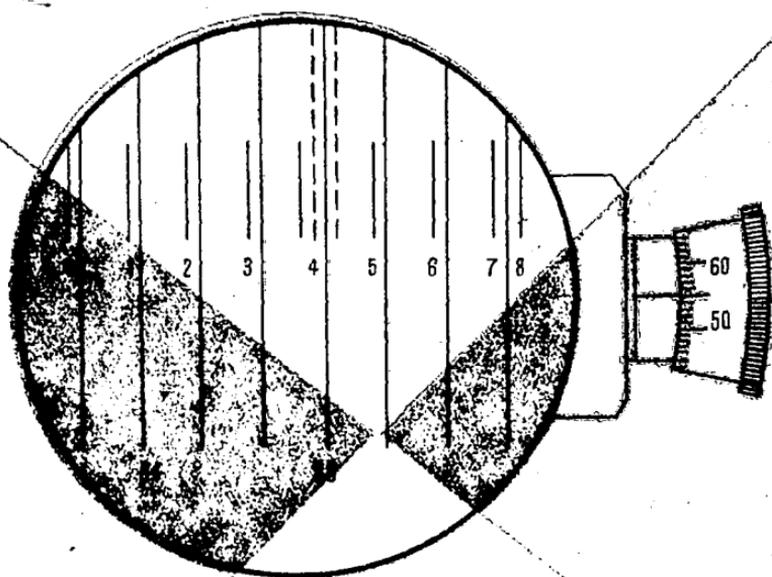


ФАБРАМОВ, АФМИЛЕТИЧ, ВЭСТРЕЙМАНН

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ
СРЕДСТВА
И МЕТОДЫ
ДЕПРЕССИОННЫХ
СЪЕМОК
ШАХТ



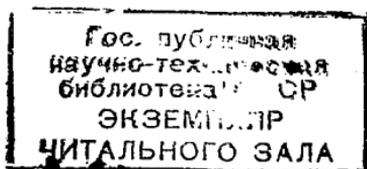
Ф. А. АБРАМОВ, А. Ф. МИЛЕТИЧ, В. Э. СТРЕЙМАНН

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ
СРЕДСТВА
И МЕТОДЫ
ДЕПРЕССИОННЫХ
СЪЕМОК
ШАХТ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
МОСКВА 1974

УДК 622.414.32:681.3



74-21972

44
29919

Абрамов Ф. А., Милетич А. Ф., Стрейманн В. Э.
Инструментальные средства и методы депрессионных
съежек шахт. М., «Недра», 1974. 144 стр.

В книге описаны отечественные приборы, применя-
емые при депрессионных съемках шахт, изложены ос-
новные способы проведения съежек и освещены вопро-
сы организации работ при съемках. Приведена методика
обработки материалов депрессионных съежек и систе-
матизированы расчетные формулы для обработки мате-
риалов на ЭЦВМ. Даны рекомендации по использова-
нию результатов депрессионных съежек для системы
вентиляции шахт. Изложена методика решения различ-
ных вентиляционных задач на ЭЦВМ и аналоговых
моделирующих устройствах, поясненная решением кон-
кретных примеров.

Книга предназначена для работников специальных
групп депрессионных съежек ВГСЧ, инженерно-техни-
ческих работников шахт и рудников.

Таблиц 23, иллюстраций 44, список литературы —
27 назв.

А $\frac{30703-109}{043(01)-74}$ 338-74

© Издательство «Недра», 1974

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с переходом горных работ на более глубокие горизонты и интенсификацией разработки полезных ископаемых остро встает вопрос о достаточном обеспечении свежим воздухом забоев и правильном распределении его между ними.

Основным средством контроля за распределением депрессии и воздуха в горных выработках являются депрессионные съемки шахт и рудников, которые должны проводиться регулярно через 3—5 лет. На основе депрессионных съемок можно выявлять недостатки в проветривании шахты, вскрывать вентиляционные резервы, устанавливать аэродинамические сопротивления отдельных выработок и сочетаний их и разрабатывать мероприятия по улучшению проветривания.

