толщина слоя с малыми скоростями воздушного потока на площадках уступов и в глубокой части карьера возрастает. Для определения толщины воздушного потока в его прямолинейной части, ограниченной любой заданной скоростью, например между ординатами y_{zp} и y' на расстоянии с абсциссой X , можно пользоваться зависимостью

$$h_u = y_{zp} - y' = 0,171 x(\varphi_{zp} - \varphi') \text{ м.} \quad (2.59)$$

Допустим, требуется определить толщину воздушного потока со скоростью $u=0,262u_0$. Из формулы (2.58) находим при $u=0,262u_0$, т.е.

$$u = 0,262u_0 = 0,725u_0 \cos \varphi; \cos \varphi = \frac{0,262u_0}{0,725u_0} = 0,362$$

Из таблицы тригонометрических функций в дуговых единицах получим при $\cos \varphi=0,362$ $\varphi=1,2$.

Величина безразмерной граничной ординаты $\varphi_{zp}=1,57$. Тогда толщина потока со скоростью $u =0,262u_0$, допустим при $X=100\text{м}$ будет равна

$$h_u = 0,171 \cdot 100(1,57 - 1,2) = 6,32 \text{ м.}$$

Таким образом, при прямоточной схеме воздухообмена наиболее неблагоприятной с точки зрения проветривания является глубокая часть карьера, особенно при её резком углублении, вы где могут образовываться трудно проветриваемые застойные зоны.

Скорость воздушного потока у поверхности уступов наветренного борта возрастает снизу вверх, начиная с C до K , и достигает скорости ветра u_0 на верхней бровке наветренного борта карьера.

Для определения скорости воздушного потока у поверхности уступов наветренного борта на участке $СК$ можно пользоваться эмпирической формулой

$$u = u_0(1 + 0,36\varphi - 0,177\varphi^2), \text{ м/с} \quad (2.60)$$

где φ - безразмерная ордината точки, величина которой в (2.60) подставляется с учётом знака.

2.3.10. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен в карьере при прямоточной схеме

При прямоточной схеме воздухообмена количество воздуха, протекающего в единицу времени через произвольное сечение потока, заключённого между φ_0 и φ_{cp} , длиной в поперечном направлении $L=I$

$$Q_B = \int_{\varphi_0}^{\varphi_{cp}} u dy \cdot \quad (2.61)$$

Из уравнения (2.54)

$$dy = a_1 x d\varphi \cdot \quad (2.62)$$

Подставляя значения y и dy из уравнений (2.58) и (2.62) в уравнение (2.61), получим

$$Q_B = 0,725 a_1 x u_0 \int_{\varphi_0}^{\varphi_{cp}} \cos \varphi d\varphi, \quad (2.63)$$

где $\int_{\varphi_0}^{\varphi_{cp}} \cos \varphi d\varphi = \sin \varphi = 1$

Отсюда имеем $Q_B = 0,124 x u_0$.
(2.64)

При размере карьера на уровне поверхности L в направлении, перпендикулярном направлению ветра, количество воздуха, осуществляющего разжижение и вынос вредных примесей из карьера, соответствует сечению BC и определяется по формуле

$$Q_B = 0,124 x_{c.c.p} u_0 L, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.65)$$

где $x_{c.c.p}$ - среднее значение абсцисс OC , определяемое для параллельных разрезов через каждые $100-200 \text{ м}$.

Из уравнения (2.65) видно, что количество воздуха, осуществляющего воздухообмен в карьере, при прямоточной схеме зависит от его размеров, скорости ветра и возрастает с их увеличением.

С другой стороны, количество воздуха Q_B , поступающего в произвольное сечение между y_0 и y_1 согласно условию неразрывности, должно соответствовать происходящей вследствие деформации профиля скоростей потере количества воздуха на участке сечения с ординатой y_1 заключённого между безразмерными ординатами φ_0 и φ_1 , т.е.

$$Q_B = Q_y - Q_{y_1}, \quad (2.66)$$

где $Q_y = u_0 y_1$ - количество воздуха, проходящего через сечение вы-

сотои y_l при $L=I$ и отсутствии карьера;

$$Q_Y' = \frac{u_0 y_1 + 0,725 u_0 y_1}{2} \text{ количество воздуха, проходящего после}$$

деформации профиля скоростей через это же сечение при $L=l$ и наличии карьера.

Подставляя значения Q_Y и Q_Y' равенство (2.66), получим

$$Q_B = u_0 y_1 - \frac{u_0 + 0,725 u_0}{2} y_1 = 0,1375 u_0 y_1 \quad (2.67)$$

Из условия равенства (2.64) и (2.67) находим

$$0,124 x u_0 = 0,1375 u_0 y_1 \quad (2.68)$$

$$\frac{y_1}{x} = \operatorname{tg} \alpha_1 = 0,9 \quad (2.69)$$

отсюда

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg}(0,9) = 42^\circ \quad (2.70)$$

Это есть угол наклона внутренней границы возмущённого воздушного потока при прямоточной схеме воздухообмена. Следовательно, внутренняя граница воздушного потока на прямолинейном участке определяется безразмерной ординатой

$$\varphi_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{a_1} = \frac{0,9}{0,171} = 5,26 \cdot \quad (2.71)$$

2.3.1 1. Вынос вредных примесей из карьера при прямоточной схеме воздухообмена

Прямоточная схема воздухообмена является наиболее эффективной с точки зрения проветривания, так как в этом случае все выделение вредные примеси выносятся из карьера прямыми потоками воздуха.

При этой схеме из-за отсутствия рециркуляционного потока загрязнения общей атмосферы карьера от внешних и внутренних точечных источников выделения вредных примесей не возникают. Поступающие от точечных источников вредные примеси выносятся прямыми потоками воздуха. Поэтому работающие в карьере люди, как правило, подвергаются вредному воздействию отдельных примесей, содержащихся в местной атмосфере, или когда они работают в зоне движения вредных примесей, выделяемых от рядом расположенных горных машин. При прямоточной схеме наиболее неблагоприятные атмосферные условия возникают при расположении источников выделения вредных примесей в глубокой части карьера, так как с увеличением глубины карьеров толщина зоны малых скоростей возрастает.

При прямоточной схеме воздухообмена, когда загрязнения общей атмосферы карьера могут возникать при действии линейных, расположенных перпендикулярно направлению ветра или равномерно распределенными источниками можно пользоваться зависимостью

$$G_{\text{Л}} = 0,124 x_{c.\text{ср}} u_0 l_u c_x \text{ мккг} / \text{с} \quad (2.72)$$

или

$$G_{\text{Л}} = 0,124 \cdot 0,337 x_{c.\text{ср}} u_0 l_u c_x = 0,042 x_{c.\text{ср}} u_0 l_u c_x, \quad (2.73)$$

где $x_{c.\text{ср}}$ - среднее значение абсцисс OC , определяемое для параллельных разрезов через каждые 100-200 м, м;

l_u - длина линейного или равномерного распределённого источника в направлении, перпендикулярном направлению ветра, м;

$c_{cр}$ - средняя концентрация примеси в сечении воздушного потока с абсциссой $x_{cср}$, мккг/м³;

c_x - средняя концентрация примеси у поверхности площадок подветренного оборота карьера, мккг/м³

При действии линейных или равномерно распределённых источников, расположенных с наветренной стороны карьера или на его подветренном борту, выносящую способность воздушного потока, обеспечивающего уменьшение содержания вредных примесей в его атмосфере до допустимых концентраций C , можно определить как

$$G = 0,042 x_{c.\text{ср}} u_0 l_u (c - c'), \text{ мккг} / \text{с}, \quad (2.74)$$

где c'_0 , - концентрация вредной примеси в поступающем в карьер воздухе.

Если направление ветра с линией источника выделения вредных примесей составляет некоторый угол θ , то в формулах (2.72), (2.73) и (2.74) вместо l_u следует подставить $l_u \sin \theta$.

Исходя из формулы (2.74) можно определить безопасное расстояние, на котором с подветренной стороны источника концентрация вредной примеси не будет превышать допустимой концентрации. При этом (2.74) $x_{c.\text{ср}}$ приобретает величину безопасного расстояния.

2.3.12. Продолжительность проветривания карьера после штиля

Продолжительность проветривания карьера после штиля представляет практический интерес и при прямоточной- схеме воздухообмена. Наиболее неблагоприятные условия для полного выноса загрязнённого воздуха из карьера после штиля возникают в сечении, имеющем наибольшие размеры в направлении движения ветра и проходящем через глубокую часть карьера. Продолжительность проветривания этого сечения после штиля загрязнении полного объёма картера

можно определить по формуле

$$\tau = \frac{x_{c,max}}{0,725 \cos \frac{335H_K}{x_{c,sp}}} + \frac{2(l - x_{c,max})}{\cos \beta' u_0 (0,725 \cos \frac{335H_K}{x_{c,max}})}, \quad (2.75)$$

где β - угол откоса подветренного борта карьера, град;

β' - угол откоса наветренного борта, град;

H_K - глубина карьера в этом сечении, м;

$x_{c,max}$ - максимальная величина абсциссы OC , м;

l - длина карьера по рассматриваемому сечению на уровне, м;

Если атмосфера карьера при штиле была загрязнена частично, то в формуле (2.75) вместо $x_{c,max}$, l и H_K подставляются значения, отражающие фактический объём загрязнения.

2.3.13. Рециркуляционно - прямоточная схема воздухообмена

Рециркуляционно - прямоточная схема воздухообмена в карьерах возникает при скоростях $0,8 - 1$ м/с, углах откоса подветренного борта $\beta > 15^\circ$ и при выходе внешней границы пограничного слоя на дно карьера на горизонтальные площади уступов его подветренного борта.

В этом случае зоны карьера, примыкающие к подветренному борту, проветриваются по рециркуляционной схеме, а зоны, находящиеся в пределах действия заторможенной части первоначальной массы струи - по прямоточной схеме.

Структура воздушного потока при этой схеме воздухообмена по сечению карьера, совпадающему с направлением ветра на поверхности карьера, показана на рис. 2.12.

Поток воздуха, попадая в карьер, деформируется и образует пограничный слой, внутренняя граница которого на прямолинейном участке определяется углом OP , проведённым под углом $\alpha_1 = 7^\circ 20'$, а внешняя граница с углом OC , проведённым под углом $\alpha_2 = 15^\circ$.

Прямолинейность внутренней и внешней границы заторможенной части первоначальной массы струи сохраняется от точки 0 до сечения PP_2 , т.е. на расстоянии, абсцисса которого равна $0,6x_c$. В дальнейшем линия внутренней зоны заторможенной части первоначальной массы струи проходит через точки PAK , а линия внешней границы этой же массы струи - через точки P_1C .

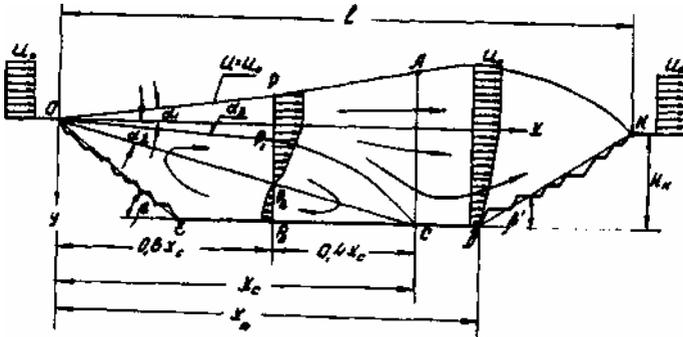


Рис. 2.12. Рециркуляционно-прямоточная схема воздухообмена в карьере

Распределение скоростей воздушного потока в зоне карьера до сечения AC подчиняется закономерностям движения турбулентных струй первого и второго рода, возникающих при рециркуляционной схеме воздухообмена, а в остальном объём карьера в зависимости от его размеров занимает промежуточное положение между законами распределения при рециркуляционной и прямоточной схемах воздухообмена. При большой протяженности карьера в направлении ветра, т.е. когда $\frac{l}{H_k} > 8-10$, распределение скоростей воздушного потока на участке СДК подчиняется закономерностям движения воздуха при прямоточной схеме воздухообмена.

Следовательно, распределение скоростей воздушного потока при рециркуляционно-прямоточной схеме воздухообмена характеризуется в зоне карьера в сечении AC зависимостями (2.17), (2.21), (2.23), (2.28), (2.29), (2.31), (2.32), (2.33), а на участке СДК формулой (2.60). При пользовании формулой (2.60) величину φ следует определить выражением (2.56).

При этой схеме воздухообмена минимальная скорость воздушного потока соответствует точке C, где она равна $(0,10-0,15)u_0$.

По мере удаления от точки C к наветренному и подветренному бортам карьера скорость воздушного потока возрастает.

2.3.14. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен, и вынос вредных примесей из карьера при рециркуляционно-прямоточной схеме воздухообмена

При рециркуляционно-прямоточной схеме воздухообмена количество воздуха, осуществляющего разжижение и вынос вредных примесей из карьера, определяется по формуле (2.39).

При этой схеме воздухообмена в загрязнении общей атмосферы карьера участвуют внутренние источники выделения пыли и газа, расположенные в зоне воздушных струй второго рода, т.е. на участке СРЗЕ,, а также внешние, расположенные с наветренной стороны карьера. Вредные примеси, выделяемые от источников расположенных в зоне воздушных струй второго рода, при движении распространяются по всему объёму карьера.

Суммарную допустимую интенсивность выделения вредной примеси от одновременно действующих внутренних источников, расположенных в зоне обратных потоков, или от одновременно действующих внешних источников, расположенных с наветренной стороны вблизи карьера, или от одновременно действующих внутренних и внешних источников, вызывающих загрязнение общей атмосферы карьера, можно определить соответственно по формулам (2.43), (2.44), (2.45), (2.46), (2.47) и (2.48).

2.3.15. Продолжительность проветривания карьера после штотия

Продолжительность проветривания карьера при рециркуляционной и прямоточной схемах воздухообмена прежде всего зависит от отношения $\frac{l}{H_K}$. Если $\frac{l}{H_K} < 15$, то определяется то определяется продолжительность проветривания зоны карьера, занимаемой потоками второго рода, как

$$\tau = \frac{78,28HK.CP(xc.cp - 0,5H_{KCP}tg\beta_{CP}) \cdot \lg \frac{c_0}{c}}{x_{c.cp}u_0}, \text{ с,} \quad (2.76)$$

где H_{KCP} - средняя глубина карьера для ряда характерных профилей, совпадающих с направлением ветра, м;

β_{CP} - среднее значение углов откосов подветренного борта карьера для этих же профилей, град.

Если $\frac{l}{H_K} > 15$, то определяется продолжительность проветривания части карьера, омываемой потоками первого рода, так как при этом время проветривания зоны карьера, занимаемой потоками второ-

го рода, будет меньше времени, потребного для проветривания зоны карьера с прямоточными потоками.

Продолжительность проветривания зоны карьера с прямоточными потоками

$$\tau = \frac{1,8}{u_0} (x_{D \max} - X_{C \max} + \frac{l - x_{D \max}}{\cos \beta'}), \text{ с}, \quad (2.77)$$

где $x_{D \max}$, $x_{C \max}$ - соответственно наибольшие значения абсцисс точек C и D , м.

2.3.16. Прямоточно-рециркуляционная схема воздухообмена

Прямоточно-рециркуляционная схема воздухообмена в карьерах возникает при скоростях ветра более $0,8-1 \text{ м/с}$ и углах откосов подветренного борта $\beta > 15^\circ$, но при этом углы откосов группы верхних уступов должны быть $\beta_1 \leq 15^\circ$ и углы откосов группы нижних уступов $\beta_2 \leq 15^\circ$.

Структура воздушного потока при этой схеме воздухообмена по сечению карьера, совпадающему с направлением ветра на поверхности, приведена на рис. 2.13. и.

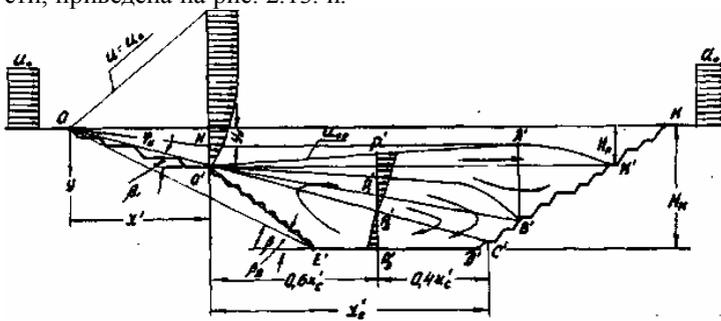


Рис. 2.13. Прямоточно-рециркуляционная схема воздухообмена в карьере

При этой схеме воздухообмена верхняя часть карьера выше линии $O'P'A'K'$ проветривается прямоточными потоками, а нижняя часть - в объёме $O'E'P'Z'D'C'B'K'A'P'O'$ - по рециркуляционной схеме. Аэродинамические параметры воздушного потока при этой схеме воздухообмена определяются по соответствующим закономерностям, установленным для прямоточной и рециркуляционной схем воздухообмена.

Скорости потока в зоне карьера, находящейся выше линии $O'P'A'K'$ можно определить по формулам (2.55), (2.56), (2.58) и (2.60), а распределение скоростей воздушного потока в зоне, расположенной ниже линии $O'P'A'K'$, подчиняется закономерностям распределения скоростей потока при рециркуляционной схеме воздухообмена (2.20), (2.21), (2.23), (2.24), (2.25), (2.26), (2.28), (2.29), (2.31), (2.32) и (2.33). При этом следует учесть, что внутренняя граница пограничного слоя $O'P'A'K'$ и $O'P'2C'$ проходит в воздушном потоке с неравномерным распределением скоростей. Однако можно допустить, что рециркуляционная схема воздухообмена в нижней части карьера формируется воздушным потоком с постоянной скоростью, в точке 0, равной средней скорости определяемой как

$$u_{cp} = \frac{0,725u_0}{\varphi_{cp} - \varphi_H} \int_{\varphi_H}^{\varphi_p} \cos \varphi d\varphi, \quad (2.78)$$

где $(\varphi_H -$ безразмерная ордината, определяющая толщину слоя прямооточного потока, формирующего рециркуляционный воздухообмен в нижней части карьера,

$$\varphi_H = 5,85 \frac{y_H}{x'}, \quad (2.79)$$

где u_H, x' - ордината и абсцисса точки H с началом координатных осей в точке O .

2.3.17. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен и вынос вредных примесей из карьера при прямооточно-рециркуляционной схеме воздухообмена

Существенным недостатком прямооточно-рециркуляционной схемы воздухообмена является то, что движение воздуха в зоне, проветриваемой по рециркуляционной схеме, формируется ветровым потоком, ослабленным глубиной карьера. В связи с этим эффективность выноса ветровым потоком вредных примесей из глубокой части карьера становится чрезмерно низкой.

При прямооточно-рециркуляционной схеме воздухообмена в загрязнении атмосферы зоны карьера, проветриваемой по рециркуляционной схеме, участвуют не только все внутренние источники выделения пыли и газов, расположенные на участке $O'E'P'SD'C'B'$, но и источники, расположенные на участке OO' , являющиеся внешними по отношению зоны, проветриваемой по рециркуляционной схеме. Поэтому количество воздуха, осуществляющего вынос вредных примесей из общей атмосферы карьера, рассчитывается для двух зон, находя-

щихся выше линии $O'P'A'K'$ и ниже этой линии в отдельности, соответственно формулам (2.39) и (2.65). Количество воздуха, вычисленное по формуле (2.65), необходимо для установления концентрации вредных примесей с учётом интенсивности их выделения на участке OO' в воздушном потоке, осуществляющем проветривание находящейся ниже линии $O'P'A'K'$ зоны карьера.

При этой схеме воздухообмена суммарная интенсивность выделения каждой одноименной вредной примеси, вызывающей загрязнение общей атмосферы карьера в пределах допустимой концентрации, от внутренних, внешних и совместно действующих внутренних и внешних источников, определяется соответственно по формулам (2.43), (2.44) и (2.45). В этих формулах в C'_0 учитываются выделенные вредные примеси и на участке OO' ; а вместо u_0 , $x_{c.ср}$ и L подставляются параметры, характерные для зоны карьера, проветриваемой по рециркуляционной схеме.

2.3.18. Продолжительность проветривания карьера после шторма

При прямоточно-рециркуляционной схеме воздухообмена с появлением ветра после шторма проветривания зоны карьера, находящейся ниже линии $O'P'A'K'$, осуществляется потоком, загрязнённым выделениями на участке OO' , вредными примесями. Следовательно, при этой схеме воздухообмена концентрация вредных примесей в зоне карьера, проветриваемой по рециркуляционной схеме, начинает снижаться лишь тогда, когда произойдет полное проветривание его прямоточной зоны на участке $OO'P'$.

Продолжительность проветривания карьера, атмосфера которого во время шторма загрязнена до уровня поверхности, может быть определена по формуле

$$\tau = \frac{x'}{0,725u_0 \cos \beta_1 \cos \frac{335H_{II}}{x'}} + \frac{78,28(H_{к.ср} - H_{II})[x'_B - 0,5(H_{к.ср} - H_{II})ctg\beta_2]}{x'_{с.ср} \mu_{ср}} \lg \frac{c_0}{c}, \quad (2.80)$$

где β_1 , β_2 - углы откосов подветренного борта верхней и нижней групп уступов, проветриваемых соответственно по прямоточной и рециркуляционной схеме воздухообмена, град; x'_B - среднее значение абсциссы точки B' относительно O' , м; H_{II} - глубина зоны карьера, проветриваемой по прямоточной схеме воздухообмена, м; $x'_{с.ср}$ - среднее значение абсцисс точки C' относительно O' , м.

3. БОРЬБА С ПЫЛЬЮ И ГАЗАМИ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

3.1. Взрывные работы - источник загрязнения атмосферы

В настоящее время более $\frac{2}{3}$ полезных ископаемых добываются в

скальных массивах, требующих предварительного разрушения энергией взрыва. Энергия взрыва эффективно используется в строительстве каналов, плотин, транспортных магистралей и других видах работ.

Взрывные работы при разработке твердых полезных ископаемых являются одним из главных технологических процессов, их проведение необходимо для разрушения горных пород для последующей погрузки и транспортировки вскрышных пород в отвалы, забалансовых руд для складирования и кондиционных руд на обогащение.

Совершенствованием взрывных работ является изыскание средств и способов эффективного дробления горной массы, повышение степени безопасности при проведении работ и уменьшение выброса пыли и газов в атмосферу. Главной целью является повышение коэффициента полезного действия и обеспечение безопасности взрывных работ при уменьшении стоимости, затраченной на разрушение одного кубометра горной массы. Для снижения стоимости взрывных работ и повышения уровня безопасности следует широко использовать аммиачно-селитренные взрывчатые вещества (ВВ).

На карьерах Урала и Центра России применяется схема короткозамедленного взрывания с большим коэффициентом сближения, позволяющая при неизменном качестве дробления сократить удельный расход взрывчатого вещества на 5-8 %. Большое распространение в ряде карьеров в свое время получили конструкции скважинных зарядов взрывчатых веществ с воздушными промежутками, позволившие сократить расход взрывчатых веществ на 8-10 %. Массовые взрывы в карьерах являются самыми крупными периодическими источниками выделения пыли и вредных газов.

Рассмотрим механизм пылеобразования с точки зрения существующей теории взрыва. Теория взрывчатых веществ основана на гидромеханической теории детонации. Исходными условиями гидродинамической теории детонации является то, что реакция взрывного разложения осуществляется в зоне, непосредственно примыкающей к фронту детонационной волны, представляющей собой поверхность, где происходит реакция взрыва, отделяющего от еще неохваченного взрывом взрывчатого вещества. Волна детонации движется с очень большой скоростью в направлении, перпендикулярном к поверхности его фронта. Непосредственно за фронтом волны температура и давле-

ние резко скачкообразно повышаются. Реакция взрыва очень быстро протекает за фронтом волны детонации и полностью осуществляется в очень небольшом по толщине слое. В этом слое происходит механическое взаимодействие взрывчатого вещества с породой. Граница переизмельчения, равная примерно 2-4 градусам заряда, определяется расстоянием, на котором напряжение на фронте волны сжатия станет меньше предела прочности при всестороннем сжатии.

Под действием расширяющегося в момент времени взрыва продуктов детонации ВВ происходит выброс забойки и истечение газов из устья скважины. При этом образуется первичное облако. После ослабления действия взрыва на стенки образовавшейся полости обратная волна детонации приводит к отрыву частиц измельченных пород от ее стенок. Истекающие из устья скважины газы выбрасывают измельченную породу в атмосферу, образуя пылегазовое облако.

Породы, разрушенные воздействием высокого давления продуктов химического разложения ВВ, перемещаются в сторону обнаженной поверхности. В результате этого происходит дополнительное дробление и перемешивание кусков горных пород, которое сопровождается интенсивным их трением друг о друга и образованием пыли. При падении отбитой горной массы на площадку происходит взметывание измельченных горных пород за счет перемешивания и соударения, образуя вторичное пылегазовое облако.

Таким образом, пылеобразование при взрывных работах в карьере в основном происходит в результате переизмельчения горной массы в контакте "ВВ - порода" при образовании трещин и поверхностей скола трения друг о друга, подъеме и оседании горной массы.

Формирование пылегазового облака происходит за минуту и менее, достигая высоты до 350 м. В этом промежутке времени происходит выравнивание температур газов в облаке и окружающей воздушной среде. Затем облако под воздействием ветровой энергии перемещается. При этом происходит выпадение крупных пылевых частиц. Выпадение более мелких пылевых частиц происходит на значительном расстоянии.

Установлено, что удельное количество пыли, выделяющееся при взрыве, изменяется в очень широких пределах и зависит от ряда факторов. Ими являются количество одновременно взрываемого ВВ, крепость пород, влажность взрываемой горной массы и высота уступов.

Исследованиями установлено, что количество образовавшейся пыли зависит от расхода ВВ и крепости пород (рис. 3.1.).

Установлено, что с увеличением количества ВВ и с повышением крепости пород происходит увеличение количества выделившейся пыли.

Обработка результатов наблюдений позволила установить эмпирическую зависимость количества выделившейся пыли от расхода ВВ и крепости пород

$$G = 24,3\sqrt{f} \cdot A, \text{ кг} \quad (3.1)$$

Исследованиями также установлено, что пылеобразование зависит от удельного расхода ВВ на единицу объема горной массы (рис. 3.2).

Важным критерием загрязнения атмосферы карьера является высота пылегазового облака в зависимости от высоты сформировавшегося облака и скорость ветра на поверхности, влияющая на ее перемещение по объему карьера. Процесс формирования пылегазового облака происходит в течение 40-60 с после взрыва.

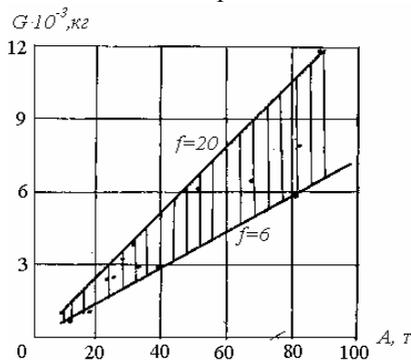


Рис. 3.1. Изменение количества пыли в зависимости от расхода ВВ и крепости пород

3.2. Моделирование динамики частиц пыли при взрывных работах

Основным технологическим процессом периодического загрязнения являются взрывные работы, проводимые при разработке твердых полезных ископаемых.

Взрывные работы в зависимости от удельного расхода на единицу горной массы и количества одновременно взрывающегося взрывчатого вещества загрязняют атмосферу карьера и при неблагоприятных метеорологических условиях атмосферу района месторождения.

Изучение динамики мелких частиц при взрывных работах с помощью кино - и фотосъемок не дает объективной картины распространения пылегазового облака.

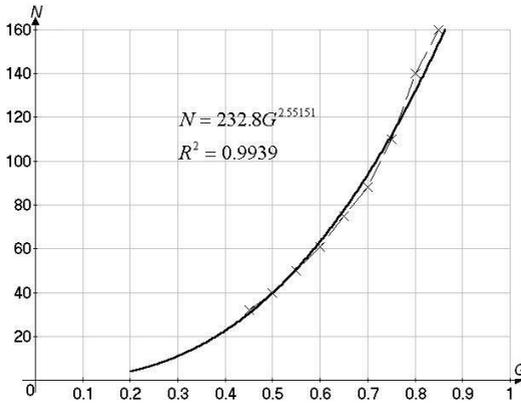


Рис. 3.2. Изменение пылеобразования от удельного расхода ВВ и крепости пород

Рассмотрим уравнение траектории тела, выброшенного в результате взрыва.

Применим основной закон динамики и закон независимости действия сил

$$m\varpi = \bar{P} + \bar{R}$$

Учитывая что, $\varpi = \bar{r}''$, $R = -km\bar{v} = -km\bar{r}'$, получим

$$m\bar{r}'' = P - km\bar{r}' \quad (3.2)$$

Спроектируем векторное уравнение на оси x и y , после сокращения на массу m получим дифференциальное уравнение движения тела в проекциях на декартовы оси координат:

$$x'' = -kx', \quad y'' = -g - ky' \quad (3.3)$$

Проинтегрировав первое уравнение (3.3) с учетом начальных условий при $t = 0$, $y = 0$, $x' = v_0 \cos \alpha$, находим $C_1 = \ln v_0 \cos \alpha$,

$C_2 = \frac{v_0}{k} \cos \alpha$. Внесем значения C_1 C_2 и получим решение

$$x = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}) \cos \alpha \quad (3.4)$$

Перейдем к интегрированию второго уравнения (3.3) при заданных начальных условиях $t = 0$, $y = 0$, $y' = v_0 \sin \alpha$. Найдем C_3 и C_4 и получим решение

$$y = \frac{1}{k^2} (g + kv_0 \sin \alpha) (1 - e^{kt}) - \frac{g}{k} t \quad (3.5)$$

Исключим из уравнения (3.4) и (3.5) время t , после несложных преобразований получим искомое уравнение траектории в виде

$$y = \frac{1}{k^2} \frac{g + kv_0}{v_0 \cos \alpha} x + \frac{g}{k^2} \ln \left| 1 - \frac{k}{v_0 \cos \alpha} x \right| \quad (3.6)$$

где k - коэффициент лобового сопротивления, $\frac{1}{c}$;

g - ускорение свободного падения, m/c^2 ;

v_0 - начальная скорость вылета тела, m/c ;

α - угол вылета тела при взрыве, град.

Угол вылета тела при взрыва примем в интервале $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$.

В момент взрыва после вылета на тело существенно влияет энергия ветра, зависящая в основном от ее скорости. Рассмотрим влияние скорости ветра и угла атаки её на траекторию полета горной массы

$$y_0 = \frac{1}{\kappa} v_e \cos \beta \quad (3.7)$$

где v_e - скорость ветра, m/c ;

β - угол атаки ветра, град.

Тогда уравнение траектории тела, выброшенного энергией взрыва с учетом скорости и направления ветра, окончательно примет вид

$$y = \frac{1}{k} \frac{g + kv_0}{v_0 \cos \alpha} x + \frac{g}{k^2} \ln \left| 1 - \frac{k}{v_0 \cos \alpha} x \right| + \frac{1}{\kappa} v_e \cos \beta \quad (3.8)$$

Уравнение (3.8) является моделью для численного эксперимента по изучению траектории полета тела. Для проведения численного эксперимента составлена программа.

Результаты численного эксперимента при скорости выброса продуктов взрыва $v_0 = 17,5$ m/c , под углом 60° к горизонту, угле атаки ветра $\beta = 0^\circ$ и скорости ветра $v_e = 2$ m/c , приведены на рис. 3.3.

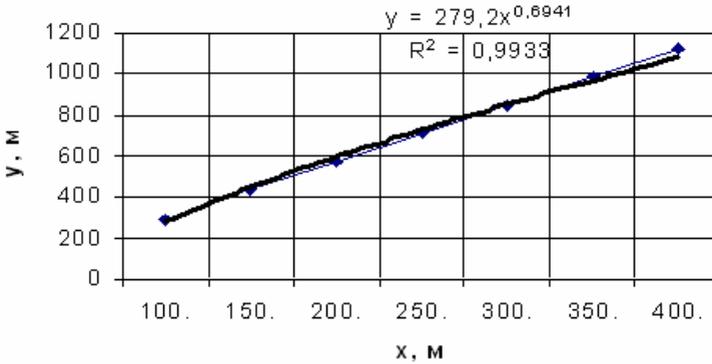


Рис. 3.3. Изменение высоты подъема частиц в зависимости от места взрыва

Результаты фотосъемок по изучению высоты подъема облака при массовых взрывах в карьере приведены на рис. 3.4.

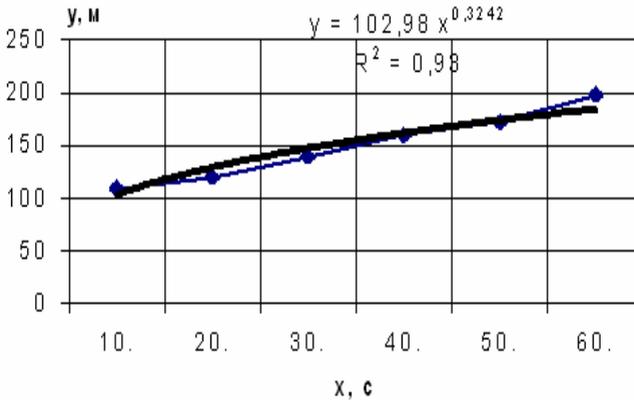


Рис. 3.4. Изменение высоты подъема облака в зависимости от времени

Как видно из приведенных результатов экспериментов на модели и натуральных фотосъемок развития пылегазового облака при массовых взрывах в карьере, высота подъема пылегазового облака увеличивается в зависимости от расстояния от места взрыва и по времени от момента взрыва.

Следовательно, зона оседания частиц пыли из пылегазового облака довольно — таки обширная, т.е. загрязняет не только территорию карьера, но и район месторождения.

3.3. Математическая модель взрыва в карьере в асимметрическом случае

Динамика образования и оседания пылегазового облака изучена экспериментально. Проведение экспериментальных работ на объекте - процесс довольно сложный. В основном при взрывных работах представляет интерес процесс образования и оседания на поверхность пылегазового облака в зависимости от фракционного состава разрушенных горных пород.

Для изучения этих процессов составим математическую модель движения частиц при взрыве в осесимметрическом случае, т.е. когда процесс происходит на плоскости (r,t) , где r - расстояние от начала координат до частицы, а t - время.

Пусть $u = u(r,t)$ - плотность частиц на расстоянии $r \in [a, \vartheta]$ в момент времени $t \in [0, T]$;

$p(r,t)$ - функция скорости падения на расстоянии r в момент времени t .

Пусть также $r = f(t)$ и $\frac{dr}{dt} = \frac{df}{dt} = g(t)$ - функция скорости соударения.