В последние годы создавались и совершенствовались средства и способы проведения депрессионных съемок. В ДГИ, ИГТМ АН УССР, Свердловском горном институте и группах депрессионных съемок ВГСЧ министерств угольной промышленности, черной и цветной металлургии проведены многочисленные исследования по применению новых инструментальных средств и по обработке материалов съемок с использованием моделирующих и электронных цифровых вычислительных машин, которые легли в основу данной книги.

В написании § 1 главы II и § 2 главы IV принимали участие В. П. Потемкин и Р. Б. Тян.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ДЕПРЕССИОННЫХ СЪЕМОК ШАХТ¹

1. ПОНЯТИЕ О ДЕПРЕССИОННОЙ СЪЕМКЕ ШАХТЫ

Для контроля за состоянием вентиляции шахт обычно ведутся систематические замеры количества воздуха, циркулирующего по сети горных выработок, производятся лабораторные анализы его состава и замеры общей депрессии шахты, создаваемой вентилятором. По этим данным можно подсчитать две величины, характеризующие степень трудности вентиляции шахты:

полное сопротивление движению воздуха

$$R_{\text{ш}} = \frac{h_{\text{ш}}}{Q_{\text{ш}}^2}, \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^8; \quad (1)$$

эквивалентное отверстие шахты

$$A_{\text{ш}} = 0,38 \frac{Q_{\text{ш}}}{\sqrt{h_{\text{ш}}}} = \frac{0,38}{\sqrt{R_{\text{ш}}}}, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где $h_{\text{ш}}$ — депрессия шахтной сети, мм вод. ст.; $Q_{\text{ш}}$ — количество воздуха, м³/сек.

Более детальных сведений о состоянии системы вентиляции шахты из указанных замеров величин $Q_{\text{ш}}$ и $h_{\text{ш}}$ получить нельзя. Между тем для оперативного руководства проветриванием шахты, для контроля за состоянием выработок с точки зрения их аэродинамического сопротивления и нахождения узких мест, затрудняющих проветривание, для выявления вентиляционных резервов необходимо знать распределение депрессии по пути движения воздушной струи. Эти вопросы могут быть реше-

¹ См. [1, 2, 14, 16, 19, 20, 21, 26, 27].

ны при помощи депрессионной съемки шахты. Кроме того, депрессионные съемки дают возможность установить участки горных выработок с высоким аэродинамическим сопротивлением, определить величины потерь напора в отдельных выработках, выявить местные сопротивления выработок и осуществить проверку работы вентиляторов, включенных в вентиляционную сеть. Результаты работы служат исходными данными при реконструкции системы вентиляции шахт.

2. СПОСОБЫ ДЕПРЕССИОННЫХ СЪЕМОК

Депрессионные съемки могут быть полными и частичными. При полной депрессионной съемке измерение необходимых параметров производится по всем маршрутам (путь движения воздуха от входа в ствол до выхода на поверхность через одну из лав) шахтной вентиляционной сети, а при частичной выбирается один или несколько характерных маршрутов. При частичной съемке замеряют депрессию отдельных выработок или контуров шахтной вентиляционной сети и каналов вентиляторных установок.

По технике исполнения съемки могут выполняться детально, укрупненно или комбинированно.

При детальной депрессионной съемке число и расположение замерных станций выбираются таким образом, чтобы можно было получить данные о количестве воздуха и депрессии любой ветви и участка шахтной вентиляционной сети в целом или избранных маршрутов (при частичной съемке), а также характеристику местных сопротивлений. Необходимые параметры измеряются с большой точностью.

Съемка будет укрупненной, если некоторые выработки объединены, а вентиляционная сеть шахты или выбранные маршруты разбиты на крупные участки, позволяющие сократить число замерных станций и применить приборы с меньшей точностью.

Комбинированная съемка сочетает в себе признаки детальной и укрупненной. В основе ее лежит укрупненная съемка с детализацией участков, требующих особого внимания.