Тогда для описания движения частиц получаем $\frac{du}{dt} = -p(r,t)u$

$$\text{или} \quad \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial r} \frac{dr}{dt} + \frac{\partial u}{\partial t} = -p(r,t)u,$$

отсюда имеем дифференциальное уравнение в частных производных первого порядка

$$g(t) \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial t} = -p(r,t)u \quad (3.9)$$

Уравнение (3.9) в биологии встречается как модельное уравнение теории популяции, называемое уравнением Мак Кендирика-Фон Ферстера.

Поставим задачу Коши для уравнения (3.9) в следующей постановке: найти регулярное решение (т.е. непрерывно дифференцируемое) в области

$$D = \{(r,t): a < x < \vartheta, t > 0\}$$

и непрерывное в \bar{D} решение $u(r,t)$ уравнения (3.9), удовлетворяющее начальному условию

$$u(r,0) = \tau(r), \quad a \leq r \leq b, \quad \text{где } \tau(r) \in C([a, b]). \quad (3.10)$$

Приведем описание алгоритма решения задачи Коши для уравнения (3.9). Для этого введем новые независимые переменные

$$\xi = r - \int_0^t g(\xi_1) d\xi_1, \quad \eta = r + \int_0^t g(\xi_1) d\xi \quad (3.11)$$

Так как

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{\partial u}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial r} = \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \eta}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial t} = -g(t) \frac{\partial u}{\partial \xi} + g(t) \frac{\partial u}{\partial \eta},$$

то из уравнения (3.9) имеем

$$g(t) \left(\frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) + g(t) \left(\frac{\partial u}{\partial \eta} - \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) = -p(r,t)u,$$

или

$$\frac{\partial v}{\partial \eta} + \mu(\xi, \eta)v = 0, \quad (3.12)$$

где

$$\mu(\xi, \eta) = \frac{p(r,t)}{2g(t)}, \quad v(\xi, \eta) = u(r,t).$$

Уравнение (3.12) можно переписать в виде

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left[v \exp \left(\int_{\xi}^{\eta} \mu(\xi, z) dz \right) \right] = 0, \quad \eta > \xi.$$

Следовательно,

$$v(\xi, \eta) = v(\xi, \xi) \exp \left(- \int_{\xi}^{\eta} \mu(\xi, z) dz \right). \quad (3.13)$$

Из начального условия (3.9), учитывая замену (3.10), получим,

$$u(r,0) = v(\xi, \xi) = \tau(r). \quad (3.14)$$

Из (3.13), (3.14) будем иметь

$$v(\xi, \eta) = \tau(\xi) \exp \left(- \int_{\xi}^{\eta} \mu(\xi, z) dz \right). \quad (3.15)$$

Таким образом, функция (3.14) является решением задачи Коши (3.12), (3.14). Если перейти к старым переменным r, t, u , то она является решением задачи Коши (3.9), (3.10) в области

$$D = \left\{ (r, t) : a < r - \int_0^t g(\xi) d\xi < \vartheta, t > 0 \right\}.$$

В случае $p(r, t) = \text{const} = p$, $g(t) = \text{const} = g$, то равенство (3.14) примет простой вид

$$v(\xi, \eta) = \tau(\xi) \exp\left(-p \frac{\eta - \xi}{2g}\right), \quad (3.16)$$

или

$$u(r, t) = \tau(r - gt) \exp(-2pt) \quad (3.17)$$

напоминающий закон экспоненциального увеличения количества частиц.

4. ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЕ ПРИ ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНЫХ РАБОТАХ

4.1. Методы определения удельного расхода воды для пылеподавления при экскавации горной массы

На открытых разработках выемочно-погрузочные работы составляют около 25 % от общего объема горных работ. Дальнейшее совершенствование выемочно-погрузочных работ с применением совершенного горного оборудования требует снижения запыленности воздуха. В связи с этим снижение пылеобразования при экскавации навала отбитой сорной массы является важнейшей практической и научной задачей в решении проблемы оздоровления условий труда на открытых разработках.

Гранулометрический состав навалов взорванной горной массы, установленный линейным методом, показал, что выход фракции 0-0.20 м для большинства навалов из различных пород составляет 50 % и более. Исследования гранулометрического состава проводились в карьерах Джезказганского, Жайремского и Николаевского месторождения в течение 4-х лет в летние месяцы. Для разрушения массивов уступов использовались аммиачно-селитренные взрывчатые вещества АС-4-В, АС-8, аммонит 6ЖВ и др.

При этом параметры расположения заряда на уступе и условия заряда не изменялись. В основном исследованию гранулометрического состава подвергались развалы, образованные при разрушении блоков, которые сложены из руд и пород. Следует отметить, что существующее разделение на фракции в основном принято исходя из рассмотрения различных технологических процессов, например, бульдозерных работ, погрузки и т.д. Вместе с тем, для того чтобы обеспечить более полное представление о развале как объекте, в котором могут протекать различные физические процессы, необходимо провести более детальный гранулометрический анализ навала, в частности, самую наименьшую фракцию. Такой фракцией являются частицы размером 0-0.20 м.

Зависимость процентного содержания гранулометрического состава от размеров частиц представлена на рис. 4.1.

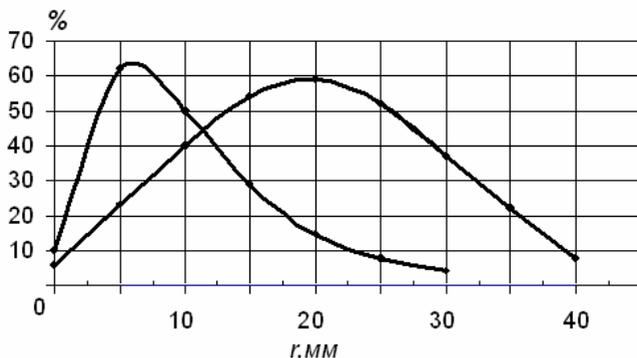


Рис. 4.1. Зависимость процентного содержания гранулометрического состава от размеров частиц: 1 - после первой стадии дробления; 2 - после второй стадии дробления

Как видно из рис. 4.1, процентное содержание частиц размером до 1 мм изменяется в пределах 1,5-5,0 % от общего объема подвергнутой гранулометрическому исследованию горной массы в зависимости от степени дробления.

В основах исследований известных работ лежит связывание пыли водой. С повышением влажности пылевидных частиц в связи с увеличением силы сцепления между ними пылевыделение при экскавации горной массы уменьшается.

При установлении гранулометрического состава дробленой массы одновременно проводятся исследования его плотности и пористости. При этом необходимо выделять частоту появления частиц до 1 мм и устанавливать их процентное содержание.

Физико-химическими параметрами навала рудной массы являются максимальная молекулярная влагоемкость, окисляемость, растворимость, относительная и естественная влажность. Следует отметить, что величины, характеризующие влажность пород, выражаются в процентах или долях единицы. Влажность зависит от структуры и минерального состава горных пород, а также от состояния воды в нем.

Таким образом, в навале горной массы, представляющем собой и несвязную среду с неоднородной пористостью, при увлажнении его водой имеет место состояние воды, соответствующее относительной влажности и максимальной молекулярной влагоемкости. Оптимальная высота для полного увлажнения объема навала - 10,6 м. Следовательно, условия взрывания следует изменить так, чтобы сформированный в карьере навал имел высоту, соответствующую оптимальной.

Основными технологическими процессами, являющимися источниками образования пыли при экскавации горной массы, являются

загрузка ковша и выгрузка из ковша в транспортное средство. Основными факторами, влияющими на интенсивность пылевыведения, являются квалификация оператора погрузочного комплекса и влажность горной массы.

На основании проведенных исследований предложены различные способы определения удельного расхода воды. К настоящему времени эти способы получили признание и считаются теоретически обоснованными и практически пригодными. Например, для определения удельного расхода воды при увлажнении неравномерно измельченной пылевидной массы предлагается следующее выражение:

$$q = 0,01 K_y (\varphi_{opt} - \varphi_e) \quad (4.1)$$

где q - удельный расход воды, $м^3/м^3$;

K_y - коэффициент учитывающий уменьшение удельного расхода воды из-за крупных частиц;

φ_{opt} - оптимальная влажность увлажнения горной массы, %;

φ_e - естественная влажность горных пород, %.

Коэффициент K_y устанавливается экспериментально исходя из баланса воды

$$Q = 0,01 K_y G t \Sigma (\varphi_i - \varphi_e) - q_n t \quad (4.2)$$

где Q - количество подаваемой воды, $т$;

t - время, прошедшее с момента орошения, $час$;

G -практическая производительность экскаватора при погрузке устанавливаемая хронометражным наблюдаемым $т/ч$;

φ_i - средняя влажность пылевидных частиц размером меньше

$1мм$ в течение каждого часа, %;

q_n - количество воды, испаряющейся с увлажненной поверхности горной массы $т/ч$.

Количество испаряющей влаги определяется по формуле:

$$q_n = 3,6 \beta \left(P_n - P_e \right) \cdot \frac{101,3 \cdot 10^3}{P_e - F} \quad (4.3)$$

где β - коэффициент массообмена, $кг/с. н$;

P_n - парциальное давление водных паров на орошенной поверхностью при полном насыщении, $Па$;

P_e - парциальное давление водяных паров в окружающем воздухе, $Па$;

$101,3 \cdot 10^3$ - нормальное барометрическое давление, $Па$;

P_e - наблюдаемое барометрическое давление, $Па$;

F - политая водой площадь, $м^2$.

Математическая обработка экспериментальных данных по определению зависимости воздуха от расхода воды при орошении горной массы позволила получить формулу:

$$q = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{N_e}{N_0} \quad (4.4)$$

где N_e и N_0 - соответственно запыленность воздуха до и после увлажнения $мг/м^3$;

q - удельный расход воды $м^3/м^2$;

α_0 - эмпирический коэффициент, зависящий от различных свойств горных пород и равномерность увлажнения.

Зависимость коэффициента α_0 от физических свойств горных пород не представлена в виде конкретного аналитического выражения вследствие этого недостатка она не нашла широкого применения в практике гидрообеспыливания взорванной горной массы.

В результате проведенных исследований на рудных карьерах и угольных разрезах институтом ВЦНИИОТ ВЦСПС для равномерного увлажнения горной массы предложен способ определения удельного расхода по выражению

$$q = 0,01\gamma(\varphi_{onm} - \varphi_e) \cdot V \quad (4.5)$$

где γ - плотность увлажняемых горных пород, $т/м^3$;

V - объем горной массы, $м^3$.

Таким образом, предложенные авторами при расчете удельного расхода воды для борьбы с пылью при погрузке горной массы нельзя считать достаточно обоснованными. Отсутствие вполне обоснованных теоретических и экспериментальных исследований по установлению удельного расхода воды на увлажнение можно объяснить упрощением понятия объекта исследования.

4.2. Физико-химические основы взаимодействия обеспыливающих растворов с горной массой

Взаимодействия мелкодисперсных частиц навала горной массы с растворами обусловлено существованием электромолекулярных сил. Возникновение молекулярных сил объясняется существованием полярных и неполярных молекул. При отсутствии внешнего электрического поля центры тяжести положительных и отрицательных зарядов могут совпадать или смещаться относительно друг друга. Когда центры тяжести разнополюсных зарядов молекулы смещены, то такая молекула называется полярной. Молекула, у которой центры тяжести разнополюсных зарядов в отсутствии внешнего поля совмещены, на-

зывается неполярной. В отличие от полярной молекулы неполярная молекула не обладает собственным электрическим моментом, т.е. дипольным моментом.

Проявление молекулярных сил обусловлено тремя эффектами, которые имеют электрическую природу: взаимодействием молекул с жесткими диполями (ориентационный эффект); взаимодействием с жесткими и индивидуальными диполями (индивидуальный эффект); взаимодействием между неполярными молекулами (дисперсионный эффект).

Взаимодействие между молекулами воды, спирта, фенола и т. д. обусловлено существованием у них постоянного дипольного момента и относится к ориентационному эффекту. При низких температурах энергия взаимодействия двух полярных молекул определяется формулой

$$U_0 = -2P_1P_2/r^3 \quad (4.6)$$

где P_1 и P_2 - соответственно дипольные моменты молекул, В.м; (вольт-метр)

r - расстояние между центрами диполей, м;

U_0 - энергия взаимодействия молекул, Дж;

При этом сила взаимодействия обратно пропорциональна четвертой степени расстояния.

Индукционный эффект наблюдается при взаимодействии полярных и неполярных молекул или атомов. Под влиянием полярной молекулы или атома происходит смещение положительных и отрицательных зарядов в неполярной молекуле в противоположные стороны, т. е. происходит ее поляризация. В результате этого неполярная молекула приобретает некоторый дипольный момент. Потенциальная энергия взаимодействия полярной с неполярной молекулой, поляризуемость которой a_2 , выражается уравнением

$$U_u = a_2P_1/r^6. \quad (4.7)$$

Притяжение неполярных молекул происходит за счет мгновенных диполей и носит кванто-механический характер. Возникновение мгновенных диполей обусловлено тем, что при движении электронов центр отрицательного заряда атома будет постоянно смещаться относительно ядра. Флуктуация дипольного момента порождает флуктуацию электрического поля, которая в свою очередь вызывает смещение заряда у соседних атомов, сила, действующая со стороны флуктуирующего поля на смещенный заряд, не равна нулю, так как имеется, стремление со стороны флуктуирующего поля быть ориентированным одинаково. Вследствие этого и возникает дисперсионный эффект, который выражается уравнением

$$U_g = 3/4 \alpha^2 h\nu / r^6 \quad (4.8)$$

где α - поляризуемость; h - постоянная Планка;
 ν_0 - частота колебаний электрического осциллятора;
 U_g - энергия взаимодействия.

Для двух последних эффектов сила взаимодействия молекул или атомов пропорциональна седьмой степени расстояния.

Роль каждого эффекта в суммарной энергии взаимодействия двух молекул может быть различной. Дисперсионный эффект имеет наибольшее значение, а значения ориентационного и индукционного эффектов зависят от величины дипольных моментов и в большинстве случаев весьма незначительны.

В частицах молекула взаимодействует с множеством атомов или молекул, в результате чего энергия взаимодействия двух частиц изменяется уже не обратно пропорционально шестой степени расстояния между ними, а как следует из формул (4.6) и (4.7), по более сложной зависимости. Для двух плоских поверхностей с зазором менее 10^{-8} м и более $4 \cdot 10^{-8}$ - $5 \cdot 10^{-8}$ м энергия взаимодействия соответственно уменьшается обратно пропорционально второй и третьей степени.

Расстояние между молекулами жидкости и твердой частицы, взаимодействующих между собой, значительно меньше расстояний соприкасающихся между собой твердых частиц. Поэтому в зависимости от размеров и природы вещества возникают силы взаимодействия, характер которых обусловлен одним или всеми из вышеизложенных эффектов. В качестве примера рассмотрим взаимодействие воды с мелкими частицами в развале взорванной горной массы. Вода, как известно, состоит из полярных молекул с ионами водорода и кислорода, соответственно заряженными положительно или отрицательно. При взаимодействии воды и частицы пыли происходит поляризация молекул частицы, что приводит к возникновению электрического поля на ее поверхности и притяжение диполей воды к ней. При этом следует отметить, что силы притяжению действуют на весьма близких расстояниях от поверхности частицы и быстро убывают с расстоянием.

Распределение диполей воды вблизи твердой частицы происходит под влиянием электрического поля и при наличии теплового движения. Электростатические силы как бы концентрируют диполи вокруг твердой частицы, в то время как силы молекулярного теплового движения стремятся распределить их равномерно по раствору. В результате действия этих двух сил вокруг твердых частиц устанавливается равновесие. Слой диполей, распределяющихся под действием этих сил, представляет собой диффузионный или адсорбционный в отличие от адсорбционного слоя, который образуется диполями, рас-

положенными непосредственно около твердой частицы. Резкой границы между этими слоями не существует. Поэтому установление толщины каждого слоя по отдельности как теоретически, так и экспериментально трудно осуществить. В курсе коллоидной химии этот суммарный слой называют двойным электрическим слоем, а саму частицу с адсорбционным и диффузионным слоями называют мицеллой.

По классификации видов влаги в почвах и грунтах академика Лебедева А.Ф., слой воды, обволакивающий частицу, выделяют как пленочную воду и называют максимальной влагоемкостью.

Молекулы воды, непосредственно окружающие частицу навала, как видно из формул (4.6) и (4.8), подвержены большим силам притяжения при малых расстояниях. Они настолько сильно связаны с поверхностью частиц, что не удается их отделить даже центрифугированием с ускорением, превосходящим ускорение свободного падения в несколько десятков тысяч раз. Это означает, что увеличивается объем твердой фазы навала и сокращается объем его пор. Уменьшение объема пространства между частицами и плохое адсорбирование пленочной воды препятствует увеличению влагоемкости навала. Для улучшения адсорбционных свойств воды в нее добавляются различные смачивающие добавки и поверхностно-активные вещества.

Характерной особенностью строения всех поверхностно-активных веществ является дифильность их молекул, т. е. наличие в них гидрофильных и гидрофобных центров, иначе говоря, они состоят из двух частей полярной группы и неполярного углеводородного или ароматического радикала. Кроме этого поверхностно-активные вещества отличаются растворимостью в воде.

При адсорбции раствора на твердом теле различают два случая: адсорбцию неэлектролитов и электролитов. На адсорбцию растворов сильно влияет природа и структура адсорбента. Неполярные адсорбенты лучше адсорбируют неполярные молекулы, а полярные адсорбенты — полярные адсорптивы.

Химическая природа адсорптивов по разному влияет на его способность адсорбироваться на твердом теле, т. к. адсорбируемость зависит от природы адсорбента и воды, которые могут быть неполярными и полярными веществами. Однако важным правилом в этом отношении является известное правило уравнивания полярности, сформулированное П.А. Ребиндером. В соответствии с этим правилом, вещество сможет адсорбироваться на поверхности раздела фаз адсорбент и вода, если оно в результате своего присутствия в поверхностном слое будет уравнивать разность полярностей фаз между адсорбентом и водой. Адсорбция вещества будет происходить, если его диэлектрическая

проницаемость ε будет лежать между диэлектрической проницаемостью адсорбента ε_a и воды ε_e т. е. при условии $\varepsilon_a > \varepsilon > \varepsilon_e$ или $\varepsilon_e > \varepsilon > \varepsilon_a$.

Следовательно, можно сделать вывод, что все неполярные гидрофобные вещества будут хорошо адсорбировать поверхностно-активные вещества из полярных жидкостей, а полярные адсорбенты должны хорошо адсорбировать поверхностно-активные вещества из неполярных или слабо полярных жидкостей.

Таким образом, так же как и в воде, в водных растворах поверхностно-активных веществ мелкодисперсные пыли образуют мицеллы. При этом концентрация поверхностно-активных веществ должна быть меньше критической концентрации мицеллообразования так как концентрации раствора ниже критической концентрации мицеллообразования, уменьшают размеры мицелл. С добавлением в воду поверхностно-активных веществ происходит значительное изменение поверхностного натяжения, которое влияет на смачиваемость твердых тел растворами. Смачиваемость определяется косинусом краевого угла смачивания.

Смачивание характеризуется интенсивностью взаимодействия между молекулами различных веществ. Твердое тело тем лучше смачивается раствором, чем меньше воздействие между молекулами самого раствора. При добавлении в воду поверхностно-активных веществ уменьшаются силы взаимодействия между молекулами воды.

В результате добавления поверхностно-активных веществ в воду понижается на определенную величину ее поверхностное натяжение и увеличивается смачивающая способность раствора.

При фильтрации обеспыливающего раствора сквозь навал горной массы он, взаимодействуя с его полидисперсными частицами, образует дисперсионную систему. Дисперсионная система состоит из дисперсной фазы и дисперсионной среды. Дисперсионная среда представляет собой воду, в которой имеются растворимые соли и минералы, а также растворимые поверхностно-активные вещества. За дисперсную фазу следует принимать нерастворимые твердые минералы, органические частицы пыли и нерастворимые поверхностно-активные вещества. Дисперсионные системы в зависимости от размеров дисперсной фазы разделяются на следующие виды: молекулярные, дисперсные, коллоидные, микрогетерогенные и грубодисперсные. Однако следует отметить, что переход от одной системы к другой не имеет резких границ. Несмотря на это, для коллоидной и микрогетерогенной систем огромное значение имеет адсорбция и вообще поверхностные явления, в то же время как поведение 2-х других систем определяется основными объемными свойствами.

В результате фильтрации раствора через навал горной массы мы имеем дисперсную систему, которая изменяет строение и структуру навала горной массы, так как его частицы переходят из несвязной пористой среды в раствор. Вследствие этого происходит уменьшение размеров пор навала горной массы и самоуплотнение несвязной пористой среды, что необходимо учитывать при определении расхода обеспыливающего раствора.

4.3. Обоснование удельного расхода обеспыливающих растворов при увлажнении горной массы

Навал горной массы теоретически представим в виде несвязной среды с однородной пористостью. Это означает, что он сформирован из гранул строго одного размера и одинаковой формы. Кроме этого, размеры порового пространства такие, что могут удерживать жидкость только в углах пор. Если i -е поровое пространство удерживает δV_i объем жидкости, то полный объем жидкости, удерживаемый в объеме навала горной массы, будет равен

$$V_{жс} = \sum_{i=1}^N \delta V_i \quad (4.9)$$

где $V_{жс}$ - объем жидкости в навале горной массы, $м^3$; N - количество пор.

Тогда массу жидкости в объеме навала можно выразить

$$M = \rho_{жс} \sum_{i=1}^N \delta V_i \quad (4.10)$$

где $\rho_{жс}$ - плотность жидкости, $кг/м^3$.

Удельный расход, расход жидкости можно представить как отношение ее к массе руды или породы

$$q = \frac{\rho_{жс} \cdot \sum_{i=1}^N \delta V_i}{\rho_g \cdot V_n} \quad (4.11)$$

где ρ_g - плотность горной массы, $кг/м^3$; V_n - объем навала горной массы, $м^3$.

Относительная влажность горной массы φ_0 характеризует степень заполнения пор жидкостью, т. е. содержание жидкости в навале $\Delta V_{жс}$, по отношению к объему навала V_n :

$$\varphi_0 = \frac{V_{жс}}{V_n} \cdot 100\% . \quad (4.12)$$

Пористость (в относительных единицах) можно определить как отношение объема пор навала к объему навала, допуская, что поры полностью заполнены водой:

$$m = \frac{V_{жс}}{V_n}. \quad (4.13)$$

Подставляя в (4.11) выражения (4.12) и (4.13) получим формулу для определения удельного расхода воды:

$$q = 0,01 \cdot \frac{\rho_{жс}}{\rho_z} \cdot m \varphi_0. \quad (4.14)$$

Величины ρ_z и m являются физическими характеристиками несвязанной пористой среды, а $\rho_{жс}$ определяют свойство жидкости. Величина относительной влажности φ_0 зависит от свойств жидкости и обрабатываемой горной массы и условия их взаимодействия.

Формула (4.11) позволяет определить удельный расход растворов только для не связанных сред с однородной пористостью.

Как известно, навал горной массы в карьерах образуется в результате разрушения массивов горных пород взрывчатыми веществами. Процесс разрушения и формирования навала зависит от многих факторов. Поэтому в навале горной массы содержится широкий диапазон фракции, а именно от негабаритов размером 1,5 и более метров до высокодисперсных частиц, которые распределены по всему объему. В связи с этим, целесообразно навал горной массы рассматривать как несвязанную среду с неоднородной пористостью.

Схема распределения жидкости и фракции размером 0-1 мм в поровом пространстве представлена на рисунке 4.2.

Представим объем жидкости в поровом пространстве навала горной массы следующим образом,

$$\delta V_{жсi} = \delta V_{ni} - \delta V_{vi} - \delta V_{ki},$$

где $\delta V_{жсi}$ - объем жидкости в i -том поровом пространстве, $м^3$;

δV_{ni} - объем i -того порового пространства, $м^3$;

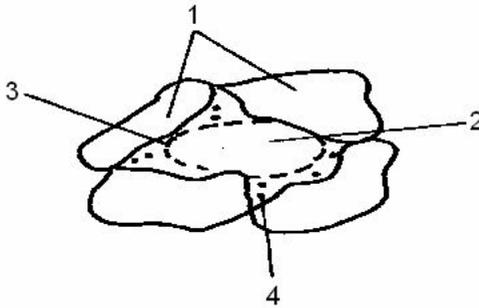


Рисунок 4.2. Схема распределения жидкости и фракции в порах навала горной массы: 1-куски пород; 2-воздушное пространство; 3-жидкость в порах; 4-частицы фракции 0-1мм.

$\delta V_{\delta i}$ - объем воздуха в i -том поровом пространстве, $м^3$;

δV_{ki} - объем k -ых частиц фракции 0-1 мм с прочно связанной жидкостью в i -том поровом пространстве, $м^3$;

При этом K -меняется от 1 до N числа частиц, содержащих в поровом пространстве. Тогда объем жидкости в порах навала горной массы можно записать.

$$q = 0,01 \cdot \frac{\rho_{жс}}{\rho_c} \cdot \frac{V_n}{V_n} \cdot [\varphi_0 - (\omega_m + 2\varphi)]. \quad (4.16)$$

где $V_{жс} = \sum_{i=1}^N \delta V_{жс i}$ - объем жидкости во всем навале горной массы, $м^3$;

$$V_a = \sum_{i=1}^N \delta V_{\delta i} \quad \text{- объем воздуха в порах навала, } м^3;$$

$V_g = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \delta V_{ki}$ - суммарный объем частицы с прочно связанной жидкостью, $м^3$;

При неполном заполнении пор навала происходит его самоуплотнение за счет смешения скелета навала при переходе частиц фракции 0-1 мм в раствор. С учетом самоуплотнения навала для объема жидкости будем иметь

$$V_{жс} = V_n + V_g - V_1 - V_2, \quad (4.17)$$

где ΔV_2 - величина объема самоуплотнения, $м^3$.

Объем воздуха, содержащийся в порах равен разности объемов пор и жидкости, т. е.

$$\Delta V_g = \Delta V_n - \Delta V_{ж} \quad (4.18)$$

Пусть уровень влажности или относительная влажность составляет φ_0 , % от объема пор навала горной массы, тогда суммарный объем частиц с прочно связанной жидкостью ΔV , составит $(\varphi + \omega_m)$, % от объема жидкости в порах навала. Следовательно, можно записать для объема ΔV_1 соотношение

$$\Delta V = \frac{\varphi + \omega_m}{\varphi} \Delta V_{ж} \quad (4.19)$$

где φ - содержание частиц фракции 0-1 мм, %;

ω_m - максимальная влагоемкость частиц той же фракции, %.

Объем ΔV_1 воспользовались соотношением (4.12) выразим через объем пор навала горной массы,

$$\Delta V_1 = \frac{\varphi + \omega_m}{100\%} \Delta V_n \quad (4.20)$$

Так как частицы фракции 0-1 мм участвуют в образовании дисперсионной системы, то в скелете навала происходит смещение кусков на величину, пропорциональную весовому процентному содержанию фракции 0-1мм содержащейся в навале. Поэтому для объема имеем:

$$\Delta V_2 = \frac{\varphi}{100\%} \Delta V_n \quad (4.21)$$

Выражение (4.12), (4.19) и (4.21) подставим в (4.17) и после элементарных преобразований для объема жидкости в навале горной массы получим

$$\Delta V_{ж} = 0,01 \Delta V_n \cdot [\varphi_0 - (\omega_m + 2\varphi)]. \quad (4.22)$$

Умножить на плотность соответствующей жидкости получим массу жидкости

$$\mu = 0,01 \rho_{ж} \Delta V_n \cdot [\varphi_0 - (\omega_m + 2\varphi)]. \quad (4.23)$$

В формуле (4.23) необходимо учесть естественную влажность ω_e горной массы. При этом естественную влажность следует прибавить к максимальной молекулярной влагоемкости, либо отнять от относительной влагоемкости, так как, чем больше естественная влажность, тем больше частиц будут участвовать в образовании дисперси-

онной системы. В связи с этим, удельный расход жидкости с учетом естественной влажности и формулы (4.10) представим, как

$$q = 0,01 \cdot \frac{\rho_{жс}}{\rho_z} \cdot m [\varphi_0 - (\omega_m + \omega_e + 2\varphi)], \quad (4.24)$$

где ω_e - естественная влажность горной массы, %.

Представим плотность горной массы через плотность горных пород, составляющих навал. Тогда удельный расход будет определяться по формуле

$$q = 0,01 \cdot \frac{\rho_{жс} m}{\rho_z (1-m)} \cdot [\varphi_0 - (\omega_m + \omega_e + 2\varphi)] \quad (4.25)$$

Пористость навала горной массы связана коэффициентом разрыхления, который согласно определению равен:

$$\kappa_p = \frac{V_n}{V_m}, \quad (4.26)$$

где V_m - объем уступа в массиве.

Объем пор навала горной массы можно представить как

$$\Delta V_{жс} = 0,01 \Delta V_n [\varphi_0 - (\omega_m + 2\varphi)]. \quad (4.27)$$

Пористость можно выразить через коэффициент разрыхления

$$m = \frac{k_p - 1}{k_p} \quad (4.28)$$

С учетом (4.24) получим формулу для удельного расхода жидкости.

$$q = 0,01 \frac{\rho_{жс}}{\rho_z} \cdot (k_p - 1) \cdot [\varphi_0 - (\omega_m + \omega_e + 2\varphi)]. \quad (4.29)$$

Таким образом, в формуле (4.29) содержатся величины, характеризующие физико-механические и физико-химические свойства горных пород и жидкости, а так же параметры навала, определяющие структуру.

При увлажнении навала горной массы с полным заполнением его пор относительная влажность будет составлять 100%, а процесс самоуплотнения отсутствует. В этом случае удельный расход растворов определяется по формуле

$$q = \frac{\rho_{жс}}{\rho_z} \cdot (k_p - 1) \cdot [1 - 0,01(\omega_m + \omega_e + 2\varphi)]. \quad (4.30)$$

Для предварительной оценки и оперативного определения удельного расхода при малых значениях величины φ можно воспользоваться выражением

$$q = \frac{\rho_{жс}}{\rho_e} \cdot (k_p - 1) \cdot [1 - 0,01(\omega_m + \omega_e)]. \quad (4.31)$$

Анализ полученных выражений (4.25), (4.16) и (4.29) показывает, что удельный расход зависит от величины φ_0 , которая является функцией поверхностного протяжения и коэффициента смачивания.

4.4 Основной критерий выбора способов и средств пылеподавления при увлажнении горной массы

При увлажнении навала горной массы как видно из формулы (4.29) удельный расход ее стремится к нулю при условии, что

$$\varphi_0 - (\omega_m + \omega_e + 2\varphi) = 0. \quad (4.32)$$

Удельный расход воды не может быть равен нулю, так как навал горной массы даже при самой плотной упаковке содержит поры. Равенство нулю (4.32) означает, при безнапорном течении воды навал не может быть увлажнен со значениями величины $\varphi_0, \omega_m, \omega_e$ и φ удовлетворяющих равенству (4.31).

Для увлажнения навала горной массы необходимо соблюдение следующего неравенства

$$1 < \frac{\varphi_0}{\omega_m + \omega_e + 2\varphi} < \frac{100}{\omega_m + \omega_e + 2\varphi}, \quad (4.33)$$

которое можно принять за критерий, определяющий возможность увлажнения навала тоже, что величины, характеризующие состояние воды в нем не удовлетворяют (4.33), то возникает необходимость поиска смачивающих средств, добавляемых в воду или способов увлажнения навала. Для того, чтобы правильно выбрать смачивающие добавки необходимо установить зависимость между величинами, определяющим взаимодействие жидкости с горной массы от параметров навала.

Между основанием навала горной массы и массивом, на котором он расположен, отсутствует непроницаемая граница для жидкости. При заполнении пор навала в нем должно быть столько жидкости, сколько могло бы остаться в углах пор или в виде каймы с сечением S_k . Образование каймы жидкости S_k в поровом пространстве зависит от его размера, поверхностного протяжения жидкости и ее смачиваемости. Когда размеры пор достаточно большие жидкости остается в углах пор, а при малых размерах образуют кайму жидкости или полностью

заполняют. Все это связано с капиллярным явлением жидкости в поровом пространстве.

Тогда степень заполнения пор или относительную влажность навала горной массы, выраженную в процентах, можно представить в виде

$$\varphi_0 = \frac{S_k}{S_0} \cdot 100\% , \quad (4.34)$$

где S_k - критическое сечение, при котором наблюдается явление капиллярности, m^2 ; S_0 - среднее значение порового пространства, m^2 .

Явление капиллярности проявляется при различных размерах порового пространства. Однако за величину S_k следует принимать то ее значение при котором начинает проявляться явление капиллярности.

Для цилиндрической формы порового пространства относительную влажность можно представить как

$$\varphi_0 = \frac{r_k^2}{r_0^2} \cdot 100\% , \quad (4.35)$$

где r_k - радиус при, котором начинается явление капиллярности или критический радиус проявления капиллярности, m ;

r_0 - средний радиус пор навала горной массы, m .

Критический радиус r_k - выразим через поверхностное натяжение жидкости

$$r_k = \frac{2\sigma}{\rho_{ж}gh} \cdot \cos \theta , \quad (4.36)$$

где δ - поверхностное натяжение жидкости, n/m ;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости $кг/м^3$;

g - ускорение свободного падения, $м/с^2$;

h - высота капиллярного поднятия, $м$;

θ - краевой угол смачивания.

Таким образом, зависимость относительной влажности от поверхностного натяжения жидкости и смачиваемости горных пород можно представить формулой

$$\varphi_0 = \frac{4\sigma^2 \cos^2 \theta}{\rho_{ж}^2 g^2 h^2 r_0^2} . \quad (4.37)$$

Определение относительной влажности по формуле (4.37) предполагает, что горные породы не впитывают определенное количество жидкости. Однако горные породы представляют собой устойчивые пирогенетические ассоциации одного и нескольких минералов, образующие самостоятельные геологические тела. Естественно, что любая горная порода состоит из минерального и порового объема. Поэтому

горные породы впитывают некоторое количество жидкости в зависимости от размеров его пор. Кроме того поверхность кусков горных пород не является абсолютно гладкой, а представляет собой поверхность с определенной шероховатостью. При этом куски горных пород формируют несвязанную среду с разным направлением пор, в том числе и горизонтальным. В конечном счете все это влияет на величину относительной влажности и следовательно на удельный расход. В связи с этим относительную влажность целесообразно определить весовым методом, и следовательно, формулу (4.37) необходимо выразить не через отношение объемов, а через отношение масс. Это достигается тем, что в формулу (4.37) вводим плотность соответствующей жидкости $\rho_{жс}$ и ρ_z плотность горной массы данной фракции. В результате имеем:

$$\varphi_0 = \frac{400 \sigma^2 \cos^2 \theta}{\rho_z (1 - m) \rho_{жс} g^2 h^2 r^2}. \quad (4.38)$$

Если учесть, что $m_{жс} = \rho_{жс} q \pi r_0^2 h$ представляет собой вес жидкости в порах по формуле (4.39) можно представить в виде:

$$\varphi_0 = \frac{400 \sigma^2 \pi \cos^2 \theta}{\rho_z (1 - m) m_{жс} g h}. \quad (4.39)$$

Тогда не трудно доказать, что вес жидкости, содержащейся в углах пор, не зависит от формы порового пространства для одних и тех же значений.