В зависимости от характера поставленных задач и точности имеющейся аппаратуры применяется тот или

иной способ депрессионной съемки. На шахтах, подлежащих реконструкции, проводят полную депрессионную съемку вентиляционной сети, чтобы получить исходные данные об аэродинамических сопротивлениях выработок, необходимых для проектирования вентиляции шахты. Полную депрессионную съемку проводят на каждой шахте для контроля за состоянием вентиляционного хозяйства и разработки мероприятий по его совершенствованию через определенный промежуток времени (2—3 года), а также при решении вопросов обычного и автоматического регулирования подачи количества воздуха на участок или по шахте в целом.

Частичные депрессионные съемки выполняют укрупненно или комбинированно в процессе оперативного управления проветриванием шахты по одному или нескольким характерным маршрутам. На основании полученных данных определяют узкие места в проветривании выработок и разрабатывают мероприятия по их устранению. На участках вентиляционных соединений, где значения депрессии невелики и могут оказаться вне пределов точности приборов для укрупненных съемок, необходимо проводить детальную съемку. Такие участки чаще всего встречаются при разветвленных вентиляционных сетях негазовых шахт. Частичные депрессионные съемки следует проводить несколько раз в год и, кроме того, при каждом существенном изменении вентиляционной сети. Частичную депрессионную съемку производят также для получения необходимых параметров при расчете шахтной вентиляционной сети аналитическим методом.

Для определения депрессии отдельных участков шахтной вентиляционной сети в практике применяются следующие методы:

непосредственное измерение депрессии между двумя точками;

измерение разности абсолютных давлений в двух точках и вычисление по этим данным величины депрессии между ними;

измерение разности между каким-либо постоянным давлением, принятым в качестве сравнительного, и абсолютным давлением в пунктах измерений с последующим вычислением депрессии по этим данным.

Непосредственно измерение депрессии производится микроманометром (или U-образным манометром), сое-

диненным резиновыми трубками с замерными точками. Преимуществом этого метода являются высокая точность измерений, простота обработки материалов съемки и надежность работы приборов, основным недостатком — большая трудоемкость. Бригада из трех опытных работников за семичасовую смену производит съемку маршрута, проходящего по горизонтальным выработкам до 2—2,5 км. Поскольку расстояние между замерными станциями ограничено 100—200 м (длина резиновой трубки), при съемке выработок с небольшой депрессией возможны значительные погрешности. Известную сложность с организационной точки зрения представляет также съемка наклонных и особенно вертикальных выработок.

Определение депрессии по разности абсолютных давлений в двух смежных точках маршрута осуществляется замером барометрического давления в названных точках анероидными приборами с последующей обработкой результатов. К преимуществам этого метода следует отнести возможность выполнения съемки за сравнительно короткий срок (что важно, так как вентиляционный режим не остается постоянным в течение длительного времени) с небольшими затратами труда. В то же время этот метод имеет следующие недостатки:

сложность обработки первичных материалов из-за введения нескольких поправок (на превышение между замерными станциями, на изменение атмосферного давления за время перехода между ними и на разность скоростей движения воздуха в замерных станциях¹).

необходимость инструментальных поправок при резких колебаниях давления и температуры, изменяющихся в шахтной вентиляционной сети, возможно появление в показаниях приборов так называемого ползания;

необходимы высотные отметки замерных точек;

значительные погрешности из-за изменения вентиляционного режима во время перехода из одной замерной станции в другую.

Некоторые недостатки можно частично устранить выбором соответствующего способа производства съемки.

Применяются три способа съемки: последовательных отсчетов, одновременных отсчетов и комбинированный способ снятия отсчетов.

¹ Поправку на разность скоростей необходимо включить и при замере микроманометром в сочетании с резиновыми трубками.