Отсюда можно сделать следующий вывод, что с уменьшением поверхностного натяжения и смачиваемости, относительная влажность уменьшается пропорционально квадрату этих величин. В то время как относительная зависимости влажности от пористости сделать однозначный вывод трудно, так как пористость различных фракций может быть почти одинаковой, но их относительная влажность сильно будет отличаться. Это можно объяснить тем, что в зависимости от плотности упаковки фракции, при одних и тех же размерах частиц могут формироваться, как мелкопористые, так и крупнопористые несвязанные среды, в зависимости от формы гранул.

При подстановке формулы (4.39) и (4.33) критерий выбора средств и способов пылеподавления примет следующий вид:

$$1 < \frac{400 \sigma^2 \pi \cos^2 \theta}{\rho_z (1 - m) m_{жс} g h (\omega_m + \omega_e + 2\varphi)} < \frac{100}{\omega_m + \omega_e + 2\varphi} \quad (4.40)$$

В неравенстве содержится поверхностное натяжение жидкости и смачиваемость горных пород, а так же пористость навала горной массы. Если неравенство (4.40) не выполняется для воды, то можно по-

добавить водный раствор различных поверхностно-активных веществ определенных концентраций.

Однако, водные растворы различных поверхностно-активных веществ удовлетворяющие (4.40) могут оказаться с большой концентрацией и нежелательным с экологической и экономической точки зрения. Тогда возникает необходимость поиска поверхностно – активных веществ с низкой концентраций удовлетворяющее (4.40) и способом обработки, такие как принудительное увлажнение навала, предварительное увлажнение в массиве принудительным способом и т. д. С подбором средств связывания пыли необходима разработка способа увлажнения навала горной массы, позволяющая равномерно распределить в нем раствор.

4.5 Обоснование и разработка способа увлажнения навала горной массы растворами

Вопросам равномерного увлажнения всего объема навала горной массы посвящены очень много работ. Однако в них отсутствуют анализ причин, приводящихся к неравномерному увлажнению горной массы при фильтрации воды и ее растворов различными смачивающими добавками. Неравномерное увлажнение горной массы обусловлено прежде всего неправильным распределением жидкости на поверхности навала горной массы через которое осуществляется его обработка. При этом могут наблюдаться такие явления как временная и воздушная кольмотация.

Временная кольмотация является результатом выпадения из дисперсной системы дисперсных сред при определенных условиях ее фильтрации. В связи с этим ухудшается проницаемость навала горной массы, а иногда приводит к полному прекращению, фильтрации жидкости в низлежащие слои.

Воздушная кольмотация чаще всего обусловлена тем, что при бессистемной подачи воды на поверхность навала горной массы внутри него образуется область, где давление воздуха превышает гидростатическое давление жидкости. Так как на пути вытеснения воздуха перекрыты фильтрующей жидкостью.

Предотвращение обоих видов кольмотации, это прежде всего правильное осуществление распределения жидкости на поверхности навала горной массы, способствующее дальнейшей ее фильтрации. Физически это означает зависимость фильтрации жидкости в несвязных средах от начальных условий.

Различные степени фильтрации воды применительно для грунтов достаточно глубоко изучены в известных работах. Фильтрация жидкости через пористые среды описывается законом Дарси, установленным экспериментально. Согласно этому закону скорость фильтрации пропорционально пьезометрическому напору. Однако закон Дарси имеет определенные пределы применимости. Для однородных грунтов закон Дарси имеет место, когда число Рейнольдса меньше некоторого числа A , которое варьирует в пределах от 3 до 10.

Для крупнозернистых грунтов зависимость между скоростью и пьезометрическим напором описывается полиномом n -ой степени, значение которой может быть равно двум и более определяется из опыта.

Течение жидкости, подчиняющееся закону Дарси нелинейному закону фильтрации приводит к равномерному распределению ее в объеме несвязных сред с неоднородной пористостью. Закон Дарси и нелинейный закон фильтрации удовлетворяют течению с полным заполнению пор. При этом в несвязных средах с неоднородной пористостью создаются перетоки жидкости между системами пор, способствует возникновению преимущественного направления фильтрации.

В исследованиях за основную характеристику течения жидкости принят коэффициент фильтрации, суммарно оценивающий свойства фильтрующей жидкости, структуру сред и их взаимодействие. В случае течения с неполным заполнением пор фильтрация определяется не только коэффициентом фильтрации, но и степенью влажности горной массы. Фильтрация воды в почво-грунтах при его неполном заполнении рассмотрена в исследованиях и для коэффициента водопроницаемости получена зависимость

$$K_{\omega} = K_{\phi} \frac{W - W_0}{m - W_0}, \quad (4.41)$$

где W_0 – максимальная влагоемкость;

W – степень заполнения или степень насыщенности почвогрунта;

m – пористость;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации.

При выводе формулы (4.41.) почво-грунт рассматривается как пучок капилляров, в то время как навал горной массы представляет не связную среду с неоднородной пористостью.

В исследовании описывается состоянием воды в почве, в пористых водопроницаемых горных породах, в зависимости от их влажности. При самом малом содержании жидкости она впитается в зер-

на грунта, а с увеличением влажности она начинает обволакивать зерна грунта в виде пленок и далее с увеличением влажности заполняет сначала мелкие, а затем более крупные поры. При заполнении всех пор, жидкость приобретает возможность перемещаться под действием силы тяжести. Автор также утверждает, что течение воды с неполным заполнением грунта, будет подчиняться законам, аналогичным законам гидравлики, а движение жидкости в других состояниях, будет подчиняться иным законам, вытекающим из законов поверхностного натяжения и испарения. Кроме того отсутствие нижнего предела применимости закона Дарси наталкивает на мысль, что в несвязных пористых средах при определенных условиях возникает особый вид течение жидкости, который имеет до настоящего времени свое математическое описание в зависимости от поверхностного натяжения жидкости и смачиваемости.

Для того, чтобы увлажнить весь объем навала горной массы, требуется создать течение жидкости аналогичное течению в грунтах, стоит лишь разницей, что вместо обволакивающих зерен грунта должны обволакиваться частицы горных пород, составляющие навал горной массы. Тогда аналитическую зависимость скорость распространения в несвязной среде с неоднородной пористостью от величин, характеризующих структуру среды, свойства жидкости и их взаимодействия можно установить при решении уравнения (4.26) совместно с уровнем неразрывности:

$$\frac{\partial \rho_{ж}}{\partial t} + \operatorname{div} \rho_{ж} V = - \frac{\partial q_0}{\partial t} \quad (4.42)$$

где $\rho_{ж}$ - плотность жидкости, $кг/м^3$;

V - скорость поглощения жидкости в несвободной среде, $м/с$;

q_0 - плотность стока жидкости $кг/м^3$.

При течении жидкости удовлетворяющих условиям (4.34) и (4.40) происходит не под действием силы тяжести, а за счет силы обусловленной наличием поверхностного натяжения жидкости, тогда все направления распространения жидкости будут равнозначными. В связи с этим уравнение (4.42) несложно представить к одномерной задаче:

$$\frac{d\rho_{ж}}{dt} + \rho_{ж} \frac{dV}{dx} + V \frac{d\rho_{ж}}{dx} = - \frac{dq_0}{dt} \quad (4.43)$$

Влажность φ_0 в формуле (4.26) является функцией координаты x и времени t , т.е. можно записать $\varphi_0 = \varphi(x, t)$. При умножении

(4.26) на $\rho_{жс}$ получим q_0 , которую продифференцировав по времени и подставляя в (4.43) будем иметь:

$$\frac{d\rho_{жс}}{dt} + \rho_{жс} \frac{dV}{dx} + V \frac{d\rho_{жс}}{dx} = - \frac{10^{-2} m}{\rho_z(1-m)} \left[2\varphi(x,t)\rho_{жс} \frac{d\rho_{жс}}{dt} + \rho_z^2 \frac{\partial\varphi(x,t)}{\partial t} \right] \quad (4.44)$$

Величины W_r, W_l и φ от времени не зависят и ими можно пренебречь. Группируя и разделяя переменные по времени и координате, и также учитывая, что $\frac{dx}{dt} = V$ из (4.44) получим уравнение для интегрирования:

$$- \frac{dV}{V} = \left[\frac{2 \cdot 10^{-2}}{\rho_z(1-m)} m \rho_{жс} \cdot \varphi(x,t) - 2 \right] \frac{d\rho_{жс}}{\rho_{жс}} + \frac{10^{-2} \rho_{жс} m}{\rho_z(1-m)} d\varphi \quad (4.45)$$

Относительное изменение плотности жидкости за счет частиц намного меньше изменений влажности несвязных сред:

$$\frac{d\varphi}{\varphi} \gg \frac{d\rho_{жс}}{\rho_{жс}} \quad (4.46)$$

Для того чтобы убедиться в справедливости неравенства (4.46) произведем оценку. Обычно фракция 0-1 мм в объеме всего навала горной массы составляет несколько процентов. Следовательно, его доля в любой точке навала горной массы будет еще меньше, чем во всем объеме. Допустим, что содержание фракции 0-1 мм в объеме навала составляет 10%. При равномерном распределении фракции 0-1 мм в объеме навала горной массы при высоте 20 м на каждый метр высоты приходится 0,5%. Следовательно, относительное изменение плотности, в лучшем случае составляет 0,5%.

Изменение влажности горной массы в процессе фильтрации жидкости происходит на одну и ту же величину в любой точке навала горной массы. Оценку изменения влажности можно произвести по следующему выражению

$$100 \frac{d\varphi}{\varphi} \approx \frac{\varphi_0 - W_e}{\varphi_0} \quad (4.47)$$

где φ_0 - относительная влажность пород, составляющая несвязную пористую среду, %;

W_e - естественная влажность горных пород, %.

Для несвязных сред при естественной влажности 2% пусть относительная влажность составляет 10%. Тогда относительное изменение составит 30%. Таким образом, как видно из оценки неравенства (4.46)

выполняется даже при самых больших значениях содержания мелкой фракции малых значениях изменения влажности. Отсюда следует вывод, что неравенство (4.46) будет удовлетворять во всех остальных случаях. Поэтому уравнение (4.45) можно представить в виде:

$$-\frac{dV}{V} = \frac{10^{-2} \rho_{жс} m}{\rho_c (1-m)} d\varphi. \quad (4.48)$$

Интегрирование выражения (4.48) при изменении скорости от начальной V_0 до величины u_0 соответствующей скорости поглощения жидкости несвязной пористой средой, ее влажность изменяется от естественной до относительной.

Рассмотрим интеграл:

$$\int_{V_0}^{u_0} \frac{dV}{V} = \int_{W_e}^{\varphi_0} \frac{10^{-2} \rho_{жс} m}{\rho_c (1-m)} d\varphi, \quad (4.49)$$

проинтегрировав выражение получим:

$$\ln \frac{u_0}{V_0} = \frac{10^{-2} \rho_{жс} m}{\rho_c (1-m)} (\varphi_0 - W_e) \quad (4.50)$$

Потенцируя выражение (4.50) подставив значение φ_0 из (4.39) получим формулу для скорости поглощения жидкости:

$$u_0 = V_0 \exp \frac{10^{-2} \rho_{жс} m}{\rho_c (1-m)} \left[\frac{400 \sigma^2 \pi \cos^2 \theta}{\rho_c (1-m) M_{жс} \cdot gh} - W_e \right]. \quad (4.51)$$

Как видно из формулы (4.51) изменение поверхностного натяжения σ и смачиваемости $\cos \theta$ приводит к изменению скорости поглощения жидкости. При этом следует заметить, что полученная формула удовлетворяет все значения $\cos \theta$, которая также определяет избирательное смачивание. Фильтрация жидкости по порам начинается только лишь после формирования слоя жидкости у самой поверхности на границе двух сред. Поэтому процесс формирования граничного слоя задерживает процесс фильтрации и следовательно скорость фильтрации должна определяться как разность.

$$|\bar{u}| = \left| \bar{V}_1 \right| - \left| u_0 \right|, \quad (4.52)$$

где \bar{u} - скорость фильтрации жидкости, м/с;

V_0 - начальная скорость фильтрации, м/с;

u_0 - скорость поглощения жидкости пористой средой, которая соответствует скорости формирования слоя определяющейся относительной влажностью.

В результате проведенного аналитического исследования для скорости фильтрации жидкости в пористых средах имеет формулу:

$$|\vec{u}| = |V_0| \left[ex \rho \frac{10^{-2} \rho_{жс} m}{\rho_c (1-m)} \cdot \left(\frac{400 \sigma^2 \pi \cos^2 \theta}{\rho_c (1-m) M_{жс} \cdot gh} - W_e \right) \right] \quad (4.53)$$

Из формулы (4.53) видно, что чем больше скорость поглощения жидкости, тем меньше скорость фильтрации. При течении жидкости со скоростью определенной формулой (4.53) перенос твердых веществ не происходит.

Таким образом, полученная формула (4.53) позволяет обосновать способ увлажнения несвязных сред с неоднородной пористостью в зависимости от смачиваемости и поверхностного натяжения жидкости.

Из полученной формулы также видно, что скорость фильтрации жидкости прежде всего зависит от ее начальной скорости V_0 . Начальная скорость V_0 определяется способом доставки на увлажняющуюся поверхность, а также воздействия жидкости с кусками горных пород. Распространенным способом доставки жидкости на увлажненную поверхность является использование гидромониторов.

При увлажнении наибольший интерес представляет конечная часть струи, определяющаяся значением V_0 в момент соприкосновения жидкости с поверхностью навала горной массы.

Для эффективного связывания пыли предлагается разработанный способ увлажнения навала горной массы. Сущность этого способа заключается в том, что подачу воды следует начинать от линии горизонтальной части поверхности навала горной массы с откосом уступа, постепенно перемещая факел орошения к нижней бровке навала горной массы.

При этом следует соблюдать одно условие:

$$|\vec{V}_0| \leq |\vec{u}|, \quad (4.54)$$

где V_0 - скорость струи на поверхности увлажняемого навала горной массы или начальная скорость фильтрации, м/с;

u - скорость фильтрации воды во взорванную горную массу, м/с.

Для соблюдения условия (4.54) необходимо, чтобы увлажняемая площадь S_1 , поверхности навала горной массы поливалась строго определенное время t_1 факелом струи площади S_ϕ . Отсюда следует, что

площадь S_1 должна быть орошена факелом площадью S_ϕ , путем перемещения его по орошаемой поверхности за время, равное t_1 .

При расположении поливной установки на нижней площадке уступа величина S_1 определяется как:

$$S_1 = D_\phi \cdot l, \quad (4.55)$$

где D_ϕ - наибольший диаметр факела, m ;

l - ширина навала горной массы на поверхность, m .

Перемещение факела по орошаемой поверхности навала горной массы происходит с шагом d_ϕ . При этом площадь обрабатывается в течение времени t_1 , а обработка участка S_1 равняется $t_1 = \sum_{i=0}^n t$. За время

t_1 перемещений по поверхности в глубь навала горной массы должны быть такими, что на площади участка не должно скапливаться накопление жидкости. Тогда условию (4.54) будет соответствовать равенство:

$$\bar{u} t_1 = \frac{D_\phi \cdot l}{d_\phi} \quad (4.56)$$

где t_1 - время полива участка, s .

Из условия (4.54) воспользуемся случаем равенства и заменяя на $|V_0|$ для времени, получим выражение:

$$t_1 = \frac{D_\phi \cdot l}{d_\phi |V_0|} \quad (4.57)$$

Использование формулы (4.51) в том виде, в каком она представлена, связано с трудностью определения $|V_0|$. Поэтому пользуясь уравнением неразрывности $|V_0| = \frac{Q}{S_\phi}$ и учитывая (4.55) для времени полива, будем иметь:

$$t_1 = \frac{S_\phi S_1}{Q d_\phi} \quad (4.58)$$

где Q - максимальный расход воды гидромонитором, m^3/s .

Осуществление предлагаемого способа увлажнения предусматривает вытеснение адсорбированного воздуха, а также воздуха, находящегося порах и пустотах навала горной массы. Эффективность способа увлажнения обуславливается тем, что вытесненный воздух перемещается по пути наименьшего сопротивления, т.е. воздух вытесняется со всех открытых поверхностей навала горной массы.

Разработанный способ исключает коагуляционные процессы и тем самым создает также течение, при котором увлажняется весь объем горной массы. Для осуществления способа увлажнения необходимо экспериментальное определение параметров формул (4.25) и (4.58).

4.6 Удельный расход воды и растворов, определение параметров навала горной массы

На удельный расход воды и растворов для увлажнения навала горной массы входит температура и влажность воздуха.

На рисунке 4.3 рассмотрено влияние испарения на относительную влажность при температуре атмосферного воздуха 25-30° С и влажности 30-35%.

Уменьшение относительной влажности за первые два часа объясняется интенсивным процессом испарения с поверхности, а дальнейшее уменьшение относительной влажности проходит медленнее, которое можно объяснить тем, что процесс испарения из пор обусловлен динамическим равновесием жидкости и ее пара в ограниченном пространстве.

В течении 5 суток как для воды и также для 0,0005% водного раствора тринатрифосфата относительная влажность ороговикованного песчаника остается достаточной для связывания мелкодисперсных частиц. Однако следует отметить, что чрезмерное орошение и уменьшение относительной влажности может привести к более интенсивному испарению из пор, за счет увеличения пространства над жидкостью и в результате чего между жидкостью и ее паром не будет наступать динамическое равновесие.

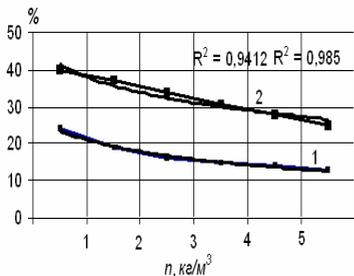


Рисунок 4.3. Влияние испарения на относительную влажность горной массы
1 - относительная влажность породы при увлажнении водой; 2 - для пород при увлажнении 0,0005% раствором тринатрийфосфата.

Расчеты позволили установить все физико-химические параметры навала горной массы при взаимодействии с различными растворами. Однако, для того, чтобы выделить какой-либо из растворов необходимо провести расчет удельного расхода воды и водных растворов поверхностно активных веществ и смачивающих добавок.

Удельный расход воды и ее растворы со смачивающими добавками рассчитывается по формуле (4.25) с учетом типа и влажности горных пород. При этом следует отметить, что максимальные удельные расходы соответствуют минимальным значениям величин относительной влажности при различных значениях пористости горных пород и максимальной молекулярной влагоемкости фракции размером 0-1мм.

Установление удельного расхода растворов является необходимым условием не связывания в объеме навала горной массы. Для того, чтобы увлажнить весь объем навала горной массы необходимо создать условие, при котором будет происходить фильтрация во всем объеме.

Основными параметрами увлажнения навала горной массы являются: начальная скорость фильтрации; время полива участка; площадь факела орошения на поверхности навала; увлажняемая площадь поверхности участка; малый диаметр факела; расход жидкости гидромонитора. При увлажнении навала взорванной горной массы большую роль играет поверхностная площадь налива и параметры струи гидромонитора.

Гидромониторные струи по цели назначения разделяются на два основных вида. Первое для создания максимального динамического удара, а второе для смачивания поверхностей. Однако с увеличением мощности добычи на карьерах увеличиваются размеры навала, что приводит к необходимости гидромониторов параметры которых отличаются высокой дальностью, а следовательно и большим динамическим воздействием. Для процессов увлажнения наибольший интерес представляет параметры конечной части струи в момент соприкосновения ее с поверхностью навала.

Взаимодействие струи с кусками горных пород является процессом, близким и упругому соударению. В результате этого вода разбрызгивается и приводит к значительному давлению размеров факела на поверхности навала горной массы. Поэтому необходимо установить активную зону струи на поверхности навала, с учетом взаимодействия ее с кусками горных пород.

На увлажнение навала горной массы большую роль играет скорость поглощения и фильтрации от смачиваемости горных пород. Зависимость скорости поглощения и фильтрации жидкости от смачиваемости горной массы представлена на рисунках 4.4., 4.5. Причем, скорость поглощения жидкости увеличивается с уменьшением, в то время как скорость фильтрации увеличивается с увеличением смачиваемости. Отсюда следует вывод, что для сред где происходит поглощение жидкости с образованием пограничного слоя жидкости, фильтрация начинается после этого слоя.

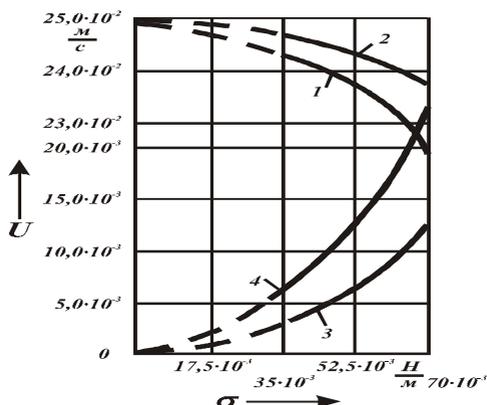


Рис. 4.4 Изменение скорости поглощения и фильтрации от поверхностного натяжения жидкости 1,2- соответственно скорости поглощения при смачиваемости 0,35 и 0,50; 3,4 – соответственно скорости фильтрации при смачиваемости 0,35 и 0,50.

При постоянном значении смачиваемости, скорости поглощения и фильтрации будут больше чем для жидкостей с меньшим поверхностным натяжением. Таким образом, снижение поверхностного натяжения воды различными добавками поверхностно-активных веществ приводит к увеличению скоростей поглощения и фильтрации жидкости.

Увлажнение взорванной горной массы следует производить путем подачи раствора на поверхность навала от верхней бровки уступа к нижней. Следует отметить увлажнение малых объемов горной массы приводит к значительному перерасходу жидкости, за счет стекания ее поверхности навала и ее основанию. Поэтому увлажняемые объемы навала горной массы должны соответствовать суточной производительности экскаватора или несколько превышать ее.

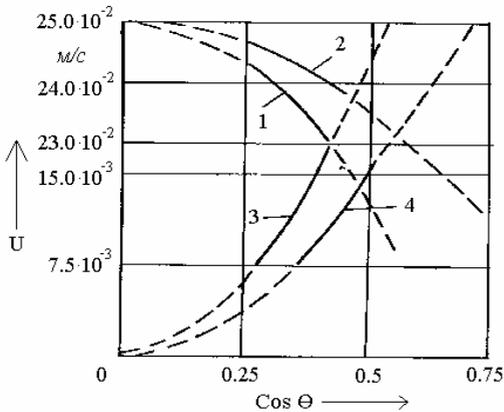


Рис. 4.5 Изменение скорости поглощения и фильтрации жидкости от смачиваемости горных пород; 1, 2 — соответственно скорости поглощения для воды и 0,0005% раствора тринатрийфосфата; 3, 4 — соответственно скорости фильтрации для воды и 0,0005% раствора тринатрийфосфата

Для объемов навалов, которые экскавируются в течение нескольких суток был испытан способ увлажнения, предотвращающий интенсивное испарение. Сущность ее заключается в раздельной обработке навала горной массы различными растворами. Перед подачей 0,0005% раствора тринатрийфосфата поверхность навала горной массы обрабатывалась универсином. После увлажнения горной массы раствором тринатрийфосфата его поверхность обрабатывалась раствором хлористого кальция или натрия концентрацией 2,5-30%. При этом раствор хлористого кальция заполнял поры навала до глубины 0,5 м. Раствор гигроскопичных солей создает влагозащитный слой и весь объем горной массы сохраняет первоначальную относительную влажность 10-12 суток.

При этом порядок обработки в каждом случае для разных растворов соблюдался в соответствии с предлагаемым раствором увлажнения навала.

Отбор проб из навала на установление относительной влажности показал, что в его объеме имеются места с плотной упаковкой, которые составляют 5-7% объема навала. Увлажнение этих объемов практически осуществить трудно.

При большой высоте навала не удастся увлажнить весь его объем. Если не удастся выбрать соответствующий способ или средство, то

возникает необходимость изменения технологического параметра, т.е. изменения высоты навала, изменяя условия и параметры взрывных работ. При этом высота навала, которая позволяет увлажнить весь его объем рассчитывалась по выражению (4.59), на модельных экспериментах.

$$t_1 = \frac{S_\phi S_l}{Q d_\phi}, \quad (4.59)$$

S_ϕ - площадь факела струя, m^2 ;

S_l - площадь навала по его поверхности, m^2 ,

Q - максимальный расход воды гидромонитора, m^3/c ,

d_ϕ - диаметр факела, m .

5. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ

5.1. Приборы и методы контроля параметров микроклимата карьера

Цель работы - ознакомить с аппаратурой контроля параметров рудничного климата, дать навыки пользования ею и основными методами контроля температуры, влажности и давления воздуха.

Климатические условия атмосферы карьеров определяются следующими основными метеорологическими элементами: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, частично барометрическим давлением атмосферы. Следует однако отметить, что изменение барометрического давления влечёт за собой и измерение качества атмосферного воздуха.

5.1.1. Приборы контроля температуры воздуха в карьере

Понятие о температуре как степени нагретости тела приближенно и полностью не отражает физическую сущность явления. Для определения температуры берут какое-либо тело и измеряют изменение физической величины, зависящей от температуры.

Согласно ГОСТ-8550-61, температуры в термодинамической и международной практической температурных шкалах выражаются двояким образом: в градусах Кельвина и в градусах Цельсия в зависимости от начала отсчёта (положение нуля) по шкале.

Градус Кельвина- единица измерения, в которой для температуры тройной точки воды установлено значение $273,16^{\circ}\text{K}$.

Размер градуса в термодинамической шкале для сохранения связи со шкалой Цельсия определялся как 0,01 температурного интервала, который принят в шкале Цельсия, и находящийся между двумя реперными точками, - точкой плавления льда и точкой кипения воды. Градус Цельсия обозначается символом $^{\circ}\text{C}$.

Шкала Кельвина названа термодинамической потому, что в основу её положен обратимый цикл Карно, коэффициент полезного действия которого не зависит от рабочего тела, и, следовательно, это дало возможность Кельвину получить шкалу, не зависящую от свойств термического тела.

В технике чаще всего применяются ртутные термометры, которыми можно измерять температуру в пределах от -36 до $35,7^{\circ}$. Более низкие температуры измеряют спиртовыми термометрами: (C_6H_6) или толуоловыми термометрами (до -95°).

В практике рудничной вентиляции применяются термометры, обеспечивающие быстроту восприятия и довольно большую точность до 0° , 1 и лишь для специальных целей, например для проверки депримометров, требуются высокочувствительные термометры с точностью отсчёта до 0° , 02.

Термометры

Жидкостные термометры бывают палочные и со вставной шкалой.

Палочный термометр представляет собой толстенный капилляр с внешним диаметром, почти равным диаметру резервуара. Шкала с делениями нанесена непосредственно на внешней поверхности капилляра.

Термометр со вставной шкалой — капиллярная трубка, присоединенная к резервуару, помещенная в стеклянную оболочку цилиндрической формы; внутри ее, позади капилляра, помещена шкала из молочного стекла.

Психрометрический термометр делается со вставной шкалой. Капиллярная трубка у него заполняется ртутью, на верхнем конце имеется металлический колпачок. Предел измерения от -35 до $+50^\circ$. Цена деления шкалы $0^\circ,2$.

Минимальный термометр. В трубке в спиртовом столбике находится стеклянный штифтик с головками на обоих концах. При понижении температуры столбик укорачивается и поверхностная пленка приходит в соприкосновение с головкой штифтика; последний увлекает ее в сторону уменьшения показаний; когда же столбик удлиняется вследствие повышения температуры, штифтик остается на месте. Конец штифтика, удаленный от резервуара, показывает низшую температуру со времени последней установки термометра.

Наблюдения по минимальному термометру состоят в следующем: резервуар термометра поднимают вверх и ожидают, когда штифтик дойдет до поверхности спирта в капилляре. Затем его оставляют в горизонтальном положении. Головка штифтика, противоположная резервуару, в дальнейших наблюдениях указывает ту минимальную температуру, которую испытывал термометр за определенный отрезок времени.

Максимальный термометр — ртутный, имеет вставную шкалу с делениями через $0^\circ,5$. Для сохранения показания максимальной температуры на термометре капилляр около резервуара сужен при помощи тонкого стеклянного штифта, впаянного в дно.

При повышении температуры столбик ртути удлиняется. Если температура затем начнет понижаться, ртуть в резервуаре будет со-

кращаться. Так как сила трения в месте сужения будет больше, чем сила сцепления, заставляющая столбик ртути спускаться в резервуар, то произойдет разрыв столбика и максимальное показание термометра сохранится.

Чтобы подготовить прибор к наблюдению, его встряхивают 2-3 раза, удалив при этом столбик ртути из капилляра в резервуар, затем устанавливают его горизонтально в месте наблюдения.

Термограф (рис. 5.1), применяемый для записи температуры воздуха, имеет воспринимающую и регистрирующую части. На металлической подставке / укреплен вертикально ось с барабаном 2, внутри которого помещен часовой механизм. В верхней крышке барабана сделаны отверстия для выхода оси барабана, для заводного ключа часового механизма и для регулирования хода последнего. Часовой механизм может иметь суточный, двухсуточный и недельный завод.

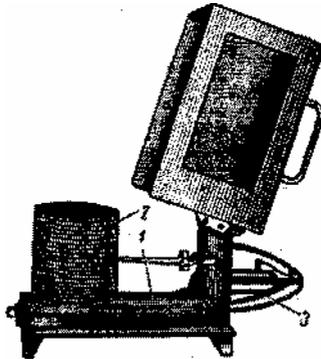


Рис. 5.1 Термограф

На барабане при помощи металлической пластинки закрепляется разграфленная бумага. Запись осуществляется пером, укрепленным на длинном стержне, соединенном с воспринимающей частью прибора.

Воспринимающая часть - приемник 3 - может быть или манометрическая или биметаллическая.

В термографе с приемником манометрического вида основной частью является спиральная трубка, наполненная спиртом или эфиром при низкой температуре. С изменением температуры термобаллона изменяется давление внутри системы, вследствие чего пружина раскручивается или скручивается, причем свободный конец пружины перемещается. Это перемещение при помощи системы рычагов передается записывающему стержню с пером.

У биметаллического термографа приемником служит изогнутая пластинка, состоящая из двух спаянных пластин, имеющих разные коэффициенты температурного расширения. Один конец пластины наглухо прикреплен к станине, а второй при помощи системы рычагов соединен с записывающим аппаратом.

Дистанционный термограф

Дистанционный термограф представляет собой манометрический прибор, состоящий из термопатрона, блокированной капиллярной трубки и манометрической пружины. Системой рычагов работа пружины передается перу, регистрирующему на диаграмме колебания температуры.

Дистанционный жидкостный термограф МТ-25 служит для автоматической регистрации температурных процессов в пределах от - 20 до +150°С на расстоянии до 3 м от места установки прибора.

Приемной частью прибора (рис. 5.2) является система, состоящая из металлического баллона-приемника 1 (термопатрона), соединенного гибким капиллярным трубопроводом 2 с вакуумной коробкой 3. Термопатрон представляет собой стержень длиной 250 мм, диаметром 10 мм. Система заполнена чистым керосином и герметически закрыта.

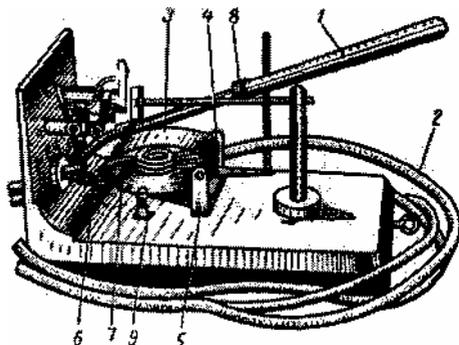


Рис. 5.2. Дистанционный термограф

При изменении температуры баллона-приемника жидкость стремится изменить свой объем, изменяя тем самым внутреннее давление в системе, при этом вакуумная коробка изгибается. Одним концом при помощи колодки 4 коробка установлена в центрах кронштейна 5, дру-

гой ее конец при помощи колодки 4 и системы рычагов передает движение стрелке.

Так как реагирующая на температуру жидкость заполняет собой всю систему, то на показание прибора влияет температура капилляра и вакуумной коробки. Для устранения этого влияния прибор снабжен компенсационной системой, состоящей из такой же вакуумной коробки и такого же капилляра, но без баллона-приемника.

Для создания идентичности температурных условий оба капилляра имеют одинаковую длину, расположены рядом и заключены в общую защитную оболочку. Вакуумные коробки одними концами посредством колодок 4 жестко соединены между собой, а их рычаги 6 и 7 соединены между собой мостиками, середина которых связана с рычажной передачей и стрелкой прибора. Таким образом, обе вакуумные коробки действуют на общую систему рычагов, но в противоположные стороны и, следовательно, действие их на стрелку прибора при изменении их температуры и температуры капилляра взаимно компенсируется. Таким образом, показания прибора будут зависеть лишь от баллона-приемника.

При наблюдениях термоматрон 1 вводят в соответствующую среду до места спая с защитной оболочкой 8. Показания следует снимать по истечении 15 мин.

Необходимо периодически проверять правильность показаний прибора, помещая баллон-приемник в кипящую воду и снимая показания по истечении 15 мин. В случае неправильных показаний устанавливают стрелку при помощи регулировочного винта 9.

Прибор применяется для определения температуры с целью своевременного обнаружения очага пожара от самонагревания угля в пласте, в штабелях и бункерах.

Манометрический дистанционный термометр

Прибор состоит из трех элементов: приемника температуры, капиллярной трубки и измерителя температуры - манометра.

Приемник температуры (термометрический баллон) представляет собой металлический цилиндр, заполненный полностью или частично рабочим веществом.

В газовых и жидкостных термометрах баллон целиком заполняется соответствующим рабочим веществом, в паровых - на две трети объема сосуда жидкостью и на одну треть - парами ее.

Основные части прибора (рис. 5.3): термометрический баллон 1, капиллярная трубка 2, полая манометрическая пружина 3 (один конец ее в месте соединения с трубкой закреплен наглухо, второй — свободный), тяга 4, зубчатый сектор 5, стрелка 6 и шкала прибора 7.

Капиллярная трубка 2 и полая пружина часто заполняются смесью глицерина с водой.

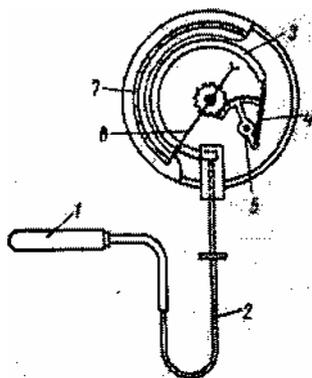


Рис. 5.3. Манометрический дистанционный термометр

При повышении или понижении температуры в приемнике изменяется величина давления; это изменение по капиллярной трубке передается манометрической пружине, которая или выпрямляется или скручивается, вследствие чего свободный конец пружины через передаточную тягу и зубчатый сектор 5 передает движение стрелке 6. По положению стрелки на шкале производят отсчет в градусах.