При последовательных отсчетах измерения необходимых параметров производят одним или несколькими приборами (при n приборах точность измерения растет в \sqrt{n} раз) последовательно по точкам маршрута. Одновременный замер на станции несколькими приборами уменьшает случайные погрешности измерения и широко применяется при нивелировке на поверхности. Во время съемки установленным на поверхности анероидным прибором регистрируется атмосферное давление для внесения поправок на его изменения. На результаты измерения в шахте может сказаться влияние изменения вентиляционного режима. Чтобы учесть эти изменения, контрольный прибор лучше устанавливать в околоствольном дворе. Контрольный прибор должен иметь такую же точность, как и приборы для съемки.

При одновременных отсчетах измерения необходимых параметров производят одновременно в двух соседних станциях маршрута, что исключает необходимость введения поправки на изменение барометрического давления на поверхности. Два человека проходят по всем станциям маршрута так, чтобы в заранее заданное время они оказывались на соседних станциях и одновременно брали отсчеты. Например, когда первый находится на станции А, второй должен находиться на станции В. При переходе первого со станции А на станцию В, второй должен перейти со станции В на станцию С и т. д.

Однако выполнение заранее согласованного графика одновременного снятия отсчетов в условиях горных выработок представляет известную сложность.

При комбинированных отсчетах в начале съемки всеми имеющимися приборами (которых должно быть не менее двух) измеряют необходимые параметры на одной станции маршрута. Затем один прибор или ($n/2$, если приборов n штук) переносят на вторую станцию и измеряют давление всеми имеющимися приборами одновременно в двух станциях (как при способе одновременных отсчетов). При этом приборы, оставленные на первой станции, регистрируют изменение давления в шахте за время переноски остальных приборов на вторую станцию. После одновременного замера приборы с первой станции переносят на вторую и отсчеты снимают в третий раз по всем приборам и т. д. Изменение ба-

рометрического давления и вентиляционного режима за время переноски остальных приборов с первой станции на вторую регистрируют приборы второй станции. Таким образом при двух приборах мы получаем три разности давления между двумя станциями маршрута, что исключает случайные ошибки замера. Кроме того, имеется постоянный контроль за изменением вентиляционного режима во время съемки. Однако по сравнению с первым способом затраты времени на съемку увеличиваются в 2 раза.

Депрессионная съемка методом измерения разности между каким-либо постоянным давлением, принятым в качестве сравнительного, и абсолютным давлением в любой следующей станции замера производится с помощью депримера. Несмотря на высокую точность этих приборов, полученные величины депрессии могут иметь существенные погрешности из-за необходимости внесения поправок, аналогичных рассмотренным выше при методе съемки измерением разности между абсолютными давлениями. При съемке по этому методу можно применять любой из уже упомянутых трех способов.

Следует обратить внимание еще на два вида комбинированного способа депрессионной съемки, которые применяются не часто, но дают хорошие результаты.

При измерении давления на станциях маршрута при включенном и выключенном вентиляторе разность между величинами барометрического давления, измеренными в какой-либо точке вентиляционной сети при работающем и выключенном вентиляторе, равна потере давления на пути движения воздуха от устья ствола (всасывающая система проветривания) до замерной станции и представляет депрессию этого участка [1, 16, 26]. Зная разность давлений в узловых точках шахтной вентиляционной сети при включенном и выключенном вентиляторе, можно легко определить депрессию любой интересующей нас выработки. При использовании такого способа отпадает необходимость в поправках на разность высот замерных точек и изменения атмосферного давления на поверхности, что является большим преимуществом способа. Основной недостаток заключается в необходимости периодической остановки главного вентилятора, что недопустимо в газовых шахтах, и возможности перегрева пусковой аппаратуры при частых пусках.

Б. И. Медведевым предложено не останавливать вентилятор, а только изменить режим его работы и провести замеры давления в отдельных точках маршрута при разных режимах. Несмотря на трудности в организации работ, этот способ позволяет достигнуть хороших результатов на негазовых шахтах при проведении работ по съемке во время нерабочей смены или в выходной день.

В рудных шахтах со сложной топологией вентиляционной сети (наличие большого количества блоковых вентиляторов и т. д.) хорошие результаты при депрессионных съемках дает комбинированный способ, который состоит в одновременном замере давлений на всех горизонтах в одноименных осях и позволяет лучше определить потери депрессии в очистных забоях. При обработке материалов такой съемки обычно составляют диаграмму распределения депрессии, по которой можно легко судить о состоянии проветривания отдельных очистных забоев (камер).

3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ДЕПРЕССИОННЫХ СЪЕМОК

Депримомер Комарова — Гескина имеет в качестве рабочей жидкости подкрашенный керосин. Шкала градуирована от 0 до 200 мм.

В стеклянный сосуд 1 (рис. 1) на первой станции заключают определенный объем воздуха при атмосферном давлении; во всех последующих пунктах, пока хватит шкалы, только регистрируют отсчеты. Прибором можно измерить депрессию не более 90 мм вод. ст. Сосуд, диаметром 40 мм и длиной 150 мм, опущен в термос, внутренний диаметр которого равен 85 мм. Таким образом между стенками сосуда и стенками термоса остается зазор около 17—18 мм. Сосуд 1 снабжен краном 3. Кроме того, к нему припаяна не доходящая до дна трубка 2 с краном 4, переходящая в U-образную трубку. Возле левого колена последней трубки расположена шкала. Термос и стеклянные трубки заключены в деревянный ящик 8 с откидной крышкой 5 и боковой дверцей 6. На перегородке 7 укреплена U-образная трубка со шкалой.

Перед началом работ прибор заправляют керосином, а термос заполняют льдом. Крупность кусков льда не должна превышать 10—15 мм, лед не должен содержать соль. Краны следует промыть и смазать вазелином.

Заправляют прибор следующим образом. При открытом кране 3 через кран 4 при помощи воронки наливают очищенный и подкрашенный керосин (около 50 см³). Часть керосина при этом попадает в U-образную трубку, а часть поступает по трубке 2 в сосуд. Затем надевают на конец трубки 4 небольшой отрезок резинового шланга и при открытых кранах 4 и 3 осторожно, чтобы керосин не попал в рот, засасывают керосин, который поднимается по трубке 2 и U-образной трубке и заполняет свободное пространство в перегибе этой трубки. Когда керосин дойдет до крана 4 и покажется над ним, кран 4 закрывают. Так как с обеих сторон керосин будет находиться под атмосферным давлением, то керосин в сосуде 1 и левом колене U-образной трубки установится на одинаковом уровне. После этого запирают кран 3 и оставляют прибор в покое на 15—20 мин. Когда установится температура воздуха в сосуде 1 (мениск керосина в U-образной трубке не должен перемещаться при открывании крана 3), тогда записывают начальный отсчет по шкале, и прибор готов для работы. В дальнейшем, при закрытом кране 3, мениск в левом колене U-образной трубки будет подниматься при уменьшении атмосферного давления и падать при увеличении. Разность отсчетов в двух точках, умноженная на поправочный коэффициент, равна разности давления между двумя точками в миллиметрах водяного столба, т. е. депрессии. Второй отсчет является начальным для последующего участка съемки.

Микроанометры служат для определения депрессии всей шахты, отдельных выработок или части их. Для измерения общей депрессии шахты (без вентиляторной установки) следует одно колено установленного на поверхности микроанометра соединить со стволом шахты при помощи трубки, а другое — с атмосферой. Чтобы

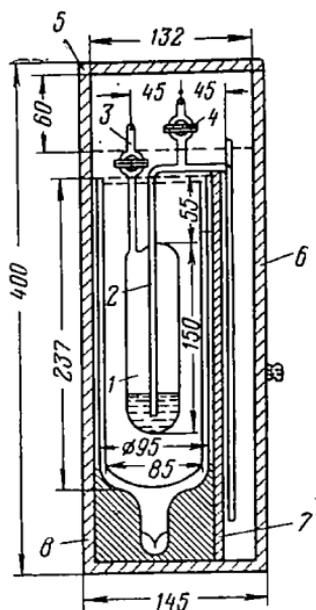


Рис. 1. Деприметр Комарова — Гескина

провести депрессионную съемку микроманометром, т. е. проследить за распределением депрессии по всем шахтным выработкам, необходимо затратить много времени (нередко 15—20 дней). В этот период вентиляционный режим шахты не остается постоянным, что часто приводит к крупным погрешностям съемки. U-образный манометр позволяет применять его при депрессионных съемках для измерения общей депрессии шахты, для проверки правильности съемки отдельных участков шахты замером депрессии через двери и перемычки и для определения депрессии выработок.