Пределы измерения жидкостных термометров: когда рабочим веществом является ртуть - от 30 до 500°, метиловый спирт—от 46 до 150°.

5.1.2. Приборы для измерения влажности воздуха

Различают абсолютную и относительную влажность воздуха.

Абсолютной влажностью воздуха называется количество (вес) водяного пара в граммах, содержащегося в 1 м³ воздуха.

Относительной влажностью воздуха называется отношение веса водяных паров во влажном воздухе к весу водяных паров при полном его насыщении при той же температуре, выраженное в процентах.

Для замера влажности воздуха применяются: психрометры парных термометров, пращевые психрометры, психрометры с вентилятором, гигрометры и гигрографы.

Психрометр парных термометров

Прибор состоит из двух одинаковых ртутных термометров, укрепленных на подставке или дощечке. Один из термометров, обычно правый, имеет резервуар, обвязанный батистом, конец которого опущен в стаканчик с водой. С батиста происходит непрерывное испарение воды, понижающее температуру смоченного термометра. По разности показаний сухого и смоченного термометров, пользуясь специальными таблицами, определяют влажность воздуха.

Ввиду того, что показания прибора существенно зависят от скорости воздуха, обдувающего резервуар, при пользовании таблицами следует учитывать это обстоятельство.

Психрометр с вентилятором

Прибором пользуются для определения влажности при условии, что температура воздуха не выше $+35^{\circ}$ и не ниже -10°C . По конструкции психрометры с вентилятором делятся на большую и малую модели.

Прибор (рис. 5.4) состоит из двух термометров 1 и 2, резервуары которых заключены в защитные трубчатые оправы, и аспиратора 24 для всасывания воздуха.

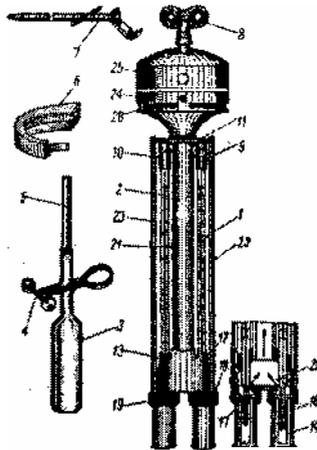


Рис. 5.4. Психрометр с вентилятором

К психрометру прилагаются резиновая груша 3 с зажимом 4 и стеклянной трубкой 5 на конце, щиток 6 для защиты аспиратора от ветра, металлический стержень 7 для подвешивания прибора и ключ 8

для завода пружины. Термометры на верхних концах имеют цилиндрические никелированные колпачки 9 и 10 с выступами для установки в отверстиях пластинки 11; на нижние концы насажены металлические оправки, которые должны плотно входить во втулки 12 и 13.

Резервуары термометров находятся внутри трубок 14 и 15, которые в свою очередь заключены в трубки 16 и 17 большего диаметра. Трубки 16 и 17 муфтами 18 и 19, сделанными из плохого проводника тепла (фибра, эбонит), соединяются с разветвлением 20 никелированной трубки 21, помещенной между термометрами 1 и 2. С боков термометры защищены никелированными желобами 22 и 23, трубка 21 и желоба 22 и 23 скреплены сверху пластинкой //, имеющей два отверстия для вставки термометров и одно с винтовой нарезкой, куда ввинчивается aspirатор.

Aspirатор 24 состоит из вентиляторной шайбы, приводимой в быстрое вращение пружинным механизмом, заводимым ключом 8.

Механизм aspirатора закрыт никелированным колпачком 25. Aspirатором воздух засасывается снизу внутрь трубок 14, 15, 16 и 17, обтекает резервуары термометров и затем выбрасывается aspirатором через прорези 26.

Малая модель психрометра отличается от большой, главным образом, размерами. Термометры имеют цену деления 0,2; 0,5 или 1°.

Процесс измерения влажности психрометром следующий:

- 1) вынимают прибор из футляра и вставляют в него ключ 8;
- 2) за 5 мин до снятия отсчета смачивают батист на термометре, для чего берут наполненную водой резиновую грушу с пипеткой и, разжав одной рукой зажим 4, другой сжимают немного грушу, чтобы вытесненная вода наполнила стеклянную трубку пипетки до черты. Затем, освободив зажим 4, закрепляют уровень воды. После этого пипетку с водой осторожно вводят до отказа во внутреннюю трубку 14 и, продержав в таком положении пипетку достаточное время, чтобы батист напитался водой, разжимают зажим и осторожно выводят пипетку из прибора обратно;

- 3) после смачивания заводят ключом 8 aspirатор 24;

- 4) по истечении 4 мин производится отсчет по сухому и смоченному термометрам.

При замере рекомендуется стоять так, чтобы тепло от наблюдателя не переносилось к прибору струей воздуха.

Абсолютную влажность (упругость водяного пара, находящегося в воздухе) (в мм рт. ст.) определяют по формуле

$$e = E_1 - 0,5(t - t_1) \frac{H}{755}$$

где E_1 — максимально возможная упругость водяного пара при температуре смоченного термометра t_1 ;
 t - температура воздуха, измеренная по сухому термометру;
 t_g — температура смоченного термометра;
 P — барометрическое давление воздуха.

Относительная влажность по наблюдениям психрометра может быть вычислена (в процентах) по табл. 5.1.

При определении относительной влажности, пользуясь табл. 5.1, поступают следующим образом:

1. Вычисляют психрометрическую разницу по показаниям сухого и смоченного термометров. Например, $t_{\text{сух}} = 15^\circ$ и $t_{\text{см}} = 10^\circ$; психрометрическая разность

$$\Delta t = t_{\text{сух}} - t_{\text{см}} = 15 - 10 = 5^\circ.$$

2. Отыскивают в первой графе психрометрическую разницу 5° и соответствующую ей температуру сухого термометра $t_{\text{сух}} = 15^\circ$. Затем на пересечении вертикальной и горизонтальной колонок читают отсчет 54 %.

Волосяной гигрометр

Определение влажности при помощи психрометрического способа дает надежные результаты до весьма небольших отрицательных температур (по парным термометрам до -5° , по психрометру с вентилятором до -10°), тогда как на практике приходится встречаться с более низкими температурами воздуха.

При повышении относительной влажности волос удлиняется — стрелка перемещается вправо; при понижении влажности волос укорачивается — стрелка отходит влево.

Таблица 5.1
Психрометрическая таблица к психрометру с вентилигорм для воздуха, движущегося со скоростью 2,5 м/с и выше

Психрометрическая разница, град	Температура сухого термометра, град																													
	+10	+8	+6	+4	+2	-0	-2	-4	-6	-8	-10	+12	+14	+16	+18	+20	+22	+24	+26	+28	+30	+32	+34	+36	+38	+40	+42	+44		
0	95	96	97	98	98	98	97	97	96	96	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0,5	82	83	85	88	90	91	93	93	94	94	94	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97
1,0	67	70	73	77	80	82	84	85	86	87	88	89	90	91	91	91	91	92	92	93	93	93	93	93	93	94	94	94	94	95
1,5	51	57	62	67	71	73	76	78	79	80	82	84	85	86	86	87	87	88	88	88	88	88	89	89	90	91	91	91	91	92
2,0	38	45	51	57	62	65	68	71	73	75	76	78	80	81	81	82	83	84	84	85	86	86	87	87	88	88	88	89	90	90
2,5	28	35	41	47	53	56	60	64	66	69	71	73	75	77	78	79	80	80	81	82	83	84	84	85	85	85	86	87	87	88
3,0	10	22	32	38	44	48	53	58	60	63	65	68	70	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
3,5		12	23	29	36	41	46	50	53	57	60	63	65	67	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	78	79	79	80	81	82
4,0		15	22	29	33	39	43	47	51	54	57	60	62	64	66	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
4,5		15	22	26	32	37	41	45	49	52	55	57	59	62	63	65	66	67	68	70	71	72	74	75	76	77	78	79	80	81
5,0		17	20	25	31	36	40	44	48	51	54	56	58	60	62	64	65	66	67	68	70	72	74	75	76	77	78	79	80	81
5,5		18	24	30	35	39	43	47	51	54	56	58	60	62	64	65	66	67	68	69	70	71	72	74	75	76	77	78	79	80
6,0		12	18	25	30	34	38	42	46	48	51	54	56	58	59	61	62	63	64	65	66	67	69	70	71	72	73	74	75	76
6,5		7	12	19	25	29	33	38	41	44	47	50	52	54	55	57	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
7,0			7	14	20	24	29	34	38	41	44	46	48	51	53	55	57	58	59	60	61	62	64	65	66	67	68	69	70	71
7,5				9	15	19	24	30	33	36	39	43	45	48	50	52	54	55	56	58	59	60	61	62	64	65	66	67	68	69
8,0				4	10	15	20	25	30	34	36	39	43	45	48	50	52	54	55	56	58	59	60	61	62	64	65	66	67	68
8,5					9	15	22	26	30	32	36	39	42	44	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62	63
9,0					11	18	23	27	30	34	37	40	42	44	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62	63
9,5					13	19	23	26	30	32	36	39	41	43	45	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62
10,0					10	16	20	24	28	31	34	37	40	42	44	45	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60	61
10,5					12	16	20	25	28	31	34	37	40	42	44	45	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60	61
11,0					8	13	17	22	26	29	32	35	37	40	42	44	45	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60
11,5					9	14	19	22	26	29	32	35	37	40	42	44	45	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	60

На металлической раме 7 (рис. 5.5) длиной около 27 см укреплен обезжиренный волос 1, верхний конец которого закреплен в металлической пластинке 8. Волос можно укорачивать или удлинять при помощи винта 2. Другой конец укреплен в небольшом легко вращающемся блоке 4, снабженном осью 3. При помощи гирьки - грузика 9, укрепленного на том же блоке, волос всегда находится в натянутом положении. К оси блока прикреплена стрелка 5, которая перемещается вправо и влево при изменении длины волоса 1. Шкала 6, имеющая неравномерные (постепенно уменьшающиеся) деления, разделена на 100 делений – от 0 до 100. Отсчеты по шкале производятся с точностью до целого деления. Вверху имеются отверстия в пластинке 8 для подвешивания прибора.

При работе с гигрометром в зимнее время следует в периоды оттепели обязательно сличать его показания с показаниями психрометра парных термометров или психрометра с вентилятором.

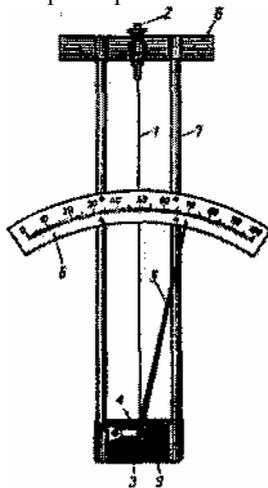


Рис. 5.5. Волосяной гигрометр

Гигрограф

Приемной частью прибора (рис. 5.6) служит пучок обезжиренных волос, прикрепленный обоими концами к кронштейну в точках 7 и оттянутый за середину при помощи крючка 2 к вертикальному плечу коленчатого рычага 3. Цилиндрический противовес 4, имеющийся на противоположном плече рычага, несколько натягивает пучок волос. При удлинении пучка правое плечо рычага, опускаясь, скользит или

катится по другому изогнутому плечу, скрепленному с пишущей стрелкой 5, и заставляет его перемещаться, причем перо вычерчивает на ленте, закрепленной на вращающемся от часового механизма барабана, некоторую линию.

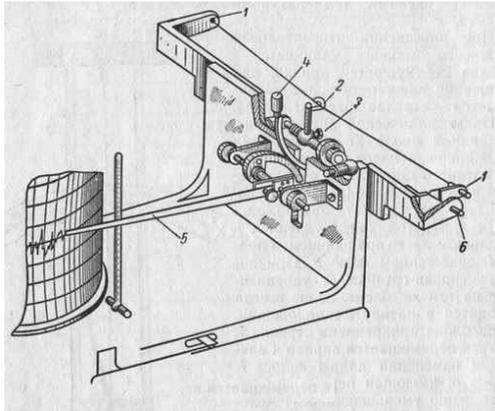


Рис. 5.6. Гигрограф

При возрастании относительной влажности пучок волос удлиняется и перо идет вверх, при уменьшении — опускается.

В тех случаях, когда стрелка гигрографа выходит за пределы шкалы, следует переставить перо при помощи квадратного ключа, вращая винт 6. При вращении этого винта меняется расстояние между точками закрепления пучка волос.

Психрометры с электрическими термометрами могут применяться при автоматизации холодильных установок, предназначенных для кондиционирования рудничного воздуха в глубоких шахтах.

Психрометр аспирационный с термоэлектрическими термометрами

Термоэлектрические термометры представляют собой батареи термопар, изготовленные из нескольких десятков спаев манганина и константана. Эти батареи разделены на две части, одна из них помещена в одной трубке психрометра, а вторая — в другой. Спаи термопар наклеены винифлексовым клеем на пластмассовые стержни с таким расчетом, чтобы термоспаи не касались друг друга. Эти стержни укреплены в трубках корпуса психрометра клеммами. К клеммам при-

паяны концы термобатарей (припаиваются манганиновые концы батарей) и присоединены провода, идущие к гальванометру.

При измерении влажности на одну группу термопар надевают чулок из батиста, смоченный дистиллированной водой. Затем включают гальванометр и снимают отсчет. Гальванометр показывает величину, пропорциональную разности температур. Для вычисления влажности можно пользоваться обычными психрометрическими таблицами, для этого необходимо измерить каким-либо дистанционным термометром температуру воздуха.

Психрометр с термометрами сопротивления

В качестве термометров служат полупроводниковые термометры сопротивления (термистер).

На рис. 5.7 приведена электрическая схема психрометра, в которой влажный r_1 и сухой r_2 термометры сопротивления включены в систему моста. Влажный термометр обернут смоченной батистовой тканью. Между постоянными сопротивлениями r_3 и r_4 включен гальванометр Г.

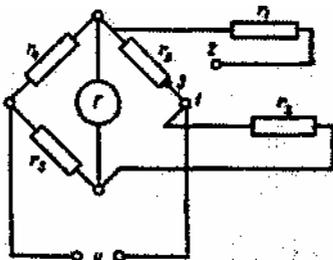


Рис. 5.7. Электрическая схема психрометра с термометрами сопротивления

Чтобы измерить температуру воздуха, замыкают переключателем контакты 1 и 3 (через постоянное сопротивление r_5) и по гальванометру снимают отсчет; при замыкании контактов 7 и 2 определяют психрометрическую разность.

5.1.3. Приборы для измерения атмосферного давления

В рудничной вентиляции для измерения атмосферного давления (абсолютного и относительного) используются барометры.

Барометры по принципу действия делятся на три группы: ртутные, барометры-анероиды и пружинные барометры.

В шахтах барометры используются для замеров давления в отдельных точках подземных выработок при оперативном управлении вентиляцией, выполнении научно-исследовательских работ, а также во время производства депрессионных съемок. В последнем случае применяют высокоточные барометры-анероиды, которые получили специальное название микробарометров; их иногда называют микробарони-велирами, так как они служат и для производства нивелировок местности при ведении геофизических и геологических работ на земной поверхности.

Единицы измерения. Различают абсолютное давление столба воздуха и разность давлений. Единицами измерения абсолютного давления являются:

техническая атмосфера $1 \text{ ат} = 9.80665 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$;

$1 \text{ ат} = 10\,000 \text{ мм вод. ст.}$ при 4°C ;

$1 \text{ ат} = 735,56 \text{ ммрт. ст.}$ при 0°C ;

$1 \text{ ат} = 0.980665 \text{ бар}$;

$1 \text{ ат} = 980,665 \text{ миллибар}$;

$1 \text{ ммрт. ст.} = 133.332 \text{ н/м}^2$;

$1 \text{ мм вод. ст.} = 9.80665 \text{ н/м}^2$;

$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ н/м}^2$

Беспружинный барометр-анероид БАММ

Принцип работы прибора основан на изменении длины соединенных в один блок нескольких анероидных коробок при повышении или понижении величины атмосферного давления.

Устройство прибора следующее. Между двумя пластинами 1 (рис. 5.8), соединенными металлическими столбиками, находится приемный и передающий механизм прибора.

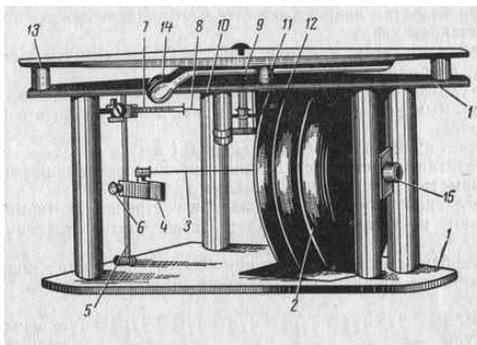


Рис. 5.7 Беспружинный барометр-анероид БАММ

Приемником давления служат три последовательно соединенные anerоидные коробки 2. Одна плоскость блока укреплена неподвижно, а ко второй присоединена тяга 3, которая приводит в действие шарнирно связанный с ней рычаг регулятора 4. Этот рычаг наглухо соединен с осью 5. Винт 6 предназначен для регулирования чувствительности прибора, что достигается изменением длины рычага при вращении винта.

Вверху на оси закреплен рычаг 7, соединенный с цепочкой 8. Второй конец цепочки прикреплен к ролику 9, напрессованному на ось 10 стрелки И.

Для ликвидации зазоров во всех подвижных деталях передаточного механизма барометра служит спиральная пружина (волосок) 12. К верхней пластине прикреплен циферблат 13.

Между пластиной и циферблатом расположен ртутный термометр 14. Для установки стрелки прибора на деление шкалы, соответствующее истинному давлению, полученному, например по ртутному барометру, служит винт 15.

При повышении или понижении атмосферного давления anerоидные коробки 2 сжимаются или расширяются, и передающая система поворачивает стрелку 11 над циферблатом 13. Следует отметить, что при понижении давления вследствие ослабления натяжной цепочки 8 волосок 12, стремясь устранить появившийся люфт, поворачивает ось со стрелкой 11.

Шкала имеет пределы измерения 600 - 800 мм рт. ст., цена деления 0,5 мм рт. ст.

Измерение давления по барометру-анероиду производят в следующем порядке:

1) при отсчетах anerоид обязательно должен лежать горизонтально, стеклом кверху;

2) перед отсчетом нужно слегка постучать согнутым пальцем по стеклу anerоида.

3) при отсчете показания стрелки следует смотреть вдоль стрелки под прямым углом к циферблату; свет должен падать в том же направлении;

4) отсчет производят с точностью до 0.1 мм;

5) Отсчитав и записав показание стрелки, отсчитывают показание термометра при anerоиде в целых градусах;

6) согласно полученным показаниям стрелки и термометра, отыскивают в поверочном свидетельстве соответствующую поправку.

В поверочном свидетельстве приводятся следующие поправки:

1) поправка шкалы, учитывающая инструментальные неточности;

- 2) температурная поправка, учитывающая влияние изменения температуры передаточной системы барометра на перемещение стрелки;
 3) добавочная поправка, учитывающая явление упругого после действия коробки и пружины и другие неточности.

Эти поправки даются в следующем виде: 1) поправка шкалы (табл. 5.2);

Таблица 5.2

Анероид М 367215

При давлении, мм рт. ст.	Поправка, мм
770	+0,2
760	0,0
750	-0,3
740	-0,6

- 2) температурная поправка равна $-0,04 t^{\circ}$;
 3) добавочная поправка равна $+3,7$ мм в декабре 1958 г. Температурная поправка $-0,04$ мм, указанная в свидетельстве, означает, насколько следует изменить показание анероида на каждый градус отсчитанной температуры.

Положим, что в данный срок наблюдений были отсчитаны следующие показания:

- 1) термометра при анероиде 12° ;
 2) показания стрелки на шкале анероида $747,3$ мм.

Пользуясь вышеприведенным свидетельством, отсчет по анероиду исправляется так:

Поправка шкалы для $747,3 \dots$	$-0,4$ мм
Температурная поправка ...	$-0,4 \times 12 \approx -0,5$ мм
Добавочная поправка ...	$+3,7$ мм

Общая сумма поправок $+2,8$ мм

Тогда исправленная величина давления будет

$$747,3 + 2,8 = 750,1 \text{ мм.}$$

Недостатками анероидов являются: 1) непостоянство инструментальных поправок (поправка шкалы и добавочная поправка) с течением времени и 2) присущие им явления так называемого ползания, заключающегося в том, что показания их запаздывают при быстром изменении давления.

Барограф

Барограф является самопишущим барометром-анероидом, который автоматически ведет непрерывную запись изменения давления атмосферы. Необходимость такого прибора для шахтных условий диктуется зависимостью газовыделения в шахте (экстренные выделения) от колебаний и атмосферного давления. Непрерывная регистрация изменения давления дает возможность своевременно принять необходимые меры для предупреждения увеличения газовыделения.

Изменение давления фиксируется пером на ленте, намотанной на барабан. Лента барографа представляет собой полоску бумаги, разграфленную горизонтальными параллельными прямыми и вертикальными дугами. Горизонтальные деления выражают давление в миллиметрах ртутного столба, одно деление соответствует 1 мм *рт, ст.* Вертикальные дуги соответствуют времени.

По величине барографы разделяются на большую, среднюю и малую модели, отличающиеся диаметром барабана и амплитудой колебания давления. Промышленность выпускает барографы с амплитудой колебания давлений от 720 до 790 мм. Точность показаний ± 1 мм.

Барограф состоит из воспринимающей и пишущей частей (рис.5.9).

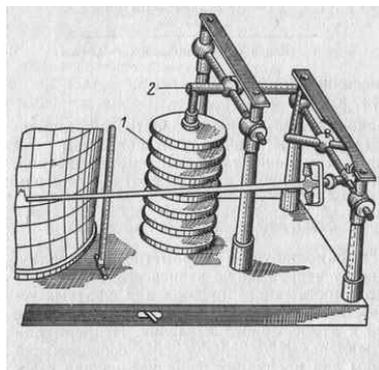


Рис. 5.9. Барограф

Воспринимающая часть состоит из группы небольших, последовательно свинченных анероидных коробок 1. Из коробок выкачан воздух, а внутри каждой помещена пружина в виде рессоры для того, чтобы они не сплющивались под влиянием внешнего давления. Чтобы повысить чувствительность прибора, соединяют 7-10 коробок. Нижнее основание последней коробки закреплено на корпусе барографа, к

верхней коробке прикреплена тяга, соединенная с системой рычагов, передающих изменение давления к перу. Когда атмосферное давление увеличивается, коробки сжимаются, общая высота их уменьшается, верхняя коробка опускается и тянет за собой тягу 2, которая приводит в действие систему рычагов, и перо поднимается. Вертикальное перемещение пера и 80-100 раз больше, чем перемещение тяги. При понижении давления коробки, ввиду того что внутри их помещены рессорные пружины, расширяются, и перо опускается книзу.

Пишущая часть состоит из барабана, вращающегося от часового механизма, и пера для записи.

Прибор не рассчитан на полную компенсацию температуры, поэтому рекомендуется устанавливать его в помещении, где температура остается примерно постоянной.

Так же, как и в анероидах, в этом приборе имеется регулировочный винт, служащий для установки стрелки барографа по показанию ртутного барометра. Регулировочный винт проходит через отверстие в основании прибора; вращая его посредством специального ключа, устанавливают перо в нужное положение на барабане.

Каждый барограф должен быть проверен и снабжен соответствующим поверочным свидетельством.

Наибольшая допустимая ошибка в ходе часов барографа не должна превышать 3 мин в сутки, т. е. наибольшая поправка в час не должна быть более $\pm 1/8$ мин.

При работе с барографом необходимо произвести следующие операции:

1) открыть ящик барографа и, действуя рычагом (что рекомендуется делать до открытия ящика), отодвинуть от барабана перо при помощи вертикального стержня;

2) снять барабан и пружину, прижимающую лист разграфленной бумаги, затем снять этот лист;

3) наложить на цилиндр новый лист бумаги так, чтобы левый его край находил на правый край и приходился как раз в том месте, где вставляется пружинная пластинка;

4) поставить барабан на место, надеть перо на рычажок, причем надо следить, чтобы конец рычага был строго против кончика пера, добавить чернил на перо, не переполняя его.

5) завести часовой механизм - вставить ключ в отверстие, закрываемое металлической крышечкой и, вращая ключ влево, придерживая при этом свободной рукой барабан, повернуть рукой барабан, чтобы установить его соответственно данному времени;

б) передвинуть вертикальный стержень так, чтобы перо прикоснулось к цилиндру, и, слегка качнув рычаг, убедиться, что перо смочено и пишет.

5.1.4. Замер скорости движения воздушного потока в карьере

При замере берут начальный отсчет, затем одновременно с включением анемометра засекают время и по истечении 1 или 2 мин, лучше 100 с (в зависимости от сечения), анемометр выключают и берут отсчет. После каждого замера вычисляется разность между конечным и начальным отсчетами. Замер повторяется 3 раза, затем берется среднее значение, умножается на поправочный коэффициент способа замера и получается истинная скорость.

Для указанной цели применяются крыльчатые или чашечные анемометры.

Наша промышленность выпускает весьма чувствительные крыльчатые анемометры со струнной осью марки АСО-3, предназначенные для измерения скоростей движения воздуха и пределах от 0,3 до 5 м/с.

Крыльчатый анемометр (рис. 5.10) состоит из крыльчатки 1, размещенной в металлической обойме 5, счетного механизма с циферблатом 7, 8 и 9 и ручки 12. Крыльчатка соединена с трубчатой осью 2, которая вращается на натянутой стальной струне и имеет подшипниковые втулки. Один конец струны закреплен неподвижно, а второй зажат в натяжном устройстве 3, расположенном в распорном стержне 4.

При вращении крыльчатки трубчатая ось посредством червячной передачи 6 передает вращение зубчатому редуктору счетного механизма. Счетчик имеет стрелки: большая стрелка 7 отсчитывает единицы и десятки (по большой шкале) и две малые отсчитывают 8 — сотни и 9 — тысячи единиц. Арретир 10 служит для включения и выключения

счетчика. В корпусе прибора по обе стороны арретира имеется два ушка 11, через которые пропускается шнур, предназначенной для включения и выключения счетчика анемометра при замере с шестом.

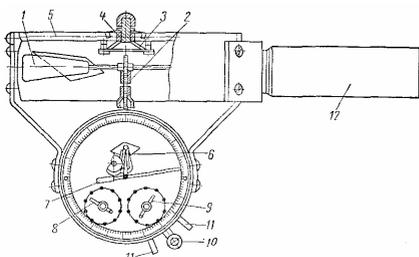


Рис. 5.10. Крыльчатый анемометр

Чашечный анемометр отличается от крыльчатого тем, что воспринимающей частью прибора являются четыре полусферические чашки, сидящие на концах двух взаимно перпендикулярных стерженьков, связанных с общей осью, закрепленной в камневых опорах. Крестовина с чашками защищена от возможных механических повреждений каркасом, состоящим из двух перекрывающихся рамок.

На конце оси анемометра имеется червячная передача, связанная с редуктором счетного механизма, устроенного аналогично крыльчатому анемометру.

Чашечный анемометр рекомендуется применять для замера скоростей от 1 до 20 м/сек. Порядок производства работ такой же, как и с крыльчатым.

Если m — число делений, показываемое счетчиком за t сек, то число делений в 1 сек

$$n = m/t.$$

Для пересчета числа делений n в фактическую скорость к каждому анемометру прилагается поверочное удостоверение, на котором графически дается зависимость $v = f(n)$ или поправочные множители.

По оси ординат нанесено число делений, по оси абсцисс — скорости движения воздуха (рис. 5.11).

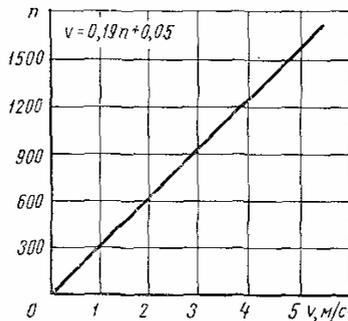


Рис. 5.11. Паспорт анемометра

5.2. Приборы и методы контроля запылённости воздуха в карьере

5.2.1. Гравиметрические приборы

Приборы для гравиметрического или весового способа определения содержания пыли в воздухе состоят из двух элементов: фильтра и устройства для забора воздуха. Ниже дается описание этих элементов.

Фильтры для отбора пробы пыли

В качестве материалов для фильтров применяются гигроскопическая и стеклянная вата и обеззоленные бумажные фильтры. В данном случае под фильтром подразумевают пробные трубки — фильтр, фильтровальный патрон или аллонж.

Аллонж представляет собой фасонную стеклянную трубку (рис. 5.12) общей длиной 100 мм и диаметром в узкой части 5—8 мм и в широкой 15—20 мм. Трубка-фильтр заполняется ватой. Технические данные: вес ваты 0,5 г, аэродинамическое сопротивление 100 мм вод. ст. при протекании 20 л воздуха в минуту.

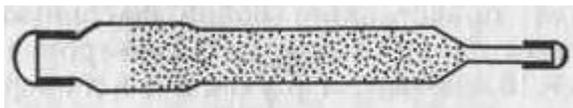


Рис. 5.12. Аллонж

Вес аллонжей устанавливается после просушки их в шкафах с температурой 105°C с точностью до 0,2 - 0,4 мг. Через аллонжи в шахте пропускают исследуемый запыленный воздух. Вес пыли, осевшей в аллонже, устанавливают путем повторного взвешивания предварительно просушенного при той же температуре аллонжа.

При анализе негорючей и не разлагающейся при температуре 800 - 900° С пыли фильтровальные патроны заряжают бумажными фильтрами, изготовленными из обеззоленной бумаги или из материала ФПП.

Как видно из рис. 5.13, в металлический аллонж / вставляется воронка 2, изготовленная из бумаги, и укрепляется при помощи кольца 3.

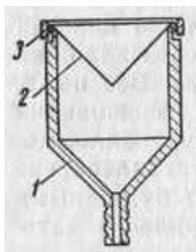


Рис. 5.13. Обеззоленный бумажный фильтр

После набора проб фильтр сжигается в муфельной печи. Остаток взвешивается. Разность между конечным и начальным весом дает вес пыли.

Фильтровальный патрон НИИОГаза, изображенный на рис. 5.14, состоит из цилиндра 1, конуса 2 и штуцера 3. В цилиндр помещен конус 4 из фильтровальной бумаги, закрытый сверху резиновой пробкой 5 с трубкой 6. Снаружи патрон обвит проволокой обогревателя 7, соединенной к клеммам 8.

При комплексном исследовании пыли: дисперсно-метрическом, минералогическом и химическом применяют кристаллические фильтры, например, из летучего нафталина.

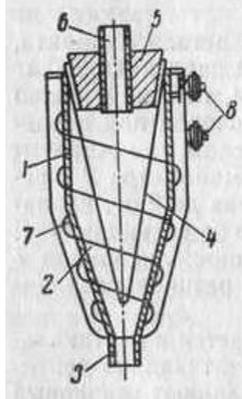


Рис. 5.14. Фильтровальный патрон

Для отбора проб воздуха в горно-добывающей промышленности применяют аспиратор АЭР-4, разработанный ЦНИЛ ВГСЧ Донбасса (рис. 5.15).

В металлическом футляре смонтированы все детали аппарата, состоящего из: баллона 1 со сжатым воздухом под давлением 200 атм емкостью 2 л (если баллон заполнен кислородом, то с ним нужно работать весьма осторожно, имея в виду, что кислород под давлением больше 5 кг/см² при соприкосновении с маслом или жировыми веществами образует взрывчатое вещество); манометра 2 с редуктором 3, снижающего давление сжатого воздуха до 2 атм; клапана 4, которым одновременно включают эжектор и секундомер 5; эжектора 6 для засасывания воздуха через аллонж; литромера 7 с тарелкой Бурдона 8 и всасывающей трубкой 9; резинового шланга 10, соединяющего аллонж 11 с аппаратом.

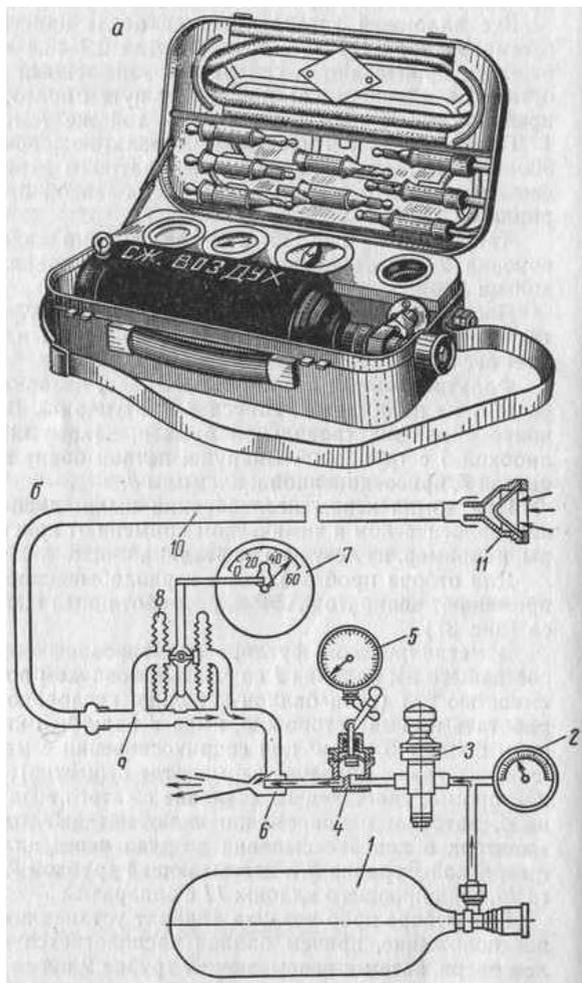


Рис. 5.15. Аспиратор АЭР-4: а - общий вид; б - принципиальная схема

При отборе проб воздуха аппарат устанавливается в вертикальное положение, причем баллон располагается вертикально вентилем вверх, затем к всасывающей трубке 9 присоединяют резиновый шланг и аллонж и закрепляют его в месте забора пробы. Включают сжатый воздух,

для чего открывают клапан редуктора и поворачивают вентиль баллона против часовой стрелки до отказа, затем ставят рукоятку эжектора и секундомер в положение «Включено». Во время отбора пробы следят за тем, чтобы скорость потока воздуха составляла 10—25 л/мин.

Счетчик пыли СН-2

Счетчик пыли СН-2 (рис. 5.16) состоит из кассеты 1, цилиндра 2 и механизма для засасывания воздуха.