Однако у U-образных манометров точность не превышает 0,5 мм вод. ст., поэтому для измерения депрессии с большей точностью применяют жидкостные микроманометры. Повышение точности снимаемых отсчетов в микроманометрах достигается применением наклонной измерительной трубки. В данном случае измеряемая депрессия будет выражаться уравнением

$$h = (h_k - h_0) F \gamma, \text{ кг/м}^2, \quad (3)$$

где F — коэффициент наклона трубки (в дальнейшем именуемый просто коэффициентом наклона), $F = \sin \alpha$; α — угол наклона измерительной трубки микроманометра к горизонту, градус; h_k — отсчет по наклонной трубке, мм; h_0 — начальный, или так называемый нулевой отсчет по наклонной трубке, мм; γ — удельный вес жидкости, кгс/м³.

Опусканьем жидкости в широком сосуде обычно пренебрегают, так как приборы выпускают с отношением $f_T/f_P = 1/250$, где f_T — площадь сечения наклонной трубки, f_P — площадь сечения сосуда [19].

Для измерения депрессии наибольшее распространение имеют микроманометры ЦАГИ (Центральный аэрогидродинамический институт) и микроманометры ММН.

Микроманометр ЦАГИ (рис. 2) имеет четыре положения манометрической трубки: вертикальное (в этом положении он работает как обычный чашечный манометр с длиной шкалы 200 мм) и наклонные положения с делениями 0,125; 0,25 и 0,5. Эти цифры нанесены на стойке 1. Микроманометр ММН имеет верхние пределы измерений 50, 75, 100, 150 и 200 мм и пять положений измерительной трубки: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8. Вертикальное положение отсутствует.