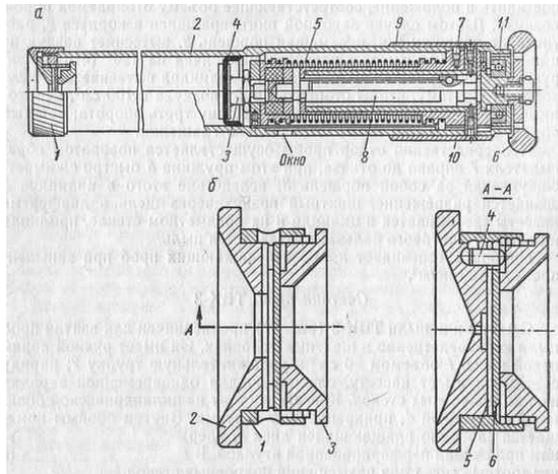


Рис. 5.16. Счетчик СН-2

В цилиндре счетчика монтируются все части прибора; одновременно он служит камерой для засасывания воздуха, для отсчета объемов засасываемого в прибор воздуха в цилиндре имеется окно.

Механизм засасывания воздуха состоит из: поршня 3, плотно прижатого к стенкам цилиндра; резинового амортизатора 4; пружины 5, заводного винта 6; сбрасывателя 7; штока 8; корпуса 9; втулки сбрасывателя 10; радиального упорного подшипника 11. Отсчет засасываемого механизмом воздуха производится через окно на шкале линейки.

Кассета (рис. 5.16, б) служит для улавливания пыли исследуемого воздуха и состоит из следующих частей: корпуса 1; диафрагмы 2 со щелью размером 0,1 × 10 мм, предназначенной для прохода засасываемого в цилиндр прибора запыленного воздуха; гайки 3, являющейся основанием для предметного стекла; шпонки 4, фиксирующей диафрагму в определенном положении; предметного стекла 5, на котором оседает пыль исследуемого воздуха, и шайбы 6. Подготовка кассеты к отбору проб сводится к укладке предметного стекла, смазанного

2 %-ным раствором пихтового бальзама в ксилоле, и производится в лаборатории.

Для отбора проб прибор каждый раз после установки кассеты с предметным стеклом ставится в исходное положение, при котором в цилиндр засасывается требуемый объем воздуха. Для этого необходимо сбрасыватель 7 (рис. 5.16, а) повернуть влево до отказа, а поршень 3 вращением маховичка 6 против часовой стрелки поставить в положение, соответствующее объему отбираемой пробы воздуха. В этом случае заводной винт, вращаясь в корпусе 9, растягивает пружину 5 и, перемещая поршень 3, вытесняет воздух из цилиндра 2. При каждом повороте маховичка на 120° (что фиксируется щелчком защелки) поршнем из цилиндра вытесняется 10 см^3 воздуха. Поэтому, чтобы отобрать пробу воздуха в 100 см^3 , необходимо 10 раз повернуть маховичок 6 на одну треть оборота; каждый оборот при этом сопровождается щелчком защелки.

Непосредственно отбор пробы осуществляется поворотом сбрасывателя 7 вправо до отказа, при этом пружина 5 быстро сжимается, увлекая за собой поршень 3; вследствие этого в цилиндре 2 создается разрежение, шахтный воздух через щель в диафрагме кассеты засасывается в цилиндр и на предметном стекле, прилипая к раствору пихтового бальзама, отлагается пыль.

Прибор обеспечивает набор неискажающих проб при запыленности до 400 мг/м^3 .

Счетчик пыли ТВК-3

Счетчик пыли ТВК-3 (рис. 5.17) предназначен для взятия проб пыли непосредственно в шахтных условиях. Он имеет ручной поршневой насос 1 объемом 50 см^3 и увлажнительную трубку 2; наряду с этим он имеет кассету, служащую для одновременной зарядки восьми пкровных стекол. Кассета состоит из цилиндрической обоймы 3 с крышкой 4, прикрепленной винтами. Внутри обоймы помещается свободно вращающийся диск 5, удерживаемый в центральном положении перфорированной втулкой. В диске 5 имеется восемь квадратных гнезд для размещения пкровных стекол.

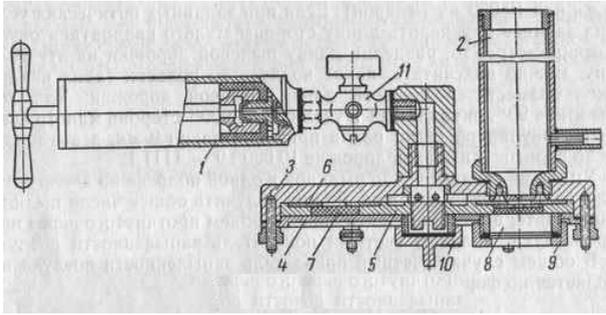


Рис. 5.17. Счетчик ТВК-3

Покровные стекла удерживаются в гнездах с одной стороны посредством двух концентрических колец *б* из листовой латуни толщиной 1 мм, а с другой — квадратными резиновыми пробками 7 толщиной 4 мм, плотно входящими в гнезда. Устанавливают и извлекают покровные стекла через окно 8, герметически закрываемое пробкой 9. Перемещают диск в новое положение при помощи крышки 10 с выступом с тыльной стороны. На каждое покровное стекло можно взять три пробы, а всего 24 пробы без перезарядки. Принцип осаждения пыли тот же, что и в струйном счетчике.

Переключение с холостых качаний на рабочее осуществляется посредством трехходового крана *П*. Воздух засасывается в камеру через увлажнительную трубку и головку со щелью шириной 0,1 мм. Воздушная струя по выходе из щели ударяется о поверхность покровного стекла и затем по каналу и штуцеру уходит в цилиндр насоса.

Исследование пылевых препаратов производят при помощи специального микропроекторного аппарата НИГРИЗолото (МПСАН-2) или микроскопа (например, биологического МБИ-1).

Подсчет пылинок микроскопом целесообразно производить с масляной иммерсией при объективе 90^x и окуляре 10^x с использованием сетчатого окуляра-микрометра. Последний представляет собой круглое стекло, на которое нанесена сетка из 100 квадратиков с длиной стороны 1 или 0,5 мм. При работе окуляр-микрометр помещают внутри окуляра микроскопа на диафрагме.

Пылевой препарат под микроскопом с сетчатым окуляром-микрометром при малом увеличении показан на рис. 5.18, а, при большом увеличении — на рис. 5.18, б.

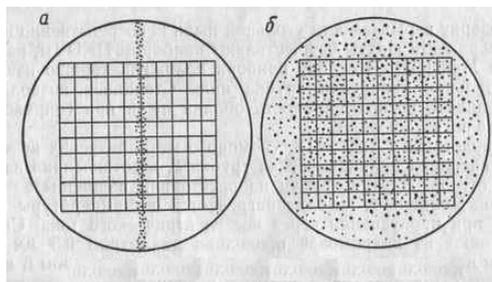


Рис. 5.18. Вид пылевого препарата под микроскопом

Для того чтобы определить число пылинок во всем препарате, сначала устанавливают, сколько содержится пылинок в среднем в одной поперечной полоске квадратиков. При этом подсчитывают 3-5 поперечников и общее число пылинок в них делят на 3 или 5.

Длина пылевой дорожки на покровном стекле определяется размерами щели в диафрагме кассеты; для счетчика СН-2 она равна 10 мм или 10 000 мк (микрон). Если при заданных оптических условиях заранее определить длину стороны малого квадратика окуляра-микрометра, то, разделив длину пылевой дорожки на эту величину, можно подсчитать, какое количество полосок таких квадратиков разместится на всей длине пылевой дорожки. Так, при объективе 90^{\times} , окуляре 10^{\times} и увеличении 900^{\times} сторона малого квадратика окулярной сетки равна приблизительно 9 мк, а возможное число полосок в пылевой дорожке $10000 : 9 = 1111,1$.

Умножив среднее число пылинок в одной полоске на число таких полосок к пылевой дорожке, можно получить общее число пылинок в препарате, а разделив последнее на объем протянутого через прибор воздуха, получим счетный показатель запыленности воздуха.

В общем случае счетный показатель запыленности воздуха вычисляется по формуле

$$П_c = M_{cp} (N_n / Q), \text{ частиц в см}^3,$$

где M_{cp} - среднее число пылинок в одной полоске квадратиков по ширине пылевой полоски;

N_n - возможное число полосок в пылевой дорожке;

Q - количество воздуха, протянутого через счетчик, см^3 .

5.3. Камера непрерывного экологического мониторинга для анализатора аэрозолей MicroDust pro

5.3.1. Общие сведения

С ростом внимания к проблеме загрязнения окружающей среды, вызываемым мелкодисперсной пылью и принятием международного законодательства о чистом воздухе (Air Quality), заметно возросла потребность в приборах, позволяющих производить мониторинг в реальном времени фракций PM_{10} и $PM_{2.5}$. Получение информации в реальном времени об уровне загрязнения также крайне важно в промышленном производстве, при мониторинге общего число взвешенных частиц (TSP) и для оценки вредного воздействия на здоровье людей при определении концентрации вдыхаемой пыли.

Для решения этих задач CASELLA CEL предлагает камеру непрерывного мониторинга. Комплект данного оборудования позволяет зафиксировать MicroDust pro для проведения непрерывного анализа на протяжении длительного времени как в условиях помещения, так и на открытом воздухе.

При работе вне помещения данная система не предполагает ее использования в условиях повышенной влажности, образования конденсата или атмосферных осадков. Для этих целей рекомендуется применять систему АРМ.

В едином корпусе с классом защиты IP65 объединены стандартный MicroDust pro и насос, обеспечивающий точное поддержание определенной скорости потока воздуха. Насос также служит для подачи чистого продувочного воздуха для очистки оптических элементов в целях повышения воспроизводимости показаний и уменьшения дрейфа, что особенно важно при длительной работе.

Камера может использоваться пользователями, которые уже имеют анализатор MicroDust pro, так и теми, кто ищет готовое законченное решение. Для последних помимо приобретения камеры непрерывного мониторинга также необходимо заказать следующие компоненты:

- 1) MicroDust pro,
- 2) PUF - фильтры из полиуретанов пены (для отбора фракций);
- 3) Подходящий расходомер и пробоотборные фильтры.

Ключевым компонентом к данным аксессуарам является пробоотборный зонд, использующий фракционирующие (селективно пропускающие частицы меньше определенного диаметра) PUF-фильтры. Данные фильтры разработаны для использования в конечном всасывающем пробоотборнике (CIS), конструкция которого определена в законодательном акте о здоровье и безопасности (США, МОЙ814/3). Основной харак-

теристикой фильтра из полиуретановой пены является максимальный диаметр частиц, которые он может пропустить: PM_{10} $PM_{2.5}$ или респираторный (4 μm). Частицы большего диаметра удерживаются и накапливаются на матрице фильтра, в то время как все частицы меньшего указанного размера проходят через PUF - фильтр и попадают в измерительную камеру, где в реальном времени фиксируется их концентрация. После прохождения через датчик MicroDust pro взвешенные частицы осаждаются на 37 мм фильтре для последующего гравиметрического или химического анализа.

Помните, что хотя данный комплект оборудования и разработан для непрерывного мониторинга взвешенных частиц в различных условиях, он имеет некоторые ограничения в использовании. В частности, прибор не предназначен для продолжительной работы вне помещения, например, в течение нескольких дней или недель.

Поскольку в приборе используется принцип светорассеяния, любая влага, которая конденсируется с образованием капелек росы или тумана из-за повышенной влажности или резкой смены температуры будет оказывать мешающее влияние на результаты измерений, иногда значительно их завышая. Кроме того, конденсируясь на оптических элементах влага может вообще изменить результаты непредсказуемым образом.

Именно из-за вышеперечисленных ограничений мы не рекомендуем использовать MicroDust pro на протяжении целых суток. Для любых приложений, требующих круглосуточного мониторинга, используемое оборудование должно иметь встроенный нагреватель, удаляющий излишки влаги из анализируемого образца и нивелирующий таким образом вызываемые ею ошибки. Примером подобного рода приборов является анализатор атмосферных аэрозолей APM950 производства Casella.

5.3.2. Питание

Для питания прибора и насоса используется 12В свинцово-кислотный аккумулятор в герметичном корпусе, обеспечивающий автономную работу системы на протяжении более 24 часов. Насос подключается к аккумулятору напрямую. Поскольку MicroDust pro снабжен собственными аккумуляторами, встроенный блок управления питанием обеспечивает дополнительное питание от основного 12В аккумулятора для увеличения времени работы прибора.

Внимание!

Не переключайте MicroDust pro в режим зарядки, когда в нем установлены обычные элементы питания (не аккумуляторы).

Не оставляйте включенным блок управления питанием системы. Это может привести к разрядке 12В аккумулятора и выводу из строя аккумуляторов MicroDust pro.

Не используйте других зарядных устройств, за исключением входящего в комплект поставки. Данное зарядное устройство предназначено для работы только в помещениях.

Аккумуляторная батарея является необслуживаемой. Не вскрывайте корпус и не пытайтесь ее самостоятельно отремонтировать при выходе из строя.

Не оставляйте надолго разряженной батарею. И прибор и батарея могут выйти из строя, если их долго не подзаряжать. Перезарядите аккумулятор сразу после разрядки так скоро, насколько это возможно.

Не подключайте напрямую зарядное устройство камеры непрерывного мониторинга к каким, либо приборам MicroDust. Это может привести к их повреждению.

Утилизация: батареи и аккумуляторы, содержащие кадмий (Cd) и свинец (Pb) не должны утилизироваться как бытовые отходы. Не разбирайте их корпус, не сжигайте, не закапывайте! Используйте специальные контейнеры.

5.3.3. Общее описание

Внутренняя конфигурация камеры показана на рис. 5.19. Система включает насос для прокачки образца воздуха через пробоотборный зонд на заданной пользователем скорости. PUF-фильтры рассчитаны для работы со скоростью 3.5 л/мин. Конструкция зонда препятствует попаданию в прибор крупных частиц и посторонних объектов. Защитный колпак надежно закрывает входной порт на крышке кейса камеры, когда пробоотборный зонд снят для транспортировки.

Фракционирование образца по размеру частиц происходит при его прохождении через PUF-фильтр, который выбран в соответствии с задачами пробоотбора: PM₁₀, PM_{2.5} или респираторный (4 мкм). PUF-фильтр крепится к входному отверстию монтажного блока датчика и доступен, если аккуратно извлечь датчик и блок в сборе, потянув всю конструкцию на себя из зажимов камеры. Не перекручивайте датчик и не вынимайте его полностью из камеры.

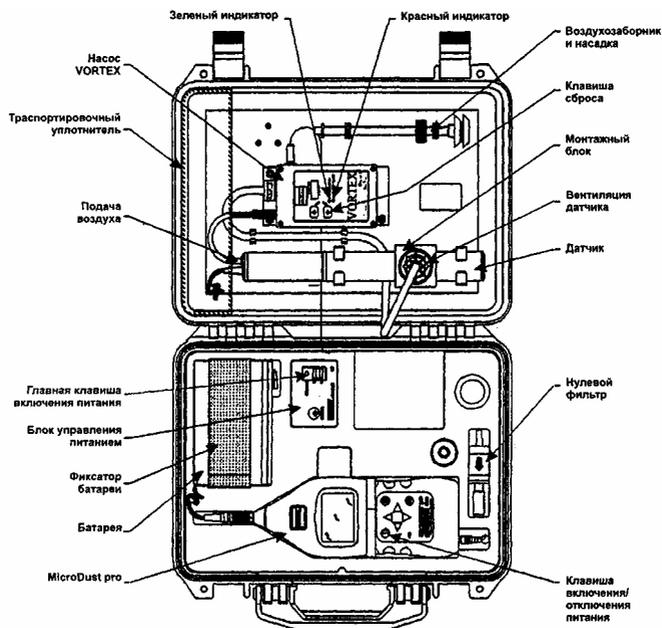


Рис. 5.19. Внутренняя конфигурация камеры MicroDust pro

Датчик фиксируется двумя подпружиненными зажимами и при извлечении их следует разжать. Патрубок монтажного блока вставлен во входное отверстие на крышке кейса камеры. Выходной (продувочный) патрубок насоса служит для подачи чистого воздуха на поверхность оптических элементов измерительного датчика. Защитный слой чистого воздуха предохраняет оптические компоненты от возможного образования налета и тем самым гарантирует достоверность результатов измерений на протяжении длительного периода времени. Насос имеет 0.9 мкм фильтр и регулируемый клапан сброса. Клапан отрегулирован таким образом, чтобы обеспечивать скорость потока чистого воздуха на уровне 0.5 л/мин. При этом скорость подачи пробы должна составлять 3.5 л/мин.

53.4. Порядок работы

Инсталляция

Уплотнительный блок из пенопласта используется для предотвращения движения батареи во время транспортировки. Перед началом работы его следует извлечь и хранить отдельно, чтобы использовать для следующей транспортировки.

Также обратите внимание, что MicroDust pro очень плотно фиксируется в гнезде пенопластового уплотнителя в кейсе камеры. Для установки прибора действуйте следующим образом:

- 1) удерживайте прибор под углом 45° , опустив сторону, где находятся зажимы для датчика;
- 2) осторожно вставьте зажимы в гнездо уплотнителя, как показано на рис. 5.19.
- 3) опустите прогнвоположную сторону прибора в гнездо, убедившись, что зажимы датчика находятся ниже уровня уплотнителя, а сам прибор надежно зафиксирован;
- 4) подключите кабель для подачи питания к разъему подключения зарядного устройства MicroDust pro
- 5) при извлечении прибора MicroDust pro сначала отсоедините шнур питания от разъема для подключения зарядного устройства, затем вставьте палец в гнездо, показанное на рис.5.20 стрелкой и, аккуратно приподняв, извлеките прибор из уплотнителя.

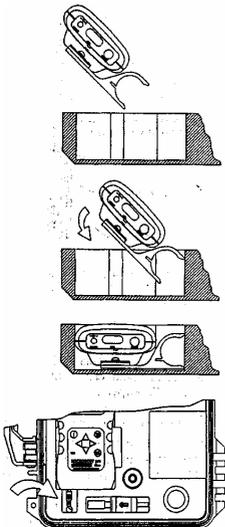


Рис. 5.20 Инсталляция MicroDust pro

Прежде, чем приступить к работе с камерой непрерывного мониторинга, необходимо выполнить следующие дополнительные действия.:

Зарядка батарей

Внимание! Не подключайте напрямую зарядное устройство камеры непрерывного мониторинга к каким, либо приборам MicroDust. Это может привести к их повреждению.

Не переключайте MicroDust pro в режим зарядки, когда в нем установлены обычные элементы питания (не аккумуляторы).

Не оставляйте включенным блок управления питанием системы. Это может привести к разрядке 12В аккумулятора и выводу из строя аккумуляторов MicroDust pro.

Камера непрерывного мониторинга питается от 12В свинцово-кислотного гелиевого аккумулятора, который подзаряжается от зарядного устройства, входящего в комплект поставки и подключаемого через разъем на блоке управления питанием. Используемое зарядное устройство имеет две скорости зарядки, что обеспечивает «быструю» зарядку батареи до полной емкости, после чего устройство переключается на «медленную» зарядку. Подсоедините штекер зарядного устройства к разъему на блоке управления питанием камеры мониторинга, а вилку сетевого питания воткните в розетку.

Красный цвет индикатора на зарядном устройстве свидетельствует о зарядке аккумулятора, желтый - о достижении примерно 80 % емкости батарей и зеленый - о ее полной зарядке. После того, как аккумуляторная батарея зарядилась на 80 % своей емкости, она может поддерживать непрерывную работу системы на протяжении более 24 часов. При подключении внешнего зарядного устройства 12В свинцово-кислотная батарея и NiCd аккумуляторы MicroDust pro заряжаются одновременно.

Адаптер для PUF-фильтров

Для мониторинга определенных фракций пыли необходимо установить в входной адаптер соответствующий фильтр. Если наблюдается суммарная концентрация взвешенных частиц (TSP), во входном адаптере не должно быть установлено никаких фильтров.

Тип установленного фильтра определяет размер частиц, которые будут фиксироваться MicroDust pro и осажаться на гравиметрическом фильтре. Поскольку вставка из полиуретановой пены действует как фильтр, селективно сорбирующий все частицы, чей диаметр больше аэродинамического диаметра его пор, существует возможность определения как отдельной фракции, так и общего числа взвешенных частиц

(TSP), для чего перед началом и по окончании пробоотбора следует взвесить не только 25 или 37 мм фильтр, но и PUF-вкладыш.

Хранение PUF-фильтров

Полиуретановые фильтры (PUF) следует хранить в чистом, хорошо проветриваемом помещении.

Вставка/извлечение PUF-фильтров (рис. 5.21)

PUF-фильтры следует устанавливать и извлекать из кассеты с осторожностью, используя пинцет и пластиковые перчатки. Избегайте физического повреждения, сминания или складывания фильтра.

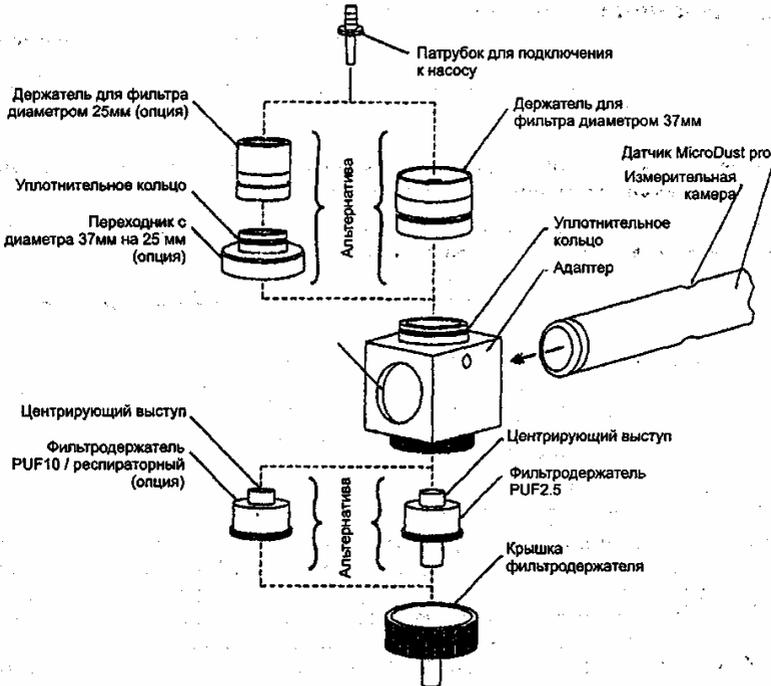


Рис. 5.21. Вставка/извлечение PUF-фильтров

Фильтры должны устанавливаться в соответствующие держатели, как показано на рис. 5.22, Датчик необходимо установить в блок адаптера и правильно сориентировать, чтобы вход адаптера располагался прямо над входным отверстием измерительной камеры. Центрирующий выступ держателя PUF-фильтра должен оказаться во входном отверстии датчика и обеспечить тем самым его надежную фиксацию в адаптере.

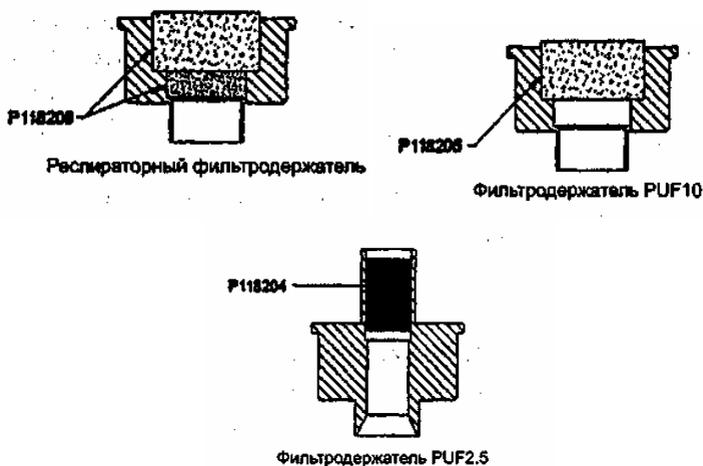


Рис. 5.22. Установка фильтров в держатели

Гравиметрический фильтродержатель

Фильтродержатель предназначен для фиксации 37 мм стекловолокнистого фильтра (по заказу поставляется адаптер для 25 мм фильтров) типа GF/A (классификация Whatman). При необходимости перед установкой в фильтродержатель фильтр следует предварительно кондиционировать и взвесить. Все с осторожностью обращайтесь с фильтром, чтобы не испачкать и не повредить его. Никогда не включайте систему без установленного фильтра - он предохраняет насос от попадания загрязнений.

Включение и работа с системой

Камера непрерывного мониторинга считается собранной и готовой к работе, когда крышка кейса закрыта. Перед началом эксплуатации необходимо открутить и снять выпускной клапан, находящийся под ручкой.

Все оптические измерительные системы чувствительны к присутствующим в воздухе капелькам влаги как в свободном виде, так и абсорбированным на частичках пыли. Для предотвращения возможных ошибок измерений систему не следует использовать в условиях повышенной влажности, дождя или образования конденсата.

Клавиша включения питания всей системы и красный индикатор находятся на блоке управления питанием рядом с разъемом для подключения зарядного устройства. При ее включении питание от 12В аккумулятора подается как на насос, так и на MicroDust pro, что позволяет увеличить его стандартную продолжительность работы (20 часов от комплекта щелочных батарей).

Когда система не используется, переведите данный выключатель в положение OFF для предотвращения разрядки батарей MicroDust pro.

Проверка правильности калибровки прибора Наклон калибровочной прямой MicroDust pro должен контролироваться в соответствии с инструкцией по эксплуатации для портативного анализатора аэрозолей MicroDust pro.

Быстро проверить правильность калибровки наклона можно, установив в измерительную камеру датчика входящий в комплект калибровочный стандарт. Если показания прибора и значение калибровочного стандарта существенно различаются, обратитесь к инструкции по эксплуатации для MicroDust pro.

Проверка нуля

Для упрощения процедуры зануления прибора в комплект поставки входит нулевой входной фильтр.

1. Снимите пробоотборную насадку и оденьте за воздухозаборник нулевой фильтр.
2. Включите насос VORTEX, нажав на приборе обе клавиши одновременно.
3. Подождите некоторое время, пока остатки пыли не будут удалены из измерительной камеры датчика
4. Когда будет получено стабильное значение, войдите в меню калибровки MicroDust pro и проведите калибровку по нулю (обратитесь к инструкции по эксплуатации для MicroDust pro).
5. Выключите насос, нажав и удерживая на клавиатуре VORTEX обе клавиши одновременно.
6. Снимите нулевой фильтр и наденьте обратно пробоотборную насадку.

Запуск насоса

1. Перезагрузите таймер, отображаемый на дисплее насоса VORTEX, нажав и удерживая клавишу  пока показания на дисплее не обнулятся.
2. Включите насос, нажав и удерживая на клавиатуре насоса обе клавиши одновременно, пока не загорится зеленый индикатор.

3. Запустите регистратор MicroDust pro, как описано в инструкции по эксплуатации.

Запуск серии измерений

1. Снимите защитный клапан с крышки кейса камеры и установите пробооборный зонд с насадкой.
2. Включите блок управления питанием
3. Включите насос VORTEX и анализатор MicroDust pro.
4. Проверьте правильность установки «нуля», используя входящий в комплект нулевой фильтр.
5. Установите PUF-фильтр и гравиметрический фильтр (если необходимо).
6. Проверьте скорость потока на входе в систему
7. Запустите регистрацию серии измерений в соответствии с инструкцией по эксплуатации для MicroDust pro.
8. При необходимости обнулите показания таймера насоса.
9. Оставьте прибор на требуемое время для решения Вашей задачи мониторинга.

5.3.5. Насос VORTEX

В камере непрерывного мониторинга Casella используется модифицированная версия aspirатора VORTEX «Timer 2». Этот компактный и надежный насос разработан для обеспечения скорости потока на уровне 4.0 л/мин даже при использовании 37 мм фильтров GF/A (падение давления составляет до 25 см водяного столба). Электронная система контроля позволяет поддерживать постоянную скорость потока вне зависимости от величины падения давления на фильтре.

Насос питается напрямую от системного 12В свинцово-кислотного аккумулятора.

Включение /отключение насоса

Для включения насоса нажмите и удерживайте на клавиатуре обе клавиши одновременно, пока не прозвучит двойной сигнал и не загорится зеленый индикатор, показывающий, что насос включился.

Для отключения насоса также нажмите и удерживайте на клавиатуре обе клавиши одновременно, пока насос не выключится; при этом должны погаснуть все индикаторы.

Сброс таймера

Для сброса показаний времени, прошедшего с момента включения насоса, нажмите и удерживайте клавишу  примерно 3 секунды.

Это можно сделать как при включенном насосе, так и при выключенном.

Регулировка скорости потока

Заводские установки насоса обеспечивают поддержание скорости потока на уровне 3.5 л/мин. Для измерения реальной скорости к воздухозаборной трубке необходимо подключить подходящий расходомер (ротаметр).

1. Для изменения скорости потока нажмите и удерживайте клавишу , пока зеленый индикатор не начнет мигать.

2. Отпустите клавишу. Индикатор будет продолжать мигать еще в течение 5 секунд.

3. В течение этого времени Вы можете нажать  для увеличения скорости или  для ее уменьшения. Сначала значения изменяются медленно, но чем дольше Вы удерживаете клавишу, тем больше возрастает скорость изменения.

4. Проверьте входную скорость. Для PUF-фильтров она должна быть 3.5 л/мин.

Замечание: при отключении внешнего питания сделанные установки сбрасываются!

5.4. Портативный анализатор атмосферных аэрозолей MicroDust pro, программное обеспечение WinDust pro

5.4.1. Описание MicroDust pro

Общие сведения

Взвешенные частицы могут находиться в атмосферном воздухе в виде пыли, дыма, выхлопных газов, пыльцы или других аэрозолей. В городских условиях основным источником аэрозольного загрязнения являются промышленные предприятия, котельные, двигатели транспортных средств и строительство.

Присутствие в атмосферном воздухе взвешенных частиц приводит к ухудшению видимости, загрязнению, распространению токсичных веществ, а также может явиться причиной многих заболеваний, таких как астма, бронхит и рак легких.

Традиционные гравиметрические методы измерения пыли требуют значительного пробоотбора и не могут использоваться для оценки динамики и тенденций изменения концентрации в реальном времени.

Прибор MicroDust pro - это идеальный измерительный инструмент для определения концентрации частиц в мг/м³ в режиме реально-

го времени. Он полностью портативен и подходит для использования как в стационарных, так и в экспедиционных условиях.

Точность и воспроизводимость измерений концентрации пыли достигается за счет использования усовершенствованной технологии прямого светорассеяния. MicroDust pro обеспечивает графическое представление результатов измерений, имеет встроенный регистратор полученных данных, простой и понятный интерфейс и методы цифровой калибровки для имитации любых сценариев пробоотбора.

Поставляемое в комплекте с прибором программное обеспечение (ПО) MicroDust pro для Windows разработано с целью максимально упростить процедуру передачи данных и их обработки на компьютер. Кроме того, в нем имеется функция отображения текущих измеряемых значений и их графического представления с функцией скроллинга (прокрутки).

MicroDust pro демонстрирует наивысший уровень чувствительности для интервала вдыхаемых частиц, в то время как сменные насадки позволяют производить измерения в относительно недоступных областях.

MicroDust pro имеет четыре диапазона измерения:

- 1) $0.001 \dots 2.500 \text{ мг/м}^1$;
- 2) $0.01 \dots 25.00 \text{ мг/м}^3$;
- 3) $0.1 \dots 250.0 \text{ мг/м}^3$;
- 4) $1 \dots 2500 \text{ мг/м}^3$.

Все приборы калибруются на заводе с использованием стандартного образца пыли известного состава (ISO Fine 12103-1 A2). Данная процедура позволяет определить значение калибровочной концентрации с использованием поверяемого аналитического метода гравиметрии. Поставляемый оптический калибровочный элемент служит эталоном для проверки заводской калибровки.

Для оптимальной калибровки к особенностям местного состава пыли можно использовать пробоотборный насос и дополнительный гравиметрический или респираторный адаптер, что позволит сравнивать данные оптического и гравиметрического анализа (гравиметрическая корректировка данных, полученных на приборе в реальном времени).

Высоко контрастный ЖК дисплей позволят отображать как текст, так и графическую информацию. На него выводятся параметры конфигурации прибора, уровень загрязнения, информация о статусе регистратора и заряде батарей.

Принцип работы

В приборе используется модулированный ИК-источник, свет от которого проецируется в измерительную камеру. Если анализируемая проба воздуха не содержит взвешенных частиц, нерассеянный свет на выходе из измерительной камеры не попадает на детектор из-за установленного экрана. В то же время в присутствии частиц, на которых происходит светорассеяние, отраженный под острым углом (12-20°) свет обходит экран, фокусируется установленной за ним оптикой и регистрируется детектором.

Благодаря использованию острого угла светорассеяния, удалось уменьшить чувствительность прибора к изменениям в окраске и в показателе преломления анализируемых частиц.

Прибор демонстрирует прекрасную линейность отклика во всем диапазоне измерения вплоть до 2500 мг/м³.

Структура меню MicroDust pro

Пользовательский интерфейс представляет собой последовательность вложенных меню, взаимосвязь которых отображена на вкладышах в конце английской инструкции.

Клавиши на передней панели прибора служат для навигации по меню системы и изменения параметров настройки прибора. Назначение клавиш следующее:

- ▲ и ▼ Данные клавиши со стрелками служат для перемещения между пунктами текущего меню
- ◀ и ▶ Данные клавиши служат для изменения содержимого выбранного поля, например даты, времени, интервала регистрации и т.д.
- <Enter> Данная клавиша служит для подтверждения внесенных изменений.
- <ESC> Данная клавиша позволяет вернуться на шаг назад, например, в предыдущее меню.

Те опции, которые недоступны в данный момент, отмечены знаком «х». Например, если прибор находится в режиме регистрации, функция калибровки заблокирована.

Для возврата в основное меню из любого текущего режима достаточно несколько раз нажать клавишу <ESC>.

Главное меню включает все параметры и опции, относящиеся к управлению прибором, и предоставляет доступ к трем подменю:

- Меню калибровки (Calibration) - Калибровка прибора
- Меню конфигурации (Configuration) - Настройка параметров прибора
- Регистратор (Logger) - Настройка параметров регистратора, запуск и остановка процесса регистрации

Комбинированный аналоговый/K8232 выход

Аналоговый интерфейс позволяет подключить к MicroDust pro самописец или внешний регистратор данных. Детальное описание комбинированного прибора приводится ниже.

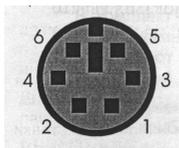


Рис. 5.23. Порядок нумерации контактов комбинированного разъема. Вид снаружи

Назначение	Номер контакта	Цвет провода	Соответствие D9
P8232-разъему			
Аналоговый земля	1	Желтый	
Аналоговый сигнал	2	Красный	
RS232 получение	3	Белый	3 (TX выход)
RS232 передача	4	Черный	2 (RX вход)
RS232 земля	5	Синий	5 (земля)
			4 (DTR), 8 (CTS), 6 (DSR) замкнуты

Аналоговый выход соответствует полной шкале 0 ... 2.5В и имеет выходное сопротивление 500 Ом. Текущая шкала аналогового выхода соответствует текущему диапазону измерения. Например, если текущий диапазон измерения 0 ... 25 мг/м³, выходной сигнал 2.5В будет соответствовать концентрации пыли 25 мг/м³ (другими словами 1 мВ на каждые 0.01 мг/м³). Использование аналогового выхода возможно только при установленном фиксированном диапазоне измерения (функция AutoRange должна быть отключена).

5.4.2. Порядок работы

MicroDust pro - это высокоточный аналитический прибор, который не предназначен для эксплуатации в условиях повышенной влажности, вибрации или физических воздействий.

Для достижения оптимальной точности измерений рекомендуется произвести пользовательскую калибровку анализатора на характерный для данного региона состав пыли.

Источник питания

В комплект поставки к MicroDust pro входят четыре элемента питания типа АА, размещаемые в отсеке на обратной стороне корпуса прибора. Прибор также может работать от сетевого адаптера, подключаемого к разьему 12В. При этом элементы питания могут быть не установлены.

Для получения доступа к батарейному отсеку, потяните вниз крышку на задней панели прибора и приподнимите ее.

Внимание!

Несоблюдение полярности при установке элементов питания может и не отразиться на работоспособности прибора, но при этом будет наблюдаться его перегрев, что в свою очередь может привести к короткому замыканию и повреждению прибора.

Установите в батарейном отсеке четыре элемента питания (размера АА или аналогичные) в соответствии с полярностью. Рекомендуется использовать Ni-Cd аккумуляторы 1.2В, но также можно применять и щелочные батарейки на 1.5В.

Аккумуляторные батареи могут поставлять компанией Casella в разряженном состоянии. Для достижения максимальной емкости элементов может потребоваться несколько полных циклов их зарядки/разрядки.

Прибор имеет встроенное зарядное устройство, питающееся от сетевого адаптера. Это позволяет осуществлять подзарядку аккумуляторов не вынимая их из прибора. Для это необходимо перевести переключатель Charge Enable в батарейном отсеке в положение «ON».

Зарядка занимает порядка 3-х часов при полностью разряженных аккумуляторах.

Внимание!

Не допускайте перевода прибора в режим зарядки при установленных не заряжаемых элементах питания.

Измерительный датчик

Отсоединяемый датчик включает измерительную камеру вместе с оптической системой, ИК-источником и детектором. Для подключения датчика используйте разъем в верхней части прибора, располагая штекер красной отметкой вверх для соблюдения правильного расположения контактов.

Внимание!

При отсоединении датчика не тяните его за кабель!

Для отсоединения датчика и кабеля от прибора тяните только за корпус штекерного разъема. Это может понадобиться при эксплуатации прибора в качестве портативного инструмента.

Подставка для прибора

При использовании прибора для решения общих задач мониторинга он может устанавливаться на соответствующем треножнике (заказывается отдельно).

Включение/выключение прибора

1. Для включения прибора нажмите клавишу <|>. На некоторое время на экране появится заставка, на которой будет отображаться название прибора, затем анализатор перейдет в режим измерения. Сразу после включения некоторое время (примерно 1 минуту) может наблюдаться дрейф показаний, вызванный прогревом прибора.

2. Прежде, чем приступить к измерениям, рекомендуется проверить, что ноль и наклон (чувствительность) прибора установлены в соответствии типом измеряемого аэрозоля. Для быстрого перехода в режим калибровки нажмите <Enter>.

3. Для сброса максимального и среднего значения нажмите клавишу - ◀.

4. Клавишами ▲ и ▼ можно перейти в режим графического представления данных - графика изменения текущих концентраций. Клавишей ▶ можно выбрать продолжительность отображаемого интервала регистрации (масштаб по оси X : 100 с, 200 с, 15 мин, 60 мин). Масштаб по оси Y выбирается автоматически. По мере накопления данных график будет сдвигаться вправо (автоматический скроллинг). Текущее измеряемое значение отображается в нижнем левом углу дисплея.

5. Для возврата в стандартный режим представления данных снова воспользуйтесь клавишами ▲ и ▼.

Для отключения прибора нажмите и удерживайте клавишу <|> в течение 2 секунд.

Проверка статуса батареек и версии программы ПЗУ

Напряжение на элементах питания и версия программного обеспечения записанного в ПЗУ прибора отображаются вместе в меню статуса (Status).

1. Включите прибор и подождите, пока он не перейдет режим измерения.

2. Нажмите клавишу <ESC> для входа в главное меню (MAGM MENU).

3. Используя клавиши ▲▼, переведите курсор на пункт MicroDust Status.

4. Нажмите <Enter>, на дисплее появится меню статуса. Если отображаемое напряжение более 4.8 В, значит батареи полностью разряжены. Если же напряжение на аккумуляторах составляет менее 4.2 В, это значит, что более 80 % их емкость использована - следует про извести подзарядку.

Когда элементы питания близки к разрядке, на дисплее начинает мигать пиктограмма с изображением батарейки. Если напряжения на элементах питания становится недостаточно для дальнейшей работы прибора, процесс регистрации данных прекращается, и прибор автоматически отключается.

Настройка текущего режима измерения

В меню настройки (CONFIGURATION) содержатся все функции, которые необходимы для настройки текущего режима измерения.

1. Находясь в главном меню (MAIN MENU), используя клавиши ▲▼ переведите курсор на пункт Configuration.

2. Нажмите <Enter> для входа в меню настройки.

3. Для выбора языка наведите курсор на пункт Language и нажмите <Enter>. Вы можете выбрать один из следующих языков: English, Francaise, Deutsch, Italiano, Espanol.

4. Наведите курсор на требуемый язык, используя клавиши ▲▼.

5. Нажмите <Enter> для выбора языка и возврата в меню настройки.

6. Задайте диапазон измерения, для чего наведите курсор на пункт Measuring Range и нажмите <Enter>. Прибор MicroDust pro имеет четыре диапазона измерения (0-2.500, 0-25.00, 0-250.0, 0-2500 мг/м³) плюс функция Auto Range (автоматический выбор диапазона). А также два варианта настройки графического представления данных (Graph): Range Locked фиксирует максимальное значение по оси Y в соответствии с выбранным диапазоном измерения, Auto Scale Масштаб по оси Y выбирается автоматически, исходя из текущего минимального и максимального значения.

7. Используя клавиши ▲▼, выберите Range.

8. Используя клавиши ◀▶: выберите требуемый диапазон измерения или установите функцию Auto Range, которая подходит для абсолютного большинства применений.

9. Клавишей ▼ перейдите к опции Graph.

10. Используя клавиши ◀▶, выберите необходимый вариант установления масштаба по оси Y для графического представления данных.

11. Для подтверждения внесенных изменений и возврата в меню настройки нажмите клавишу <Enter>.

12. Укажите время усреднения сигнала, для чего наведите курсор на пункт Averaging Time и нажмите <Enter>. Откроется меню AVERAGING TIME, в котором всего один пункт - установка значения интервала усреднения. Вы можете указать любой интервал в диапазоне от 1 до 60 секунд с шагом в 1 секунду. Отображаемое значение концентрации будет соответствовать усредненному значению за указанный интервал времени. Для некоторых применений в случаях, когда изменение концентрации аэрозоля происходит очень быстро, большое значение интервала усреднения позволяет увеличить стабильность получаемых результатов.

13. Используйте клавиши ◀▶ для изменения настроек.

14. Для подтверждения внесенных изменений и возврата в меню настройки нажмите клавишу <Enter>.

15. Укажите вариант подсветки дисплея, для чего наведите курсор на пункт Back Light и нажмите <Enter>.

16. Выберите один из следующих вариантов: Light ON - подсветка дисплея включится сразу после выхода из данного пункта меню и останется гореть до отключения прибора. Light OFF отключает подсветку дисплея. Keypress ON - подсветка дисплея включается каждый раз после нажатия любой клавиши и остается включенной в течение заданного времени (Duration). Duration определяет время, в течение которого после нажатия клавиши будет включена подсветка дисплея.

17. Для подтверждения внесенных изменений и возврата в меню настройки нажмите клавишу <Enter>.

18. Для установки времени и даты выберите пункт Time & Date и нажмите клавишу <Enter>. Появится значение времени. Прибор имеет встроенные часы реального времени, которые необходимо обновить на текущее время и дату. При регистрации данных о концентрации пыли каждый результат измерений сопровождается информацией о дате и времени, когда он был получен. При настройке прибора с использованием компьютерного программного обеспечения WinDustрго часы внутри прибора автоматически синхронизируются с часами в подключенном компьютере.

19. Используя клавиши ▲▼, выберите Set Time (настройка времени) или Set Date (настройка даты).

20. Нажмите <Enter>. На дисплее появится соответствующее меню.

21. Используя клавиши ▲▼, выбирайте редактируемое поле (часы, минуты, день и т.д.), а при помощи клавиш ◀▶ изменяйте их значение.

22. Нажмите <Enter> для возврата в меню TIME & DATE и клавишу <ESC> для возврата в главное меню.

23. Для настройки параметров последовательного коммуникационного порта выберите пункт Serial Comms и нажмите клавишу <Enter>. Появится меню SERIAL COMMS.

24. Используя клавиши ▲▼, выбирайте редактируемое поле (скорость передачи, число бит данных и т.д.), а при помощи клавиш ◀▶ изменяйте их значение.

25. Учтите, что сделанные настройки должны совпадать с настройками порта в подключаемом компьютере. Для подтверждения внесенных изменений и возврата в меню настройки нажмите клавишу <Enter>.

Калибровка

Прежде чем приступать к измерениям запыленности, следует убедиться в том, что в приборе правильно выставлен «ноль» и отрегулирован наклон калибровочного графика.

Для достижения оптимальной точности измерений рекомендуется произвести пользовательскую калибровку анализатора на характерный для Вашего региона состав пыли.

Проверка правильности установки нуля и наклона

1. В главном меню (MAIN MENU) выберите пункт Calibration и войдите в него, нажав <Enter>. В меню калибровки также можно попасть из режима измерения, нажав клавишу ▶.

2. Выберите в меню калибровки (CALIBRATION) пункт Set Zero. Для измерений в низких диапазонах (0—2.5 или 0—25 мг/м³) прежде, чем приступать к проверке или настройке нуля следует продувать датчик чистым воздухом. Мелкодисперсные частицы могут оставаться во взвешенном состоянии довольно продолжительное время, даже при закрытом затворе входной камеры датчика.

3. Задвиньте скользящий затвор датчика на измерительную камеру таким образом, чтобы отставить только небольшое отверстие для выхода продувочного воздуха.

4. Подключите к продувочному патрубку датчика пневмонасос, входящий в комплект поставки и 5 - 6 раз резко сдавите грушу насоса. Таким образом Вы подадите в камеру чистый воздух и удалите возможные загрязнения, который образуются в результате осаж-

дения частиц пыли на оптических элементах датчика. При этом в начале пользователь может наблюдать некоторый рост показаний, а затем их снижение вплоть до нуля.

5. Подождите несколько секунд для срабатывания функции автоматического выбора диапазона (AutoRange) и стабилизации показаний. Если показания не стабилизируются, повторно несколько раз быстро сдавите грушу насоса, и снова подождите.

6. После стабилизации показаний нажмите клавишу <Enter>. Прибор обнулится и на дисплее высветятся нулевые показания ± 1 деление. Если отклонения в показаниях превышают одно деление, подождите несколько секунд и снова нажмите <Enter>. Если прибору не удастся произвести обнуление показаний в диапазоне измерения 0—2.5 мг/м³, на дисплее появится предупреждение о высоком уровне загрязнения (Contamination Warning) и прибор перейдет в более высокий диапазон измерения. Теперь, вплоть до очистки датчика, минимальным диапазоном измерения будет 0—25 мг/м³. Однако для обеспечения точных и стабильных показаний рекомендуется произвести заводскую очистку датчика.

7. После того, как прибор был занулен, убедитесь в том, что на продувочный патрубок одета защитная резиновая пробка.

8. Для проверки заводской калибровки выберите в меню CALIBRATION пункт Set Span и нажмите <Enter>. Первоначальный наклон калибровочного графика (или чувствительность 1) для прибора и датчика определяется на заводе-изготовителе при помощи калибровочного аэрозоля стандарта ISO (Fine 12103-1 A2). Каждый датчик поставляется со своим собственным калибровочным фильтром, который обеспечивает в измерительной камере строго определенный фиксированный эффект светорассеяния. Это позволяет проверять правильность заводской калибровки прибора и датчика.

Всегда используйте только тот калибровочный фильтр, который поставляется в комплекте с датчиком!

Величина светорассеяния, выраженная в мг пыли на м³, написана на самом фильтре и отображается в нижней части экрана в меню настройки наклона (SET SPAN).

9. Вставьте калибровочный фильтр в измерительную камеру датчика таким образом, чтобы указательная стрелка была направлена к рукоятке датчика.

10. Нажмите <Enter> и подождите несколько минут для стабилизации показаний. На дисплее должно отобразиться значение, указанное на фильтре ± 1 деление. Это будет свидетельствовать о неизменности заводской калибровки.

11. Если правильное значение не будет отображено (например в случае, если прибор последний раз использовался с другим датчиком и фильтром), перейдите в меню настройки оптического фильтра (SET OPTICAL FILTER).

12. Нажмите <Enter> и введите правильное значение, нанесенное на используемый фильтр.

13. Нажмите <Enter> для подтверждения изменений. Эта калибровка по абсолютному значению сохранится и после использования поправочного коэффициента. После калибровки, если датчик станет сильно загрязненным, на дисплее появится предупреждение и данный измерительный диапазон окажется недоступным вплоть до момента очистки датчика.

Все приборы, использующие принцип светорассеяния, имеют определенную чувствительность к частицам с различным индексом преломления, размером, формой и цветом. В приборе MicroDust pro используется метод острого угла светорассеяния, что позволяет минимизировать влияние данных эффектов. Однако для оптимальной калибровки к пыли определенного состава рекомендуется применять гравиметрическую корректировку к получаемым данным.

Калибровка по пыли определенного состава

Все приборы, использующие принцип светорассеяния, имеют определенную чувствительность к частицам с различным индексом преломления, размером, формой и цветом. Поэтому, когда пользователь в процессе эксплуатации сталкивается с различными типами аэрозолей, чувствительность прибора слегка изменяется. В приборе MicroDust pro используется метод острого угла светорассеяния, что позволяет минимизировать влияние данных эффектов. Однако для оптимальной калибровки к пыли определенного состава рекомендуется применять гравиметрическую корректировку.

Дополнительный гравиметрический адаптер включает фильтрационную кассету для 25 мм или 37 мм фильтра и обеспечивает стандартный общепринятый метод гравиметрической калибровки анализатора MicroDust pro. Стандартную гравиметрическую методику можно использовать в комплекте для обеспечения перекрестной проверки показаний прибора и взвешенного образца. Это достигается за счет получения в течение периода наблюдений двух средних: одного - по изменению массы фильтра, второго - с использованием функции усреднения прибора. Если между двумя этими значениями наблюдается разница, для измеряемого в течение указанного периода образца пыли в память прибора можно внести пользовательскую поправку. В даль-

нейшем данный поправочный коэффициент будет применяться ко всем измерениям, обеспечивая оптимальную точность измерений.

В процессе калибровки необходимо определить среднее значение концентраций реального времени, полученного за время работы прибора. Встроенный регистратор делает запись и анализ полученных данных простой и легкой задачей.

Для калибровки прибора по пыли определенного типа воспользуйтесь следующей процедурой:

1. Настройте «ноль» прибора и убедитесь в правильности заводской калибровки. Это вернет прибор к калибровке, принятой по умолчанию для того, чтобы обеспечить единую основу для всех пользовательских калибровок. Данная калибровка является абсолютной и не зависит от изменений в поправочных коэффициентах пользовательских калибровок.

2. Подключите гравиметрический или респираторный адаптер к датчику и поместите в кассету адаптера предварительно взвешенный фильтр.

3. Настройте пробоотборный насос для обеспечения требуемой скорости потока. Респираторный адаптер требует поддержания скорости потока на уровне 2.2 л/мин. Для изокINETического пробоотбора скорость работы насоса рассчитывается на основе скорости образца и площади поперечного сечения входной трубки гравиметрического адаптера (2 см²). Для задач анализа на общее содержание взвешенных частиц (TSP) реальная скорость насоса не является критичным параметром, но влияет на массу отбираемого образца.

4. Запустите гравиметрический пробоотбор и встроенный регистратор, при этом среднее значение (T.W.A) обнулится.

5. Продолжайте пробоотбор в течение времени, достаточного для накопления необходимой минимальной массы на фильтре, которая может быть взвешена на имеющихся весах с необходимой точностью.

6. По окончании выбранного периода калибровки, остановите регистратор и пробоотборный насос. Рассчитанное среднее значение за указанный период отображается на дисплее и будет сохранено в файле данных для данной серии измерений.

7. Запишите полученное среднее значение (T.W.A).

8. Фильтр следует высушить и взвесить для определения накопленной массы.

9. Т.н. «гравиметрическая плотность» или средняя концентрация в течении периода калибровки определяется как отношение увеличения массы фильтра к объему проанализированного образца. Поправочный коэффициент для пользовательской калибровки рассчитывается следующим образом:

$$\text{Поправочный коэффициент} = \frac{\text{Гравиметрическая концентрация}}{\text{Среднее значение прибора (T.W.A)}}$$

Пример.

- Увеличение массы фильтра = 3.21мг;
- Объем образца = 0.75 м3 (рассчитывается из скорости и времени пробоотбора);
- Гравиметрическая плотность= 3.21 /0.75 = 4.28 мг/м3;
- T.W.A за тот же период времени = 3.45 мг/м3 (пусть, к примеру, прибор занижает показания);
- Поправочный коэффициент = 4.28/3.45 = 1.24;
- Поправочный коэффициент может быть рассчитан автоматически с использованием программного обеспечения WinDust pro.

Использование пользовательской калибровки

1. Проверьте и при необходимости настройте «ноль» прибора и убедитесь в правильности заводской калибровки.

2. В меню калибровки (CALIBRATION) выберите пункт User Dust Types. На дисплее отобразится список ранее заданных пользовательских калибровок. Текущая используемая калибровка отмечена знаком V. Принятая по умолчанию заводская калибровка (DEFAULT) не может быть отредактирована или удалена. Она основана на стандарте ISO Fine 12103-1 A2 (эквивалент дорожной пыли штата Аризона).

3. Наведите курсор на название существующей калибровки или на свободную позицию.

4. Нажмите ► для выбора одной из следующих опций:

«✓» Сделать текущую калибровку активной

«del» Удалить текущую калибровку

«set» Внести изменение в название и поправочный коэффициент калибровки

« » Сохранить данную калибровку, но не делать ее активной

5. Выберите «set» и нажмите <Enter>. Откроется меню SET DUST PARAMETERS.

Выберите пункт Set Name и нажмите <Enter>.

Введите название калибровки и нажмите <Enter> для сохранения изменений и возврата в меню SET DUST PARAMETERS.

8. Выберите пункт Set Factor и нажмите <Enter>.

9. Введите ранее рассчитанный поправочный коэффициент.

10. Теперь, когда Вы анализируете объект с определенным составом пыли, загрузите в меню DUST NAME соответствующую ему пользовательскую калибровку и указанный в ней поправочный коэффициент будет автоматически применяться ко всем последующим измерениям

Измерение

Перед проведением измерений проверьте установку прибора на ноль и наклон калибровочной кривой, рассчитайте и введите в память прибора поправочный коэффициент для измеряемого типа пыли, а также укажите время усреднения сигнала и диапазон измерения, подходящие для вашей задачи.

Открыв окно измерительной камеры, медленно перемещайте датчик в измеряемом аэрозоле, или положитесь на естественный ток воздуха. Во время измерения датчик можно отсоединить от корпуса прибора или оставить прикрепленным к нему. Для осуществления постоянного контроля в стационарных условиях предпочтительнее использование аспирационной системы.

Любой налет пыли, образовавшийся на оптических элементах системы, необходимо немедленно удалить, продув измерительную камеру. Для продления срока эксплуатации прибора рекомендуется производить данную операцию перед и после каждой серии измерений.

В добавление к индикации текущих значений концентрации, MicroDust pro также способен вычислять и отображать некоторые полезные данные, а именно:

Максимальное значение (Max.)

Данное значение соответствует максимальной концентрации которая была измерена в течение любого односекундного интервала с момента включения прибора. Значение можно сбросить вручную, нажав клавишу ◀ или запустив режим регистрации. Пока прибор находится в режиме регистрации данное значение сбросить нельзя.

Среднее значение за период (Ave)

Данное значение соответствует усредненной концентрации и рассчитывается с момента включения прибора или сброса значения. Значение можно сбросить вручную, нажав клавишу ◀ или запустив ре-

жим регистрации. Пока прибор находится в режиме регистрации данное значение сбросить нельзя.

5.5. Хемилюминесцентный газоанализатор окислов азота

Газоанализатор "Р-310" предназначен для измерения массовой концентрации окислов азота в атмосферном воздухе. Газоанализатор представляет собой автоматический показывающий прибор непрерывного действия.

Газоанализатор соответствует требованиям ГОСТ Р 50760-95 и конструктивно выполнен в одном блоке. Принцип действия - Хемилюминесцентный. Вид климатического исполнения УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150.

По защищенности от воздействия окружающей среды газоанализатор относится к группе В1 по ГОСТ 12997-84.

По устойчивости к механическим воздействиям газоанализатор относится к группе L1 по ГОСТ 12997-84.

По устойчивости к воздействию атмосферного давления газоанализатор относится к группе Р1 в соответствии с ГОСТ 12977.

По допускаемому углу наклона - зависимый (группа 3 по ГОСТ 13320).

По времени установления выходного сигнала - с большой инерционностью (группа И-3 по ГОСТ 13320).

По времени прогрева газоанализатор относится к изделиям с длительным временем прогрева (группа П-3 по ГОСТ S3320)

Уровень промышленных радиопомех, воздействующих на газоанализатор, не должен превышать величин, предусмотренных "Общесоюзными нормами допускаемых радиопомех" (нормы 1-72-9-72).

5.5.1. Технические данные

Газоанализатор позволяет измерять содержание окиси и двуокиси азота в анализируемом воздухе в диапазоне массовых концентраций от 0 до 1000 мкг/м³.

Предел допускаемой основной приведенной погрешности анализатора (γ) в диапазоне 0-80 мкг/м³ составляет $\pm 25\%$.

Предел допускаемой основной относительной погрешности (δ) в диапазоне 80-1000 мкг/м³ составляет $\pm 25\%$.

Предел допускаемой вариации (БД) показаний $\pm 0,5$ долей от основной погрешности.

Допускаемое изменение выходного сигнала за 7 суток непрерывной работы не более $\pm 0,5$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения температуры окружающего воздуха (в долях от допускаемой основной погрешности на каждые $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ отклонения от номинального значения температуры $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $10 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ не превышает $\pm 0,5$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения влажности (от 15 до 95 %) не более $\pm 0,2$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения давления (от 84 до 106,7 кПа) не более $\pm 0,2$ долей от основной погрешности.

Газоанализатор должен эксплуатироваться при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха от $+10$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность окружающего воздуха до 98 %;
- атмосферное давление от 630 до 800 мм.рт.ст;
- электрическое питание от сети переменного тока напряжением (220^{+22}_{-33}) В, частотой (50 ± 1) Гц.
- допустимая вибрация частотой 10 - 55 Гц и амплитудой не более 0,15 мм.

Предельные значения концентрации неизмеряемых компонентов в анализируемой газовой смеси должны быть следующими:

- Cl_2 не более $0,1\text{ мг/м}^3$;
- H_2S не более $0,5\text{ мг/м}^3$;
- CO не более $50,0\text{ мг/м}^3$;
- NO_2 не более $0,5\text{ мг/м}^3$;
- NO не более $1,0\text{ мг/м}^3$;
- O_3 не более $0,2\text{ мг/м}^3$;
- атмосферная пыль не более 5 мг/м^3 ;

Предел дополнительной суммарной погрешности от влияния неизмеряемых компонентов составляет $\pm 1,0$ долей от основной погрешности.

Параметры анализируемой газовой смеси на входе в газоанализатор:

- температура от $+10$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- давление от 630 до 800 мм.рт.ст. (от 93.3 до 106.7 кПа);
- относительная влажность до 98 %;
- предельные значения концентрации неизменяемых компонентов в анализируемой газовой смеси в соответствии с п. 2.5.

Для анализа воздуха с параметрами, отличающимися от указанных, необходимо использовать устройство пробоподготовки, обеспечивающее требуемые параметры.

Объемный расход газовой пробы на входе в газоанализатор 1.0 ± 0,2 л/мин;

Газоанализатор не является источником промышленных помех, опасных излучений и выделений вредных веществ.

Габаритные размеры газоанализатора не превышают 485x420x135 мм, масса не более 11 кг.

Газоанализатор выдерживает перегрузку, вызванную превышением содержания измеряемого компонента на 100% за пределы измерений, в течение 5 минут. Время восстановления нормальной работы после снятия перегрузки не более 30 минут.

Время прогрева газоанализатора не более 48 часов.

Время установления показаний не более, 3 мин.

Мощность, потребляемая газоанализатором, не более 50 ВА.

Средняя наработка на отказ не менее 10000 ч. Газоанализатор относится к восстанавливаемым ремонтируемым изделиям. Ремонт производится силами организации изготовителя.

5.5.2. Устройство и принцип работы газоанализатора

Газоанализатор представляет собой газовый компаратор, в основу работы которого положен хемиллюминесцентный метод определения концентрации двуокиси азота. Сущность этого метода состоит в том, что химическое взаимодействие молекул двуокиси азота с датчиком сопровождается люминесценцией. Интенсивность хемиллюминесценции пропорциональна содержанию двуокиси азота в анализируемой газовой смеси. Газоанализатор имеет циклический характер работы. Пневматическая схема газоанализатора представлена на рис. 5.24.

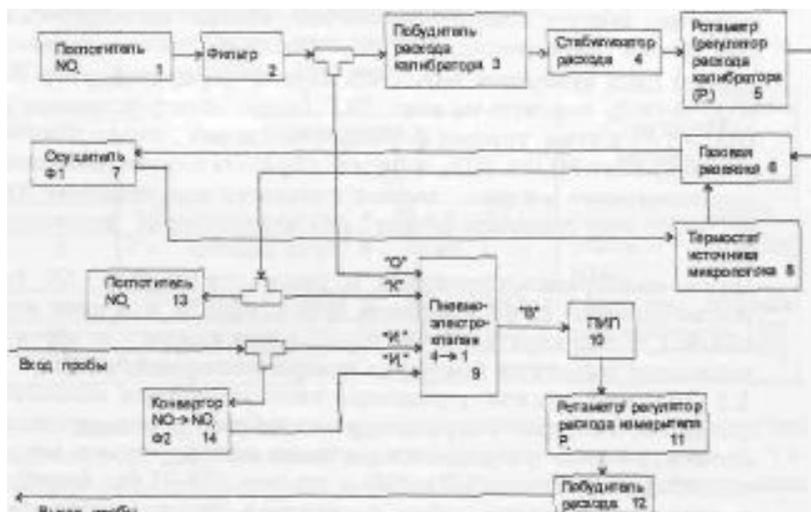


Рис. 5.24. Пневматическая схема газоанализатора

Работа прибора начинается с продувки хемиллюминесцентного датчика, находящегося в первичном измерительном преобразователе (ПИП) (10) "нулевым газом", т.е не содержащим окислов азота. Для этого атмосферный воздух через поглотитель NO₂ (1) и фильтр (2) попадает на вход "О" блока электроклапанов (8). В режиме продувки вход блока электроклапанов (9) "О" соединен с выходом "В", входы "К", "ИГ" и "И2" закрыты. С выхода "В" нулевой газ попадает в ПИЦ (10). Побудитель расхода (12) обеспечивает прокачку газа со скоростью, заданной регулятором расхода и контролируемой по ротаметру (11) во всех циклах работы прибора.

После окончания продувки начинается калибровка. Атмосферный воздух через поглотитель (1), фильтр (2) и осушитель 7 (Φ 1) прокачивается через термостат, в котором находится источник микропотока NO₂ (8), представляющий собой металлическую емкость, заполненную жидким NO₂ с фторопластовой мембраной, через которую идет диффузия NO₂, в газовый поток. После калибратора, газозвушная смесь попадает в газовую развязку калибратора (6). Расход газа калибратора обеспечивается побудителем расхода калибратора (3) и стабилизатором расхода (4), управляется регулятором расхода калибратора (5) и контролируется ротаметром калибратора (4). Далее калибровочный газ попадает в ПИП (10), где формируется калибровочный сигнал. В этом режиме вход блока электроклапанов (9) "К" соединен с выходом "В", остальные входы "О", "ИГ" и "И2" закрыты.

За циклом калибровки следует цикл измерения NO_2 . Проба попадает на вход "И1" блока электроклапанов (9). После цикла измерения NO_2 следует цикл измерения $\text{NO}_2 + \text{NO}$. Проба через конвертор $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$ 14 (Ф 2) подается на вход "И2" блока электроклапанов (9). В ПИПе (10) в этом режиме формируется сигнал, соответствующий концентрации $\text{NO}_2 + \text{NO}$, в блоке обработки сигналов происходит вычитание сигнала, соответствующего концентрации NO_2 и на индикатор попадает сигнал, соответствующий концентрации NO .

Циклы калибровки и продувки "О" газом делятся 10 и 100 с. соответственно. Цикл измерения NO_2 длится 20 с, и цикл измерения $\text{NO}_2 + \text{NO}$ длится 30 секунд. В конце каждого измерения на индикатор выводится показания измеренной концентрации.

Основные органы управления газоанализатора находятся на его лицевой панели. Это ротаметры калибратора и измерительного канала, вентили регулировки расходов анализируемого воздуха и калибровочного газа "К" и "И", крышка ИМП (источника микропотока) и реактора, табло индикатора, управляющие кнопки "Б" и "П", "↑", "↓".

Вид передней панели газоанализатора представлен на рис. 5.25 .

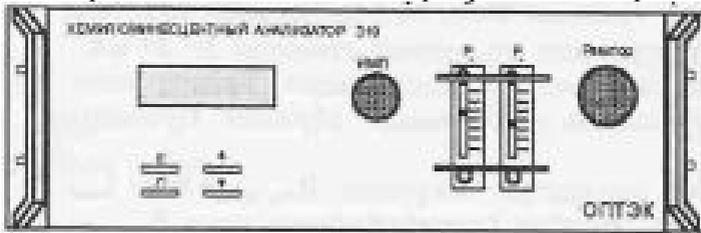


Рис. 5.25. Вид передней панели газоанализатора

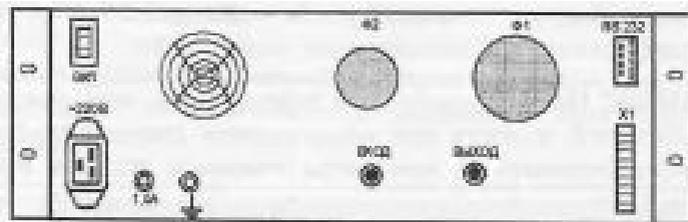


Рис. 5.26. Вид задней панели газоанализатора

На задней панели газоанализатора (рис. 6.26) расположены: сетевой разъем 220В, тумблер "ВКЛ", клемма заземления, универсальный разъем (XI), крышки фильтров, 2 штуцера "Вход" и "Выход", разъем по-

следовательного порта RS-232 (DB-9).

На задней панели газоанализатора расположены: сетевой разъем 220В, тумблер "ВКЛ", клемма заземления, универсальный разъем (XI), 2 штуцера "Вход" и "Выход", разъем последовательного порта RS-232 (гнездо DRB-9FB).

Назначение контактов многофункционального разъема XI газоанализатора представлено в табл. 5.3.

Разъем XI - многофункциональный, с гальванической развязкой от корпуса прибора.

Таблица 5.3

Номер контакта	Назначение	Светодиоды индикации
1	"+" токовой петли 4-20мА NO ₂ ;	контроль обрыва токовой петли NOz
2	"- " токовой петли 4 20 мА NO _j	
3	"+" токовой петли 4-20мА NO;	контроль обрыва токовой петли NO
4	"- " токовой петли 4 20 мА NO	
5-10	не задействованы	

Токовый выход линейный, пропорциональный концентрации:

Установка предприятия-производителя:

4 мА - концентрация—ноль, мкг/м³

20 мА - концентрация 1000 мкг/м³;

Контакты 1-4 имеют гальваническую развязку с корпусом прибора до 1кВ. Токовый выход является универсальным, т.е. может работать в любом промышленном или пользовательском диапазоне при условиях:

- нижняя граница тока: от 0 до верхней границы;
- верхняя граница: от нижней границы до 24 мА.

Пороговые значения концентрации измеряемого компонента можно установить требуемым образом.

Процедура установки: см .п .8.4.3.

Допустимые параметры нагрузки: $R_{ТН\text{ нах}} = 15В / I_{\text{max}}$.

I_{max} - верхняя граница установленного тока, А.

ПРИМЕЧАНИЕ: Индуктивность нагрузки не более 10мГн. Превышение $R_{Т.Н.Мах}$ индицируется светодиодом "обрыв петли" при максимальном установленном токе петли.

ВНИМАНИЕ! Не рекомендуется подключать или отключать нагрузку токового выхода при включенном газоанализаторе. Запрещается подавать на контакты токового выхода напряжение.

В газоанализаторе предусмотрено до 4-х групп сухих контактов, которые устанавливаются по специальному требованию:

- тип сухих контактов: механическое реле с одной группой-

контактов. Рабочая функция и тип (нормально замкнуто или нормально разомкнуто) определяется заказчиком отдельно при оформлении заказа. Состояние "сухих контактов" дублируется визуально по светодиодам.

Контакты реле имеют гальваническую развязку с корпусом прибора (максимальное напряжение до 200В). Коммутируемая нагрузка: до 2А при напряжении до 28В (постоянного тока) и 120В (при переменном токе).

Разъем последовательного порта RS-232 однонаправленный (газоанализатор -> компьютер) предназначен для накопления и обработки результатов измерения на компьютере типа IBM PC. Порт использует стандартный разъем типа DRB-9FB (розетка), у которой задействованы контакты 5 (общий), 2 (данные). Для подключения к компьютеру используется стандартный модемный кабель.

1,3,4, 6 - 9 - не задействованы

2-выход данных;

5 и корпус разъема – общий

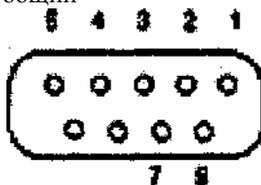


Рис. 5.27. Внешний вид разъема последовательного порта RS-232 (DB-9) (розетка, вид со стороны гнезд)

Формат отправки данных: 8 - N - I;

Биты - 8;

Стоп - 1

Четность - нет;

Скорость - 9 600 бит/с

ВНИМАНИЕ: выход последовательного порта RS-232 не имеет гальванической развязки с корпусом прибора! Так как компьютерные порты обычно не имеют гальванической развязки, то рекомендуется:

- заземлять прибор и компьютер в одной точке;
- осуществлять соединения и отсоединения при обесточенной аппаратуре.

Описание программного обеспечения дано приложении 3 настоящего РЭ.

Устройство и принцип работы калибратора:

В газоанализаторе использован источник калибровочной газовой смеси, основанной на диффузии двуокиси азота через полимерную мембрану, выполненную из фторопласта. Основой калибратора является термодиффузионный источник, представляющий собой емкость из нержавеющей стали с накладной гайкой, прижимающей фторопластовую мембрану (рис.5.28).

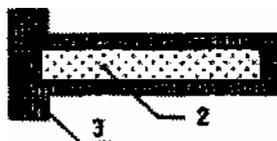


Рис. 5.28. Термодиффузионный источник двуокиси серы: 1—фторопластовая мембрана; 2—жидкая двуокись серы; 3—корпус источника

Емкость заполнена сжиженным газом, находящимся в равновесии со своими парами при заданной температуре. Скорость диффузии газа через мембрану определяется только толщиной мембраны и температурой диффузионного источника. Для поддержания постоянной температуры с погрешностью не более $\pm 0,1$ °С диффузионный источник помещается в термостат, продуваемый предварительно очищенным воздухом. Скорость диффузии газа через мембрану и расход воздуха через камеру термостата определяют концентрацию двуокиси серы в калибровочном газе. Эта величина является фиксированной для каждого газоанализатора. Термодиффузионный источник подлежит заполнению новой порцией сжиженного газа 1 раз в 12 месяцев, после чего обязательно проводится калибровка и проверка газоанализатора.

5.5.3. Меры безопасности

1. Газоанализатор соответствует требованиям безопасности по ГОСТу 12.2.007.0.

2. По способу защиты человека от поражения электрическим током газоанализатор соответствует классу 0 I по ГОСТу 12.2.007.0. При установке и эксплуатации корпус газоанализатора должен быть надежно заземлен, для чего на корпусе имеется винт заземления в соответствии с ГОСТом 2ПЗО.

3. Сопротивление изоляции между электрическими цепями питания и корпусом при температуре (20 ± 5) °С и относительной влажности не более 80 % и не менее 40 МОм.

4. Электрическая изоляция между электрическими цепями пита-

ния переменным током и корпусом при температуре $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности не более 80 % выдерживает в течение 1 мин. воздействие испытательного синусоидального напряжения 800В и частотой 50Гц

5. Установка газоанализатора должна производиться в вентилируемом, взрывобезопасном помещении. В воздухе помещения не должно быть примесей, вызывающих коррозию металлических частей и повреждение электрической изоляции.

6. Запрещается эксплуатация газоанализатора со снятыми панелями.

7. Техническое обслуживание и ремонт газоанализатора должны производиться при отключенном сетевом кабеле.

8. Запрещается разбирать термодиффузионный источник двуокиси азота или подвергать его ударным воздействиям.

5.5.4. Управление прибором

1. Управление программой прибора осуществляется с помощью четырех клавиш ("Е", "П", "↑", "↓") через многоуровневое меню, структура которого приведена ниже.

2. Назначение функциональных клавиш:

1) С помощью клавиш "↑", "↓" осуществляется:

- перемещение вверх/вниз по пунктам меню (подменю) (с прокруткой строк при необходимости);
- +/-1 к числу, в мигающем разряде (при редактировании числа).

Кроме того, клавиши "↑", "↓" могут иметь нестандартные функции в некоторых режимах (см.РЭ).

2) "П" - клавиша отмены команды (эквивалентно «Esc» для компьютера):

- выход из текущего пункта подменю в вышестоящее меню
- выход из самого верхнего подменю режимов сервиса (включающих режимы "Калибровка", "Настройка", "Заводская") в режим «Измерение»;
- выход из режима редактирования числа;
- в режиме "Измерение" принудительное нажатие клавиши "П" более 3 с приводит к переходу на следующий режим работы прибора (прогрев → установка нуля → калибровка → продувка → измерение →-прогрев...).

3) "Е" - клавиша подтверждений команды (эквивалентно «Enter» для компьютера):

- подтверждение выбора пункта меню;

- перемещение по разрядам при редактировании числа;
- подтверждение выбора параметров в строке меню. Кроме того (только для режима "Измерение");
- удержание «Е» нажатой более 3 с (звуковой сигнал); переход из режима "Измерение" в режим "Сервис" (включающий режимы "Калибровка", "Настройка", "Заводская");
- сочетание «Е+↑» и «Е+↓» (клавиша "↑" (или "↓") нажимается при ранее нажатой и удерживаемой в нажатом состоянии клавише "Е") имеет специальные функции:

«Е+t» - переводит газоанализатор из режима "Прогрев" в режим "Установка нуля".

«Е+J.» — переводит газоанализатор из любого режима работы в режим "Прогрев".

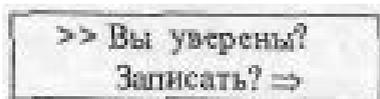
Режим редактирования числа:

В некоторых меню имеется возможность редактирования некоторых цифровых значений и параметров газоанализатора. Редактирование осуществляется следующим образом. При необходимости редактирования числа необходимо нажать клавишу "Е", при этом появится прямоугольный мигающий курсор в младшем числовом разряде. Редактирование цифры в разряде производится последовательными нажатиями клавиш "t", "4" (при этом происходит увеличение ("↑") или уменьшение ("↓") редактируемой цифры на единицу. Переход прямоугольного мигающего курсора в следующий цифровой разряд производится нажатием клавиши "Е". Это циклический процесс. Возврат к исходному состоянию производится нажатием клавиши "П".

ПРИМЕЧАНИЕ:

Изменяемые параметры могут приниматься только на текущий цикл работы газоанализатора (если в этом меню нет пункта "Запись" или не было подтверждения выбора этого пункта) или могут быть внесены в РПЗУ газоанализатора (если был выбран пункт "Запись")

При записи параметров через пункт "Запись" на дисплее появляется надпись:



Необходимо подтвердить свои действия, после чего (при условии записи) появится (в течение 10 с) сообщение "ДАННЫЕ СОХРАНЕНЫ". По истечении 10 с или при нажатии клавиши "Е" или "П" произойдет возврат в исходное меню,

Режимы работы газоанализатора. Газоанализатор имеет два основных режима работы:

- режим "Измерение": отображает текущее значение измеряемого компонента, например
NO: xxx мкг/м³,
NO₂: xxx мкг/м³,
- режим работы прибора ("Прогрев", "Установка нуля", "Калибровка", "Продувка", "Измерение"), а также сообщения об ошибках "есть ошибки"). В этом режиме действуют клавиши:
- удерживание клавиши «Е» более 3 с (по достижении звукового сигнала) производит выход в режим сервиса;
- удерживание клавиши «П» более 3 с (по достижении звукового сигнала): производит выход из любого меню в режим "Измерение";
- режим "Сервис", включающий режимы: "Калибровка", "Настройка", "Заводская" (см.п. 8).

ПРИМЕЧАНИЕ: режим "Заводская" относится только к установкам предприятия-изготовителя, пользователю запрещается вносить какие-либо изменения в программу.

5.5.5. Порядок работы

1. Установить газоанализатор на горизонтальную поверхность. Подключить сетевой кабель. Отвинтить крышку источника микропотока (ИМП) на передней панели, вставить термодиффузионный источник двуокиси азота (из комплекта ЗИП). Закрыть крышку ИМП. Включить газоанализатор нажатием тумблера "Сеть " на задней панели. На индикаторе появится надпись **Термостат не готов** которая исчезнет при достижении заданной температуры термостата. Нажать клавиши "Е + ↓" для перевода газоанализатора в режим "Прогрев". Перед измерением прогреть калибратор в течение 24 часов. По окончании измерения рекомендуется оставлять калибратор включенным.

ВНИМАНИЕ! Термодиффузионный источник заполнен жидким диоксидом азота под давлением. Запрещается разбирать источник, подвергать его ударным воздействиям, прикасаться к фторопластовой мембране. Хранить источник необходимо в капсуле при температуре + 10...+30 °С

2. При перерыве в работе необходимо извлекать термодиффузионный источник. Для этого необходимо отключить прибор от сети, отвинтить крышку ИМП, осторожно вынуть источник микропотока. Хранить источник согласно п. 1.

3. После прогрева калибратора для проведения измерений нажать клавиши "Е+↑". Если необходимо, на штуцер "Вход " газоанализатора надеть шланг для транспортировки анализируемого газа, при этом со-

противление на входе не должно превышать 500 мм.вод.ст.

4. Если необходимо, установить поплавков ротаметра калибратора Рк газоанализатора на черту вращением вентиля регулировки (расположенного на лицевой панели прибора), а поплавков ротаметра измерительного тракта Р., между двумя чертами. При непрерывной работе газоанализатора расход необходимо контролировать не реже 1 раза в 14 дней.

5. Измерение происходит циклически: после продувки 0-газом, длящейся 100 с, режима "Калибровки", длящегося 10 с, продувки измеряемым газом и собственно измерение концентрации анализируемых газов в пробе (NO_2 - в течение 20 с, $\text{NO} + \text{NO}_2$ - в течение 30 с), при этом на индикатор выводится показание измеренной концентрации. В течение всего цикла (160 с) на индикаторе и аналоговом выходе остается последнее измеренное значение концентрации анализируемых газов.

6. В газоанализаторе установлен твердотельный хемиллюминесцентный датчик, имеющий ограниченный срок службы, зависящий от концентрации окислов азота в анализируемом воздухе. При концентрации двуокси азота на уровне $0,05 \text{ мг/м}^3$ время работы датчика 300 ± 20 часов.

При падении чувствительности датчика ниже нормы, на индикаторе высвечивается "Проверьте сенсор и калибратор", измерение прекращается. Замена датчика производится согласно п. 7.2

ВНИМАНИЕ! При падении чувствительности датчика ниже нормы, на токовом выходе устанавливается максимальное значение

7. По окончании работы выключить прибор клавишами "Е+4", при этом прибор перейдет в режим "Прогрев". Калибратор рекомендуется оставить включенным, либо при длительном перерыве в работе отключить согласно п. 2. При полном отключении прибора следует нажать клавишу "Сеть" на задней панели газоанализатора и вынуть термодиффузионный источник микропотока.

8. Прибор комплектуется хемиллюминесцентными датчиками в количестве, достаточном для работы в течение года.

5.6. Газоанализатор оксида углерода

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с принципом действия, устройством газоанализатора моделей "К-100" (в дальнейшем - газоанализатор), правилами эксплуатации и технического обслуживания.

1. Газоанализатор К-100 предназначен для измерения массовых

концентраций оксида углерода в атмосферном воздухе.

2. Газоанализатор представляет собой автоматический прибор непрерывного действия и соответствует требованиям ГОСТа Р 50760-95:

- Конструктивно газоанализатор выполнен в одном блоке;
- Принцип действия - электрохимический;
- Вид климатического исполнения УХЛ4.2 по ГОСТу 14140;
- По защищенности от воздействия окружающей среды газоанализатор относится к группе ВЗ по ГОСТу 12997-84;
- По устойчивости к механическим воздействиям газоанализатор относится к группе L 1 по ГОСТу 12997-84;
- По устойчивости к воздействию атмосферного давления газоанализатор относится к группе Р1 в соответствии с ГОСТом 1297;
- По допускаемому углу наклона — независимый (группа НЗ).
- По времени прогрева газоанализатор относится к изделиям практически не требующим прогрева;
- По времени установления выходного сигнала - медленнодействующий.

3. Параметры, характеризующие условия эксплуатации газоанализатора:

- 1) диапазон температуры окружающего воздуха от +5 до +40 °С;
- 2) диапазон относительной влажности окружающего воздуха от 15 до 95 % (без конденсации влаги);
- 3) диапазон атмосферного давления, кПа 84 - 106,7 (630 + 800 мм.рт.ст);
электрическое питание от сети переменного тока напряжением (220^{+22}_{-33}) В, частотой (50 ± 1) Гц;
- 4) допустимая вибрация частотой 5+35 Гц и амплитудой не более 0,35 мм.
- 5) уровень промышленных радиопомех, воздействующих на газоанализатор, не должен превышать величин, предусмотренных "Общесоюзными нормами допускаемых радиопомех" (нормы 1-72-9-72).

4 Параметры анализируемой газовой смеси на входе в газоанализатор:

- 1) диапазон температуры газовой смеси, °С от +5 до +40 °С;
- 2) относительная влажность газовой смеси, до 95 % (без конденсации влаги);
- 3) диапазон атмосферного давления, кПа 84 - 106,7 (630 *

800 мм.рт.ст)

4) объемный расход газовой пробы на входе в газоанализатор $1,0 \pm 0,5$ дм³/мин

5} Состав анализируемой газовой среды с предельными значениями концентрации неизмеряемых компонентов:

- SO₂ не более 1,5 мг/м³
- NO не более 5,0 мг/м³
- O₃ не более 1,0 мг/м³
- CH₄ не более 100 мг/м³
- Cl₂ не более 0,5 мг/м³
- NO₂ не более 0,5 мг/м³
- H₂S не более 0,5 мг/м³
- H₂ не более 1,0 мг/м³
- пыль до 5 мг/м³.

Для анализа воздуха с параметрами, отличающимися от указанных, необходимо использовать устройство пробоподготовки, обеспечивающее требуемые параметры.

5 На работу газоанализатора не оказывают влияния:

- изменение влажности окружающего воздуха в пределах п. 1.3;
- изменение атмосферного давления в пределах п. 1.3;
- изменение пространственного положения при наклоне газоанализатора;
- наличие вибрации частотой 10-55 Гц, амплитудой до 0,15 мм;
- наличие внешнего переменного магнитного поля напряженностью до 400 А/м;
- наличие внешнего переменного электрического поля напряженностью до 10 В/м;
- изменение напряжения питания переменного тока от 187 до 242В;
- изменение частоты питающего напряжения от 49 до 51 Гц

5.6.1. Технические данные

1. Газоанализаторы позволяют измерять массовые концентрации оксида углерода в диапазоне 0 — 50,0 мг/м³. Номинальная цена единицы наименьшего разряда на жидкокристаллическом индикаторе газоанализатора 0,1 мг/м³.

2. Предел допускаемой основной приведенной погрешности (γ) на первом поддиапазоне 0-3,0 мг/м³ составляет ± 20 %. Предел до пускаемой основной относительной погрешности (δ) на втором поддиапазоне 3,0 - 50,0 мг/м³ составляет ± 20 %.

3. Габаритные размеры и масса газоанализатора не превышают: длина - 420 мм, ширина—485 мм, высота, - 135 мм, масса-8 кг.

4. Питание газоанализатора осуществляется от электрической сети переменного тока напряжением (220+22.33)- В и частотой (50±1) Гц

от внутреннего аккумулятора (время автономной работы 1 ч) и от 12В.

5. Мощность, потребляемая газоанализатором не превышает 50—12 ВА.

6. Время прогрева газоанализатора не превышает 10 мин.

7. Время установления показаний газоанализатора не превышает 2 мин.

8. Газоанализатор выдерживает перегрузку, вызванную двукратным превышением содержаний измеряемого компонента от верхнего предела измерений, в течение 5 мин. Время восстановления нормальной работы после снятия перегрузки не более 30 минут.

9. Допускаемое изменение выходного сигнала за 7 сут непрерывной работы не более 0,5 долей от основной погрешности.

10. Предел допускаемой вариации показаний не превышает 0,5 долей от основной погрешности.

11. Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения температуры окружающего воздуха (в долях от допускаемой основной погрешности на каждые 10°С отклонения от номинального значения температуры 20 °С в диапазоне 10-3 5 °С) не превышает 0,5 долей от основной погрешности.

12. Предел допускаемой дополнительной погрешности от суммарного влияния неизмеряемых компонентов не более 1,0 долей от основной погрешности.

13. Режим работы - непрерывный.

14. Газоанализатор в упаковке сохраняет свою работоспособность после испытаний на транспортную тряску с ускорением 30 м/с² при частоте ударов от 80 до 120 в минуту и взаимодействие следующих климатических факторов:

- температуре окружающего воздуха от минус 10 до плюс 50° С
- относительной влажности окружающего воздуха до $95 \pm 3 \%$ при температуре 35° С.

15. Газоанализатор относится к восстанавливаемым и ремонтируемым изделиям. Вероятность безотказной работы за 1000 ч не менее 0,95. Закон распределения безотказной работы - экспоненциальный. Параметром, по которому определяется отказ газоанализатора, является определение концентрации компонентов анализируемой пробы с погрешностью, превышающей указанную в п. 2. Средний ресурс работы газоанализатора до ремонта не менее 10 000 часов.

Средний срок службы газоанализатора до списания не менее 8 лет. (Срок службы электрохимического датчика не более 3 лет).

16. Газоанализатор не является источником промышленных помех, опасных излучений и выделений вредных веществ.

5.6.2. Состав газоанализатора

1 В состав газоанализатора входят: электрохимический датчик, предварительный усилитель напряжения, АЦП, микроконтроллер, блок питания, жидкокристаллический индикатор с активной подсветкой.

2. В комплект поставки входят:

- газоанализатор 1 шт.
- паспорт 1 экз.
- руководство по эксплуатации с приложением А Методика поверки 1 экз.
- дискета с программным обеспечением для работы RS232 1 шт. с
- фильтр угольный 1 шт.

Примечание: изготовитель оставляет за собой право замены комплектующих изделий, не ухудшая при этом метрологических и эксплуатационных характеристик газоанализатора.

5.6.3. Устройство и принцип работы газоанализатора

1. В основу работы газоанализатора положен электрохимический метод определения концентрации газа. Чувствительным элементом служит электрохимический сенсор. Измеряемый газ путем диффузии проникает в сенсор, инициирует на электродах датчика электрический ток, пропорциональный концентрации газа. Напряжение, снимаемое с нагрузочного резистора, усиливается и поступает на аналогово-цифровой преобразователь, затем пересчитывается и в цифровом виде индицируется на жидкокристаллическом индикаторе.

2. На передней панели газоанализатора (рис. 5.29) расположены жидкокристаллический индикатор и 4 кнопки управления.

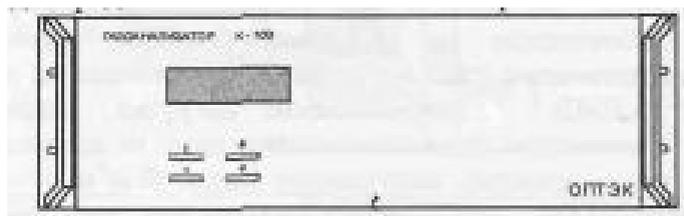


Рис. 5.29. Вид передней панели газоанализатора

На задней панели прибора (рис.5.30) расположены: разъем интерфейса RS 232, многофункциональный разъем аналогового выхода

XI, предохранитель, штуцера "Вход" и "Выход", сетевой выключатель "Вкл", сетевая колодка, клемма заземления. Вид задней панели прибора представлен на рис.30.

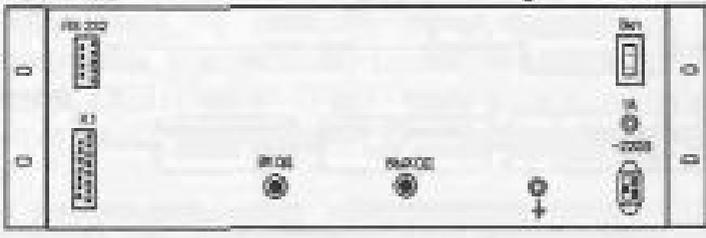


Рис. 5.30. Вид задней панели газоанализатора

3 Назначение контактов многофункционального разъема X 1 газоанализатора представлено в табл. 5.4.

Клеммная колодка XI - многофункциональная, с гальванической развязкой от корпуса прибора.

* На задней панели прибора установлены клеммы для подключения внешнего аккумулятора = 12 В.

Таблица 5.4

№ контакта	Назначение	
1	"+" токовой петли 0-5 мА или (4-20 мА) (см.п.6.7.7)	токовый выход линейный, пропорциональной концентрации
2	"-" токовой петли 0-5 мА или (4-20 мА) (см.п.6.7.7)	
3,4	Контроль обрыва токовой петли (светодиод индикации обрыва)	
5,6,7,8	Не задействованы	
9,10	Внешнее управление**	

* - Выход сигнализации обрыва предназначен для работы со светодиодом. Подключать другую регистрирующую аппаратуру к этим контактам не рекомендуется.

** Контакты 9,10 служат для подключения управляющих устройств, работающих на замыкание (кнопка, "сухие контакты" реле). Задействованы только по особому требованию при заказе.

ПРИМЕЧАНИЕ: Сопротивление нагрузки, подключаемой к разьему токового выхода газоанализатора, не должно превышать 500 Ом, индуктивность нагрузки не более 10 мГн.

ВНИМАНИЕ! Не рекомендуется подключать или отключать нагрузку токового выхода при включенном приборе. Запрещается пода-

вать на контакты токового выхода напряжение.

5. Пневматическая блок-схема газоанализатора изображена на рис. 5.31.

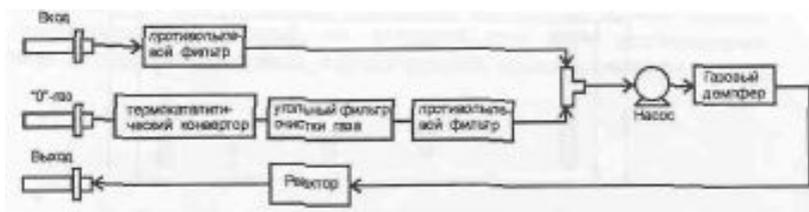


Рис. 5.31. Пневматическая блок-схема газоанализатора

Анализируемый воздух, пройдя через штуцер "Вход", очищается от пыли и затем в режиме "Измерение" с помощью насоса прокачивается через реактор, где установлен электрохимический датчик, и через штуцер "Выход" сбрасывается наружу.

В режиме "Установка нуля" клапан переключает газовый поток на фильтр "0-газа" (состоящий из термокаталитического конвертора и угольного фильтра очистки), в течение 600 с происходит установка нуля. Затем клапан снова переключается газовый поток на штуцер "Вход".

5. Электрическая блок-схема газоанализатора изображена на рис. 5.32. Чувствительным элементом газоанализатора является электрохимический датчик. Электрохимический датчик конструктивно объединен с платой предварительного усилителя и компенсационным усилителем. После усиления сигнал поступает в модуль АЦП через схему непрерывного питания, где осуществляется его нормировка и компенсация фоновых токов сенсора.

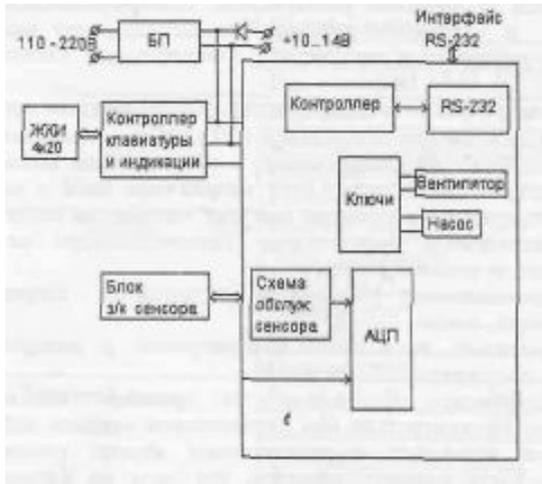


Рисунок 5.32. Электрическая блок-схема газоанализатора:
 АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ЖКИ- жидкокристаллический индикатор
 БП блок- питания

Встроенный микроконтролёр обеспечивает сбор данных АЦП, вычисление концентрации CO , вывод показаний и диагностических сообщений на индикатор и внешние устройства.

5.6.4. Меры безопасности

1. К работе с газоанализатором допускаются лица, ознакомленные с руководством по эксплуатации.
 2. При работе с газоанализатором должны выполняться "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителя", утвержденные Госэнергонадзором СССР 12.04.1969г.
 3. Электрическая изоляция между электрическими цепями питания и корпусом при температуре $(20 \pm 5)^\circ C$ и относительной влажности не более 80 % выдерживает в течение 1 мин воздействие испытательного синусоидального напряжения 800 В и частотой 50 Гц. Сопротивление изоляции при этих условиях не менее 40 МОм.
 4. Запрещается эксплуатация газоанализатора со снятыми верхней и нижней панелями.
 5. Газоанализатор не является источником загрязнения окружающей среды.
- Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей

зоны составляет: СО — 20 мг/м .

7. Техническое обслуживание и ремонт газоанализатора должны производиться при отключенном сетевом кабеле.

8. При установке и эксплуатации корпус газоанализатора должен быть надежно заземлен, для чего на корпусе имеется винт заземления в соответствии с ГОСТом 21130.

5.6.5. Управление прибором

1. Управление программой прибора осуществляется с помощью четырех клавиш (Е, П, ↑, ↓) через двухуровневое меню, структура которого приведена ниже.

2. Всего прибор распознает шесть комбинаций нажатия клавиш: П, ↑, ↓, Е + ↑, Е + ↓, Е + П (клавиша Е самостоятельного значения не имеет). Сочетание Е + Х (где Х = ↑, ↓, П) означает, что при нажатой и удерживаемой клавише Е, нужно нажать и отпустить клавишу Х, Кроме того, если удерживать нажатой клавишу или комбинацию дольше 0.5 сек, генерируется последовательность нажатий с периодом 0.25 сек.

3. Структура меню прибора К-100

Главное меню	Вложенные меню
Измерение	-
Установка нуля	-
	Усиление для СО Калибровка по СО
	Вывод кап. записей
	Все сенсоры
	Протокол
	Свободная память
	Стирание памяти
	Распечатка
	Подсвет дисплея [+]
	Часы, календарь
	Вывод на РС [+]
	Полный тест
	О приборе
	О программе
	0... 5мА[+]
	4... 20мА[]
Токовый выход —>	Токовый выход 0 %
	Токовый выход 20 %
	Токовый выход 100 %
	Длина диапазона
	Начало диапазона
Авторежим	-

Позиции главного меню ИЗМЕРЕНИЕ, УСТАНОВКА НУЛЯ, АВТОРЕЖИМ являются конечными (самостоятельными), остальные имеют вложенные меню, о чем напоминают символы —>

4. На 4- строчном дисплее прибора в режиме меню в нижней строке всегда выводится название текущего меню, а в трех верхних - три последовательных позиции его:

» Измерение	Усиление для СО
Установка нуля	Калибровка по СО
Калибровка —>	«Возврат
ГЛАВНОЕ МЕНЮ	КАЛИБРОВКА

Выбранная позиция меню помечена курсором - мигающим символом » в крайней левой позиции строки дисплея. Перемещение курсора по позициям меню (с прокруткой строк при необходимости) производится нажатием клавиш ↑ и ↓. Переход во вложенное меню из главного производится нажатием клавиши П на выбранной позиции, возврат в главное из вложенного - нажатием клавиши П на строке ВОЗВРАТ, которая есть в каждом вложенном меню (всегда последняя).

Кроме того, для быстрого перемещения по меню служат комбинации клавиш: E+↑ - перемещение курсора в первую позицию текущего меню, E+↓ - перемещение курсора в последнюю позицию текущего меню, E+П - перемещение курсора в первую позицию главного меню.

Исполнение выбранной позиции меню (запуск назначенной ему процедуры) осуществляется клавишей П.

После завершения любой процедуры происходит возврат в режим меню.

5. Списки выбора и переключатели

Пункты меню, имеющие в правой части символы (), предназначены для выбора «ровно одного из нескольких». Нужный пункт выбирается нажатием П и помечается символом * в скобках.

Пункты меню, имеющие в правой части символы [], предназначены для выбора между состояниями «включено — выключено». Переключение производится нажатием П, «включенное» состояние помечается символом "+" в скобках.

6. Ввод чисел

В некоторых процедурах требуется ввод новых числовых значений. Это делается следующим образом: в одной из позиций вводимого числа появляется прямоугольный мигающий курсор. Символ в позиции курсора меняется при нажатии комбинации клавиш E+↑ и E+↓ (в порядке 0, 1, 2...9 и наоборот). Курсор по позициям вводимых чисел перемещается вправо и влево при нажатии клавиш ↑ и ↓.

Подтверждение ввода и продолжение процедуры производится нажатием комбинации клавиш Е+П, отмена ввода и отказ от продолжения - нажатием клавиши П.

7. Назначение пунктов меню

Измерение

Основной режим работы прибора. При выборе и запуске этого пункта на дисплее появляется сообщение ИЗМЕРЕНИЕ, затем экран с результатами. Вид экрана:

СО	xx.x	мг/м ³	- Текущая концентрация СО
Зав	12:00	08/07	- вид матрицы, время и дата

Для начала измерений следует поместить газоанализатор а анализируемую газовую среду или надеть на штуцер "Вход" шланг для подвода газовой пробы.

В конце каждого цикла измерения текст последней строки меняется на Расчет, одновременно производится вывод данных через последовательный порт.

Имеется возможность записи текущих результатов, времени и даты в РПЗУ (ре-программируемое запоминающее устройство) прибора. Для этого следует нажать комбинацию Е+П, в нижней строке на 5 с появится надпись Записано под N #### или Переписан N ####, если имело место переполнение РПЗУ. Подробнее об этой возможности см. в описании пункта ПАМЯТЬ.

Завершение режима производится клавишей П.

Установка нуля

Эта процедура автоматически запускается после включения прибора, а также после непрерывной работы более 10 часов. При выборе и запуске этой позиции на дисплее на 6 мин появляется надпись «разогрев конвертора», а затем в течение 4 мин- «продувка нуль - газом». Прибор готов к работе.

После естественного окончания продувки программа измеряет и запоминает уровень сигнала сенсора, от которого впоследствии будет вестись отсчет показаний, о чем сообщает строка УСТАНОВКА НУЛЯ.

Калибровка

При калибровке (точнее, градуировании) на вход прибора подаются бинарную поверочную газозоудную смесь (ПГС) с известной концентрацией СО и измеряют сигнал сенсора. Установившиеся значения этого сигнала и предварительно введенное значение Концентрации ПГС (а также дата и время калибровки) запоминаются в РПЗУ прибора

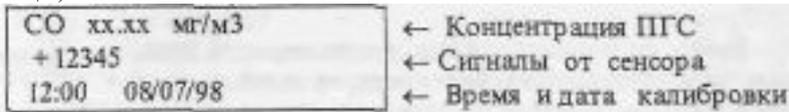
и используются в дальнейшем для расчета текущей концентрации в режиме ИЗМЕРЕНИЕ.

1 Усиление для ... (информация для специалистов) Служит для выбора коэффициента передачи предварительного усилителя АЦП и количества усредняемых результатов АЦП индивидуально для сенсора.

2 Калибровка по СО

Выбор этого пункта меню запускает процедуру собственно калибровки по СО.

Вначале на дисплей выводятся действующие (запомненные при последней калибровке) значения с возможностью ввода нового значения концентрации (сигналы от сенсора приводятся в единицах счета АЦП).



3. Ввод нового числового значения концентрации осуществляется так, как описано в п. 6.

При подтверждение ввода нажатием комбинации клавиш Е+П в последней строке появляется название подрежима: Сбор данных, а числовые величины во второй строке принимают актуальные значения. После достижения сигналом сенсора установившегося значения следует подтвердить факт обновления калибровочных данных нажатием комбинации клавиш Е+П (в последней строке появляется сообщение Завершено). Отказ от обновления калибровочных данных - по-прежнему нажатием клавиши П (в последней строке появится сообщение Отменено).

4. Вывод калибровочных записей

Выводит через последовательный порт содержимое заводской калибровочной записи. Подробнее см. п. 4.

5. Все сенсоры

Выводит через последовательный порт показания АЦП для обоих электродов дифференциального сенсора. Режим полезен для проверки работоспособности сенсора.

Память

В приборе имеется энергонезависимое РПЗУ данных, куда в режиме ИЗМЕРЕНИЕ можно записывать текущие результаты (запоминаются концентрация, температура, время и дата измерения - см. выше). Память организована по принципу кольцевого буфера: при переполнении каждая новая запись производится на место наиболее старой, естественно, с уничтожением последней. На переполнение РПЗУ

указывает текст подтверждения записи (ПЕРЕПИСАН N.. вместо Записано под N).

1. Стирание памяти

Эта операция удаляет все ранее сделанные записи, заполняя их нулями.

В случае ее выбора на дисплее появится вопрос Стирать? \ (Е+П - да, П - нет), на который следует ответить, как указано. В результате появится сообщение Память данных стерта или Отменено соответственно.

2. Свободная память

Процедура сообщает общий объем памяти (он зависит от типа, установленного РПЗУ, и количества запоминаемых результатов, в данном приборе 255 страниц), количество занятых и свободных страниц (из расчета одна запись на странице). Если последнее число равно нулю, то это значит, что имело место переполнение РПЗУ, и дальнейшая запись производится поверх наиболее старой (см. выше).

3. Протокол

Вывод на дисплей данных, сохраненных в РПЗУ (протокола измерений).

Вид информации, которая заносится в память газоанализатора:

- номер измерения;
- концентрация СО;
- время измерений (часы : минуты);
- дата измерения (число : месяц).

При вызове процедуры выводится последняя сделанная запись. В статусной строке приведены номер записи, режим калибровки (3), время и дата записи. "Листание" записей производится комбинациями клавиш Е+↑ - вперед и Е+↓. - назад. Нажатие комбинации клавиш Е+П запускает режим ввода номера произвольной записи (см. п. 6.6.). Выход из процедуры Протокол - нажатием П.

4. Распечатка

Процедура выводит сохраненные данные через последовательный порт. После запуска она выдает запрос: Выводить все (Е+↓, \ только до текущей \ записи (Е+↑) \ или отменить (П) ?. После положительного решения выводится: Запустите на \ компьютере программу \ приема протокола \ и нажмите П, после чего прибор начинает передачу, не проверяя, подготовлен ли компьютер (см. п.8).

5. Сервис

В этом разделе меню собраны вспомогательные операции.

Часы, календарь

Служит для коррекции показаний встроенной микросхемы часов

реального времени. Независимая работа этой микросхемы поддерживается литиевой батареей. В случае ее разряда, данная операция может требоваться при каждом включении прибора (в частности, для обеспечения правильной записи даты и времени в протокол), при нормальном состоянии батареи нужна лишь периодическая коррекция часов.

После запуска процедуры на дисплее появляется надпись: Установка часов календаря, а в верхней строке - текущие время и дата в формате ЧЧ:ММ ДД/ММ/ГГ (часы, минуты, день, месяц, год), причем в позиции первой цифры окажется мигающий курсор. Подтверждение ввода также производится нажатием комбинации клавиш E + П (именно с этого момента начинается отсчет "нового времени"), отмена ввода и отказ от сделанных изменений - нажатием клавиши П.

Подсветка дисплея

Включает-выключает подсветку дисплея.

Полный тест

Запускает процедуру тестирования всех узлов прибора: РПЗУ калибровочных констант, РПЗУ данных, АЦП, часов (тесты ПЗУ программы и внешнего ОЗУ производятся только при старте программы). На дисплее появляются сообщения Тест ХХХ и в зависимости от результатов тестов появляются сообщения: Тест пройден или Тест не пройден. При ненахождении ошибок процедура завершается сообщением ТЕСТЫ ПРОЙДЕНЫ УСПЕШНО, в противном случае программа сообщает НЕ ВСЕ ТЕСТЫ ПРОЙДЕНЫ, и ожидает подтверждения НАЖМИТЕ П.

Фатальность возможных ошибок различна. Ошибки ПЗУ программы или внешнего ОЗУ, даже если они и не приводят к сбоям или зависаниям программы, делают недостоверными результаты ее работы (поэтому при непрохождении их работа программы блокируется). При ошибке РПЗУ калибровочных констант или АЦП исключается возможность измерений, но возможно обращение к протокольным записям, а при ошибке протокольного РПЗУ, наоборот, сохраняется режим ИЗМЕРЕНИЕ, хотя и без записи результатов в память. Ошибка часов влияет только на их собственные показания.

Таким образом, анализируя результаты тестирования, можно оценить степень пригодности прибора до отправки его в ремонт.

Вывод на РС

Включает-выключает необязательный вывод на РС в режимах ИЗМЕРЕНИЕ, УСТАНОВКА НУЛЯ. КАЛИБРОВКА.. На вывод данных в режимах ПРОТОКОЛ, РАСПЕЧАТКА и КАЛИБРОВКА ВЫВОД КАЛИБРОВОЧНЫХ ЗАПИСЕЙ этот пункт не влияет. Включение вывода уменьшает период измерений.

О приборе

На 5 с выводит на дисплей информацию: название и модель прибора, его заводской номер, сведения о заказчике прибора, если они были доступны на момент инсталляции программы.

О программе

На 5 с выводит на дисплей информацию: версия инсталлированного программного обеспечения, дата и время последней компиляции программы и копирайт программиста.

Назначение пунктов "Токовый выход", "Начало диапазона" и "Длина диапазона" рассмотрено в ниже.

Авторежим

1. Авторежим прибора состоит из повторяющихся с периодом Ю ч УСТАНОВКИ НУЛЯ (10 мин) и собственно ИЗМЕРЕНИЯ. Досрочный переход в режим УСТАНОВКИ НУЛЯ в АВТОРЕЖИМЕ производится комбинацией клавиш E+↓.

Выход из АВТОРЕЖИМА производится нажатием клавиши П с подтверждением в течение 10 с комбинацией клавиш E+П.

2. В АВТОРЕЖИМЕ прибора, на время УСТАНОВКИ НУЛЯ, на токовом выходе сохраняется последнее измеренное значение.

Токовый выход

Диапазон показаний прибора соответствует полному диапазону токового выхода 0..5 мА или 4,..20мА выбирается пользователем:

Пункты меню, имеющие в правой части символы [], предназначены для выбора между состояниями «включено - выключено». Переключение производится нажатием П, «включенное» состояние помечается символом "+" в скобках.

1. Пункты "Начало диапазона" и "Длина диапазона" могут устанавливаться пользователем по отдельности:

- начало диапазона C_0 (-50 .. 0 мг/м³) (всегда $C_0 < 0$);
- длина диапазона ΔC (10 ..50 мг/м³);
- При этом при выборе диапазона токового выхода 0...5 мА: току 0 мА соответствует показание C_0 , току 5 мА - показание $C_0 + \Delta C$.

Полная формула перевода выходного тока в показания прибора такова:

$$C(\text{мг/м}^3) = C_0 + \Delta C \cdot \frac{I(\text{мА})}{5}$$

- при выборе диапазона токового выхода 4...20 мА: току 4мА соответствует показание C_0 , току 20 мА - показание $C_0 + \Delta C$.

Полная формула перевода выходного тока в показания прибора такова

$$C(\text{мг/м}^3) = C_0 + \Delta C \cdot \frac{I(\text{мА}) - 4}{16}$$

В меню СЕРВИС пункты Начало диапазона и Длина диапазона предназначены для установок величин C_0 и ΔC соответственно.

2. Три пункта Токового выхода 0 % 20 % 100 % от установленного токового диапазона устанавливают указанный ток для проверки работоспособности токового выхода.

5.6.6. Использование компьютера

1. Для вывода результатов измерений на компьютер возможно использование либо программы Hyper Terminal, либо программы Recv_com.

2. При работе компьютера в среде Windows 95/98 для приема информации от прибора К-100 (через последовательный порт RS 232) удобна программа Hyper Terminal. Она обычно находится в папке Программы \ Стандартные \ Связь \ Hyper Terminal (файл Hypertrm.exe). (Если программа Hyper Terminal не установлена на компьютере, то ее устанавливают стандартным образом через установку Windows, используя команду "применить").

5.7. Хемилюминесцентный газоанализатор диоксида серы

1. Газоанализатор "С-310" предназначен для измерения массовой концентрации двуокиси серы в атмосферном воздухе. Газоанализатор представляет собой автоматический показывающий прибор непрерывного действия.

Газоанализатор соответствует требованиям ГОСТа Р 50760-95

- Конструктивно газоанализатор выполнен в одном блоке. Принцип действия - Хемилюминесцентный. Вид климатического исполнения УХЛ4.2 по ГОСТ 15 150;

- По защищенности от воздействия окружающей среды газоанализатор относится к группе В1 по ГОСТ 12997;

- По устойчивости к механическим воздействиям газоанализатор относится к группе L1 по ГОСТ 12997;

- По устойчивости к воздействию атмосферного давления газоанализатор относится к группе Р1 в соответствии с ГОСТом 12977;

По допускаемому углу наклона - зависимый (группа 3 по ГОСТ 13320).

По времени прогрева газоанализатор относится к изделиям с длительным временем прогрева (группа П-3 по ГОСТу 13320);

По времени установления выходного сигнала — с большой инерционностью (группа И-4 по ГОСТу 13320).

2. Уровень промышленных радиопомех, воздействующих на газоанализатор, не должен превышать величин, предусмотренных "Общесоюзными нормами допускаемых радиопомех" (нормы 1-72-9-72).

5.7.1. Технические данные

1 Газоанализатор позволяет измерять содержание двуокиси серы в анализируемом воздухе в диапазоне массовых концентраций от 0 до 2000 мкг/м³. Номинальная цена единицы наименьшего разряда на жидкокристаллическом индикаторе газоанализатора 1 мкг/м.

Газоанализатор имеет следующие виды выходных сигналов:

- токовый, аналоговый;
- последовательный интерфейс-K8-232.

Выходные сигналы газоанализаторов, предназначенные для информационной связи с другими изделиями, соответствуют ГОСТу 26.011-81.

Функция преобразования выходного сигнала - линейная, пропорциональная.

2. Предел допускаемой основной приведенной погрешности анализатора (y) в диапазоне 0—50 мкг/м³ составляет $\pm 25\%$

Предел допускаемой основной относительной погрешности (δ) в диапазоне 50 - 2000 мкг/м³ составляет $\pm 25\%$.

Предел допускаемой вариации (Вд) показаний $\pm 0,5$ долей от основной погрешности.

Допускаемое изменение выходного сигнала за 7 суток непрерывной работы не более $\pm 0,5$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения температуры окружающего воздуха (в долях от допускаемой основной погрешности на каждые 10°С отклонения от номинального значения температуры 20°С в диапазоне 10 — 35°С) не превышает $\pm 0,5$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения влажности (от 15 до 95 %) не более $\pm 0,2$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения давления (от 84 до 106,7 кПа) не более $\pm 0,2$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения напряжения питания (в пределах от 187 до 242В) не превышает $\pm 0,3$ долей от основной погрешности.

Предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения частоты питающего напряжения (от 49 до 51 Гц) не превышает $\pm 0,3$

долей от основной погрешности.

3. Для выполнения измерений газоанализатор должен устанавливаться с отклонением верхней плоскости корпуса от горизонтали, не превышающим 5° в любом направлении.

4. Газоанализатор должен эксплуатироваться при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$;
- относительная влажность окружающего воздуха до 98 %;
- атмосферное давление от 630 до 800 мм.рт.ст;
- электрическое питание от сети переменного тока напряжением (220^{+22}_{-33}) В, частотой (50 ± 1) Гц;
- допустимая вибрация частотой 10-55 Гц и амплитудой не более 0,15 мм.

5. Предельные значения концентрации неизмеряемых компонентов в анализируемой газовой смеси должны быть следующими:

- Cl_2 не более $0,1 \text{ мг/м}^3$;
- H_2S не более $0,5 \text{ мг/м}^3$;
- CO не более $50,0 \text{ мг/м}^3$;
- NO_2 не более $0,5 \text{ мг/м}^3$;
- NO не более $1,0 \text{ мг/м}^3$;
- O_3 не более $0,2 \text{ мг/м}^3$;
- атмосферная пыль не более 5 мг/м^3 .

Предел дополнительной суммарной погрешности от влияния неизмеряемых компонентов составляет $\pm 1,0$ долей от основной погрешности.

6. Параметры анализируемой газовой смеси на входе в газоанализатор:

- температура от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$;
- давление от 630 до 800 мм.рт.ст. (от 93.3 до 106.7 кПа);
- относительная влажность до 98 %.
- предельные значения концентрации неизменяемых компонентов в анализируемой газовой смеси в соответствии с п. 5.

Для анализа воздуха с параметрами, отличающимися от указанных, необходимо использовать устройство пробоподготовки, обеспечивающее требуемые параметры.

7. Объемный расход газовой пробы на входе в газоанализатор $1.0 \pm 0,2$ л/мин;

8. Газоанализатор не является источником промышленных помех, опасных излучений и выделений вредных веществ;

9. Габаритные размеры газоанализатора не превышают $485 \times 420 \times 135$ мм, масса не более 10 кг.

10. Газоанализатор выдерживает перегрузку, вызванную превышением содержания измеряемого компонента на 100 % за пределы измерений в течение 5 мин. Время восстановления нормальной работы после снятия перегрузки не более 30 минут.

11. Время прогрева газоанализатора не более 24 часов.

12. Время установления показаний не более 5 мин.

13. Мощность, потребляемая газоанализатором, не более 50 ВА.

14. Средняя наработка на отказ не менее 10000 ч. Газоанализатор относится к восстанавливаемым ремонтируемым изделиям. Ремонт производится силами организации изготовителя.

5.7.2. Устройство и принцип работы газоанализатора Пневматическая схема газоанализатора представлена на рис. 5.33.

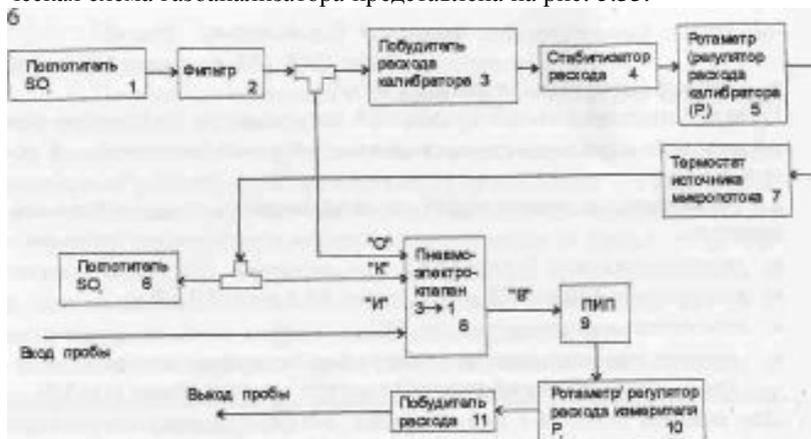


Рис. 5.33. Пневматическая схема газоанализатора

1. Газоанализатор представляет собой газовый компаратор, в основу работы которого положен хемилюминесцентный метод определения концентрации двуокиси серы. Сущность этого метода состоит в том, что химическое взаимодействие молекул двуокиси серы с датчиком сопровождается люминесценцией. Интенсивность хемилюминесценции пропорциональна содержанию двуокиси серы в анализируемой газовой смеси.

2. Пневматическая схема газоанализатора представлена на рис. 5.32. Газоанализатор имеет циклический характер работы. Работа прибора начинается с продувки хемилюминесцентного датчика, находящегося в первичном измерительном преобразователе (ПИП) (9) "нуле-

вым газом", т.е. не содержащим двуокись серы. Для этого атмосферный воздух через поглотитель SO₂ (1) и фильтр (2) попадает на вход ("О") блока электроклапанов (8). В режиме продувки вход "О" электроклапана (8) соединен с выходом "В", а входы "К", "И" закрыты. С выхода "В" электропневмоклапана (8) нулевой газ попадает в ПИП (9). Побудитель расхода измерителя (11) обеспечивает прокачку газа с заданным расходом во всех циклах работы прибора. Расход контролируется ротаметром-регулятором (10). Продувка нулевым газом длится 120 с. После окончания продувки начинается калибровка, которая длится 7 сек. Атмосферный воздух через поглотитель (1) и фильтр (2) прокачивается через термостат калибратора (7), где находится термостатированный источник SO₂, представляющий собой металлическую емкость, заполненную жидким SO₂ с фторопластовой мембраной, через которую идет диффузия двуокиси серы в газовый поток. Расход газа при калибровке обеспечивается побудителем расхода калибратора (3(1)), стабилизатором расхода (4) и контролируется ротаметром-регулятором (5). Далее калибровочный газ попадает в ПИП (9), где формируется калибровочный сигнал. В этом режиме вход "К" электроклапана (8) соединен с выходом "В", входы "О" и "И" закрыты. По окончании режима калибровки следует режим продувки анализируемым газом и собственно режим измерения, длящийся 15 с.

В конце каждого измерения на индикатор выводятся показания измеренной концентрации.

3. Основные органы управления газоанализатора находятся на его лицевой панели. Это ротаметры калибратора и измерительного канала, вентили регулировки расходов анализируемого воздуха и калибровочного газа "К" и "И", крышка ИМП (источника микропотока) и реактора, табло индикатора, управляющие кнопки "Е" и "Л", "↑", "↓".

Вид передней панели газоанализатора представлен на рис. 5.34.

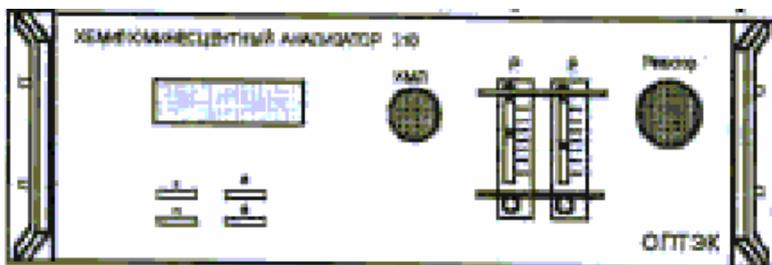


Рис. 5.34. Вид передней панели газоанализатора

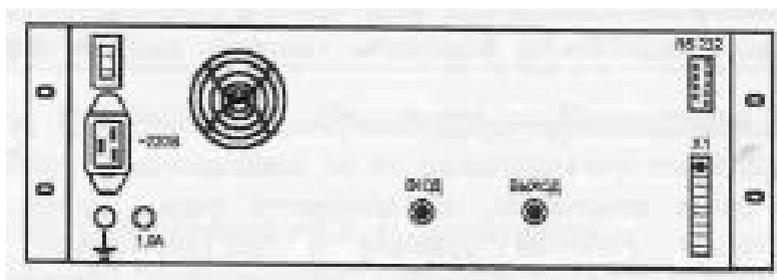


Рис. 5.35. Вид задней панели газоанализатора

4. На задней панели газоанализатора (рис. 5.35) расположены сетевой разъем 220В, тумблер "ВКЛ", клемма заземления, универсальный разъем (XI), 2 штуцера "Вход" и "Выход", разъем по следовательного порта RS-232 (гнездо DRB-9FB).

5. Назначение контактов многофункционального разъема XI
Разъем XI — многофункциональный, с гальванической развязкой от корпуса прибора.

Номер контакта	Назначение	Светодиоды индикации
1	"+" токовой петли 4-20мА SO ₂ ;	контроль обрыва токовой петли SO ₂
2	"- " токовой петли 4 20 мА SO ₂	
3- 10	Не задействованы	

Токовый выход линейный, пропорциональный концентрации:
Установка предприятия-производителя:

4 мА - концентрация-ноль, мкг/м³;

20 мА - концентрация 2000 мкг/м³.

Контакты 1-2 разъема XI имеют гальваническую развязку с корпусом прибора до 1кВ. Токовый выход является универсальным, т.е. может работать в любом промышленном или пользовательском диапазоне при условиях:

- нижняя граница тока: от 0 до верхней границы;
- верхняя граница: от нижней границы до 24 мА.

Пороговые значения концентрации измеряемого компонента можно установить требуемым образом.

Допустимые параметры нагрузки: $R_{т.н.маx} = 15B/I_{маx}$;

$I_{маx}$ - верхняя граница установленного тока, А.

ПРИМЕЧАНИЕ: Индуктивность нагрузки не более 10мГн. Превышение $R_{т.н.маx}$ индицируется светодиодом "обрыв петли" при максимальном установленном токе петли.

ВНИМАНИЕ! Не рекомендуется подключать или отключать нагрузку токового выхода при включенном газоанализаторе. Запрещается подавать на контакты токового выхода напряжение.

В газоанализаторе предусмотрено до 4-х групп сухих контактов, которые устанавливаются по специальному требованию.

- тип сухих контактов: механическое реле с одной группой контактов. Рабочая функция и тип (нормально замкнутого или нормально разомкнутого) определяется заказчиком при оформлении заказа. Состояние "сухих контактов" дублируется визуально по светодиодам.

Контакты имеют гальваническую развязку с корпусом прибора (максимальное напряжение до 200 В).

Коммутируемая нагрузка: до 2А при напряжении до 28В (постоянного тока) и 120В (при переменном токе).

1,3, 4, 6 —9 - не задействованы;

2 - выход данных;

5 и корпус разъема - общий.



Рис. 5.36. Внешний вид разъема последовательного порта RS-232 (DB-9) (розетка, вид со стороны гнезд)

6. Разъем последовательного порта RS-232 - однонаправленный (газоанализатор -> компьютер); предназначен для накопления и обработки результатов измерения на компьютере типа IBM PC. Порт использует стандартный разъем типа DRB-9FB (розетка), у которого задействованы контакты 5 (общий), 2 (данные). Для подключения к компьютеру используется стандартный модемный кабель.

Формат посылки данных: 8 - N - 1;

Биты -8;

Стоп- 1;

Четность - нет;

Скорость - 9 600 бит/с.

ВНИМАНИЕ: выход последовательного порта RS-232 не имеет гальванической развязки с корпусом прибора! Так как компьютерные порты обычно не имеют гальванической развязки, то рекомендуется:

- заземлять прибор и компьютер в одной точке;
- осуществлять соединения и отсоединения при обесточенной аппаратуре.

Описание программного обеспечения см. приложении 3 настоящего РЭ.

7. Устройство и принцип работы калибратора

В газоанализаторе использован источник калибровочной газовой смеси, основанной на диффузии двуокиси серы через полимерную мембрану, выполненную из фторопласта. Основой калибратора является термодиффузионный источник, представляющий собой емкость из нержавеющей стали с накидной гайкой, прижимающей фторопластовую мембрану (рис.5.37).

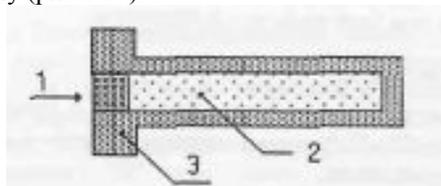


Рис. 5.37. Термодиффузионный источник двуокиси серы: 1-фторопластовая мембрана; 2-жидкая двуокись серы; 3-корпус источника

Емкость заполнена сжиженным газом, находящимся в равновесии со своими парами при заданной температуре. Скорость диффузии газа через мембрану определяется только толщиной мембраны и температурой диффузионного источника. Для поддержания постоянной температуры с погрешностью не более $\pm 0,1$ °С, диффузионный источник помещается в термостат, продуваемый предварительно очи-

ценным воздухом. Скорость диффузии газа через мембрану и расход воздуха через камеру термостата определяют концентрацию двуокиси серы в калибровочном газе. Эта величина является фиксированной для каждого газоанализатора. Термодиффузионный источник подлежит заполнению новой порцией сжиженного газа 1 раз в 12 месяцев, после чего обязательно проводится калибровка и поверка газоанализатора.

5.7.3. Меры безопасности

1. Газоанализатор соответствует требованиям безопасности по ГОСТу 12.2.007.0.

2. По способу защиты человека от поражения электрическим током газоанализатор соответствует классу О 1 по ГОСТ 12.2.007.0. При установке и эксплуатации корпус газоанализатора должен быть надежно заземлен, для чего на корпусе имеется винт заземления в соответствии с ГОСТом 2ПЗО.

3. Сопротивление изоляции между электрическими цепями питания и корпусом присутствует возникает при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности не более 80% не менее 40 МОм.

4. Электрическая изоляция между электрическими цепями питания переменным током и корпусом при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности не более 80 % выдерживает в течение 1 мин. воздействие испытательного синусоидального напряжения 800В и частотой 50Гц

Установка газоанализатора должна производиться в вентилируемом, взрывобезопасном помещении. В воздухе помещения не должно быть примесей, вызывающих коррозию металлических частей и повреждение электрической изоляции.

6. Запрещается эксплуатация газоанализатора со снятыми панелями.

7. Техническое обслуживание и ремонт газоанализатора должны производиться при отключенном сетевом кабеле.

8. Запрещается разбирать термодиффузионный источник двуокиси серы или подвергать его ударным воздействиям.

5.7.4. Управление прибором

1. Управление программой прибора осуществляется с помощью 4-х клавиш ("E", "П", "↑", "↓") через многоуровневое меню, структура которого приведена ниже.

2. Назначение функциональных клавиш:

1) с помощью клавиш "↑", "↓" осуществляется:

- перемещение вверх/вниз по пунктам меню (подменю) (с прокруткой строк при необходимости);
- +/-1 к числу, в мигающем разряде (при редактировании числа).

Кроме того, клавиши "↑", "↓" могут иметь нестандартные функции в некоторых режимах (см. РЭ);

2) "П" - клавиша отмены команды (эквивалентно «Esc» для компьютера):

- выход из текущего пункта подменю в вышестоящее меню;
- выход из самого верхнего подменю режимов сервиса (включающих режимы "Калибровка", "Настройка", "Заводская") в режим «Измерение»;
- выход из режима редактирования числа;
- в режиме "Измерение" принудительное нажатие клавиши "П" более 3 с приводит к переходу на следующий режим работы прибора (прогрев → установка нуля → калибровка → продувка → измерение →-прогрев...).

3) "Е" - клавиша подтверждений команды (эквивалентно «Enter» для компьютера):

- подтверждение выбора пункта меню;
- перемещение по разрядам при редактировании числа;
- подтверждение выбора параметров в строке меню. Кроме того, только для режима "Измерение":
- удерживание «Е» нажатой более 3 с (звуковой сигнал); переход из режима "Измерение" в режим "Сервис" (включающий режимы "Калибровка", "Настройка", "Заводская");
- сочетание «Е+↑» и «Е+↓» (клавиша "↑" (или "↓") нажимается при ранее нажатой и удерживаемой в нажатом состоянии клавише "Е") имеет специальные функции:

«Е+↑» - переводит газоанализатор из режима "Прогрев" в режим "Установка нуля";

«Е+↓.» - переводит газоанализатор из любого режима работы в режим "Прогрев".

3. Режим редактирования числа

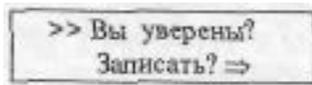
В некоторых меню имеется возможность редактирования некоторых цифровых значений и параметров газоанализатора. Редактирование осуществляется следующим образом. При необходимости редактирования числа необходимо нажать клавишу "Е", при этом появится прямоугольный мигающий курсор в младшем числовом разряде. Редактирование цифры в разряде производится последователь-

ными нажатиями клавиш "t", "4" (при этом происходит увеличение ("↑") или уменьшение ("↓") редактируемой цифры на единицу. Переход прямоугольного мигающего курсора в следующий цифровой разряд производится нажатием клавиши "E". Это циклический процесс. Возврат к исходному состоянию производится нажатием клавиши "П".

ПРИМЕЧАНИЕ:

Изменяемые параметры могут приниматься только на текущий цикл работы газоанализатора (если в этом меню нет пункта "Запись" или не было подтверждения выбора этого пункта) или могут быть внесены в РПЗУ газоанализатора (если был выбран пункт "Запись")

При записи параметров через пункт "Запись" на дисплее появляется надпись:



Необходимо подтвердить свои действия, после чего (при условии записи) появится (в течение 10 с) сообщение "ДАННЫЕ СОХРАНЕНЫ". По истечении 10 с или при нажатии клавиши "E" или "П" произойдет возврат в исходное меню,

4. Режимы работы газоанализатора. Газоанализатор имеет два основных режима работы:

- режим "Измерение":

отображает текущее значение измеряемого компонента (например: SO₂ мкг/м³), режим работы прибора ("Прогрев", "Установка нуля", "Калибровка", "Продувка", "Измерение"), а также сообщения об ошибках "есть ошибки"). В этом режиме действуют клавиши:

- удерживание клавиши «E» более 3 с (по достижении звукового сигнала) производит выход в режим сервиса;

- удерживание клавиши «П» более 3 с (по достижении звукового сигнала): производит выход из любого меню в режим "Измерение".

- режим "Сервис", включающий режимы "Калибровка", "-Настройка", "Заводская".

ПРИМЕЧАНИЕ: режим "Заводская" относится только к установкам предприятия-изготовителя, пользователю запрещается вносить какие-либо изменения в программу.

5.7.5. Порядок работы

1. Установить газоанализатор на горизонтальную поверхность. Подключить сетевой кабель. Отвинтить крышку источника микропотока (ИМП) на передней панели, вставить термодиффузионный ис-

точник двуокиси серы (из комплекта ЗИП). Закрыть крышку ИМП. Включить газоанализатор нажатием тумблера "Сеть " на задней панели. На индикаторе появится надпись **Термостат не готов** которая исчезнет при достижении заданной температуры термостата. Нажать клавиши "E + ↓," для перевода газоанализатора в режим "Прогрев". Перед измерением прогреть калибратор в течение 24 часов. По окончании измерения рекомендуется оставлять калибратор включенным.

ВНИМАНИЕ! Термодиффузионный источник заполнен жидкой двуокисью серы под давлением. Запрещается разбирать источник, подвергать его ударным воздействиям, прикасаться к фторопластовой мембране. Хранить источник необходимо в капсуле при температуре + 10...+30°C.

2. При перерыве в работе необходимо извлекать термодиффузионный источник. Для этого необходимо отключить прибор от сети, отвинтить крышку ИМП, осторожно вынуть источник микропотока. Хранить источник согласно п. 6.1.

3. После прогрева калибратора для проведения измерений нажать клавиши "E+↑". Если необходимо, на штуцер "Вход " газоанализатора надеть шланг для транспортировки анализируемого газа, при этом соprotвление на входе не должно превышать 500 мм.вод.ст.

4. Если необходимо, установить поплавков ротаметра калибратора Р_к газоанализатора на черту, вращением вентиля регулировки (расположенного на лицевой панели прибора), а поплавков ротаметра измерительного тракта Р_и между двумя чертами. При непрерывной работе газоанализатора расход необходимо контролировать не реже 1 раза в 14 дней.

5. Измерение происходит циклически после продувки 0-газом, длящейся 120 с, режима "Калибровки", длящегося 7 с, продувки измеряемым газом и собственно измерения (15 с). При измерении на индикатор выводится показание измеренной концентрации. В течение всего цикла (142 с) на индикаторе и аналоговом выходе остается последнее измеренное значение концентрации двуокиси серы.

6. В газоанализаторе установлен твердотельный хемиллюминесцентный датчик, имеющий ограниченный срок службы, зависящий от концентрации двуокиси серы в анализируемом воздухе. При концентрации двуокиси серы на уровне 0,05 мг/м³ время работы датчика 240 ± 20 часов.

При падении чувствительности датчика ниже нормы на индикаторе высвечивается "Проверьте сенсор и калибратор" и измерение прекращается.

ВНИМАНИЕ! При падении чувствительности датчика ниже нор-

мы, на токовом выходе устанавливается максимальное значение

7. По окончании работы выключить прибор, клавишами "E+↓", при этом прибор перейдет в режим "Прогрев". Калибратор рекомендуется оставить включенным либо при длительном перерыве в работе отключить. При полном отключении прибора следует нажать клавишу "Сеть" на задней панели газоанализатора и вынуть термодиффузионный источник микропотока.

Прибор комплектуется хемилюминесцентными датчиками в количестве, достаточном для работы в течение года.

Библиографический список

Никитин В.С., Битколов Н.Э. Проветривание карьеров. М.: Недра, 1975.

Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. М.: Недра, 1975.

Никитин В.С., Битколов Н.З. Проектирование вентиляции в карьерах. М.: Недра, 1980.

Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. М.: Недра, 1987.

Чулаков П.И. Теория и практика обеспыливания атмосферы карьеров. М., Недра, 1973.

Абрамов Ф.А., Бойко В.А., Долинский В.А. Лабораторный практикум рудничной вентиляции. М.: Недра, 1966.

Куликов В.А., Рогалис Ю.П. Проветривание угольных резервов. М.: Недра, 1973.

Певзнер М.Е., Костовецкий В.Н. Экология горного производства. М.: Недра, 1990.

Мирзаев Г.Г., Иванов Б.А., Щербаков В.М., Проскуряков Н.М. Экология горного производства. М.: Недра, 1991.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Атмосфера и микроклимат карьеров.....	5
1.1. Климатические условия района расположения и микроклимат карьера.....	5
1.2. Состав атмосферы карьеров и предельно-допустимые концентрации вредных примесей.....	10
2. Основные источники загрязнения атмосферы карьеров и естественный воздухообмен.....	13
2.1. Прогноз загрязнения природной среды при добыче полезных ископаемых.....	13
2.2. Источники загрязнения атмосферы карьеров.....	15
2.3. Естественный воздухообмен в карьере.....	22
2.3.1. Конвективная схема воздухообмена.....	25
2.3.2. Инверсионная схема воздухообмена.....	27
2.3.3. Инверсионно - конвективная схема воздухообмена.....	28
2.3.4. Рециркуляционная схема воздухообмена.....	29
2.3.5. Изменение скорости воздушного потока при рециркуляционной схеме воздухообмена.....	31
2.3.6. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен в карьере при рециркуляционной схеме.....	37
2.3.7. Вынос вредных примесей из карьера при рециркуляционной схеме воздухообмена.....	38
2.3.8. Продолжительность проветривания карьера после штиля.....	40
2.3.9. Прямоточная схема воздухообмена.....	42
2.3.10. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен в карьере при прямоточной схеме.....	45
2.3.11. Вынос вредных примесей из карьера при прямоточной схеме воздухообмена.....	46
2.3.12. Продолжительность проветривания карьера после штиля.....	47
2.3.13. Рециркуляционно - прямоточная схема воздухообмена.....	48
2.3.14. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен и вынос вредных примесей из карьера при рециркуляционно - прямоточной схеме воздухообмена.....	50
2.3.15. Продолжительность проветривания карьера после штиля...	50
2.3.16. Прямоточно - рециркуляционная схема воздухообмена.....	51
2.3.17. Количество воздуха, осуществляющего воздухообмен и вынос вредных примесей из карьера при прямоточно-	

рециркуляционной схеме воздухообмена.....	52
2.3.18. Продолжительность проветривания карьера после штупа.....	53
3. Борьба с пылью и газами при взрывных работах.....	54
3.1. Взрывные работы - источник загрязнения атмосферы	54
3.2 Моделирование динамики частиц пыли при взрывных работах.....	56
3.3. Математическая модель взрыва в карьере в асимметриче- ском случае.....	60
4. Пылеподавление при выемочно - погрузочных работах.....	63
4.1. Методы определения удельного расхода воды для пыле- подавления при экскавации горной массы.....	63
4.2. Физико-химические основы взаимодействия обеспыливающих растворов с горной массой.....	66
4.3. Обоснование удельного расхода обеспыливающих растворов при увлажнении горной массы.....	71
4.4. Основной критерий выбора способов и средств пылепо- давления при увлажнении горной массы.....	76
4.5. Обоснование и разработка способа увлажнения навала горной массы растворами.....	79
4.6. Удельный расход воды и растворов, определение пара метров навала горной массы.....	86
5. Приборы и методы контроля атмосферы карьеров.....	91
5.1. Приборы и методы контроля параметров микроклимата карьера	91
5.1.1. Приборы контроля температуры воздуха в карьере	91
5.1.2. Приборы для измерения влажности воздуха.....	96
5.1.3. Приборы для измерения атмосферного давления.....	104
5.1.4. Замер скорости движения воздушного потока в карьере.....	110
5.2. Приборы и методы контроля запыленности воздуха в карьере.....	111
5.2.1. Гравиметрические приборы.....	111
5.3. Камера непрерывного экологического мониторинга для анализатора аэрозолей MicroDust pro.....	119
5.3.1. Общие сведения.....	119
5.3.2. Питание.....	120
5.3.3. Общее описание.....	121
5.3.4. Порядок работы.....	123
5.3.5. Насос VORTEX.....	128
5.4. Портативный анализатор атмосферных аэрозолей Micro- Dust pro, программное обеспечение WinDust pro.....	129
5.4.1. Описание MicroDust pro.....	129

5.4.2. Порядок работы.....	132
5.5. Хемилюминесцентный газоанализатор окислов азота.....	143
5.5.1. Технические данные.....	143
5.5.2. Устройство и принцип работы газоанализатора.....	145
5.5.3. Меры безопасности.....	150
5.5.4. Управление прибором.....	151
5.5.5. Порядок работы.....	153
5.6. Газоанализатор оксида углерода.....	154
5.6.1. Технические данные.....	156
5.6.2. Состав газоанализатора.....	158
5.6.3. Устройство и принцип работы газоанализатора.....	158
5.6.4. Меры безопасности.....	161
5.6.5. Управление прибором.....	162
5.6.6. Использование компьютера.....	169
5.7. Хемилюминесцентный газоанализатор диоксида серы	169
5.7.1. Технические данные.....	170
5.7.2. Устройство и принцип работы газоанализатора.....	172
5.7.3. Меры безопасности.....	177
5.7.4. Управление прибором.....	177
5.7.5. Порядок работы.....	179
5.7.6. Библиографический список.....	182

Учебное издание

Ким Николай Хваенович

АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ

Учебное пособие

Зав РО

Редактор

Техн. редактор

Компьютерный набор

и верстка

З.А.Губайдулина

С.Н. Яниева

Ж.К.Еланова

Л. Т. Касжанова

Подписано в печать 16. 07. 2004 г.

Тираж 500 экз. Формат 60x84 1\16. Бумага типографская №1. Объем 15
уч.-изд.л. Заказ № Цена договорная

Издание Казахского национального технического университета

им. К.И.Сатпаева

Издательский центр КазНТУ

Алматы, ул. Ладыгина, 32