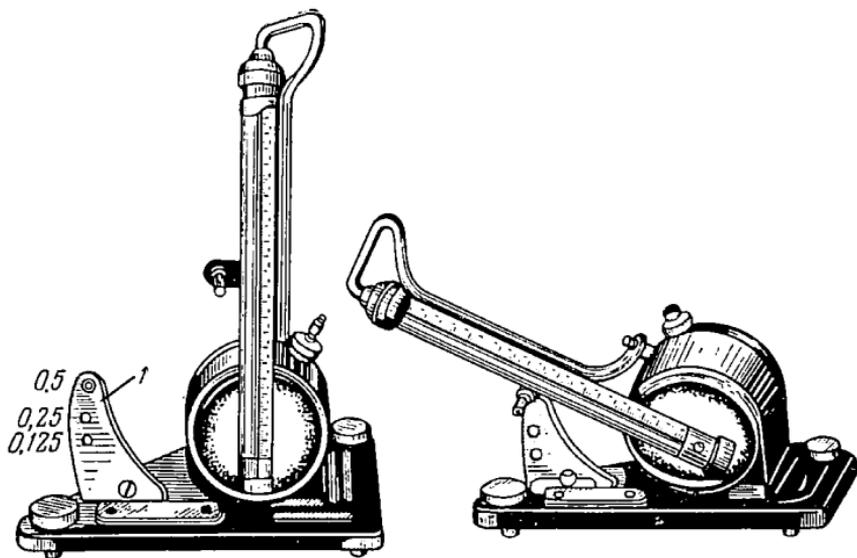


Рис. 2. Микроанометр ЦАГИ

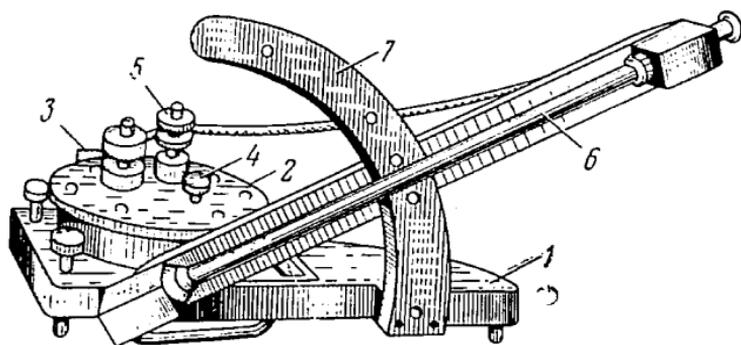


Рис. 3. Микроанометр ММН

Шкала микроанометров градуируется в миллиметрах; заполняются приборы обычно спиртом. При этом коэффициент K для микроанометра ММН-250 учитывает кроме угла наклона и удельный вес спирта в нормальных условиях. Приводим описание серийно выпускаемого прибора ММН.

Микроанометр ММН (рис. 3) предназначен для измерения давления, разрежения и перепада давления в пределах от 0 до 200 мм вод. ст. На силуминовой плите 1 укреплен стальной штампованный резервуар 2. Сверху резервуар герметически закрыт крышкой на резиновой прокладке. На крышке укреплены трехходовой

кран 3, заливочная пробка 4 и регулятор нулевого положения мениска 5 для подгонки мениска спирта в измерительной трубке к нулевой риске шкалы. При помощи небольшой стойки к плите 1 крепится кронштейн с измерительной трубкой 6. Нижняя часть измерительной трубки через штуцер при помощи эластичной резиновой трубки сообщается с резервуаром 2, а верхний ее конец с помощью такой же трубки сообщается с трехходовым краном 3. Измерительная трубка 6 установлена так, что нулевая точка ее шкалы совпадает с осью вращения кронштейна. Шкала измерительной трубки имеет длину 250 мм, каждое деление ее соответствует 1 мм.

Для установки кронштейна с измерительной трубкой на требуемый угол наклона к плите 1 прикреплена дуга 7, имеющая пять отверстий с цифрами 0,8; 0,6; 0,4; 0,3 и 0,2, обозначающими постоянный множитель прибора.

Для установки микроманометра в строго горизонтальное положение на плите 1 имеются два уровня с цилиндрическими ампулами. Заполняют прибор спиртом через отверстие в крышке, закрываемое пробкой 4, а удаляют спирт (полностью или частично) через сливной кран, укрепленный на отводе в нижней части резервуара.

Каналы в трехходовом кране расположены таким образом, что при повороте его пробки против часовой стрелки до упора резервуар и измерительная стеклянная трубка сообщаются с атмосферой, а отверстия к штуцерам 2 и 3 перекрываются (рис. 4). При этом положении крана

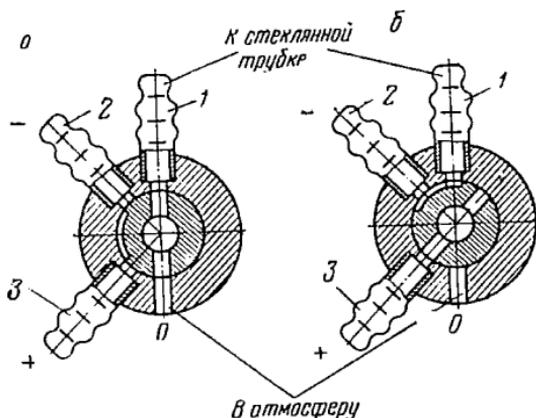


Рис. 4. Схема включения трехходового крана:
а — при контроле нуля; б — при измерении

проверяется нуль прибора. При повороте пробки по часовой стрелке до упора штуцер 3 сообщается с резервуаром, а штуцер 2 — со штуцером 1 и через него со стеклянной трубкой, при этом ведущее в атмосферу отверстие перекрывается.

При измерении прибором разряжений резиновая трубка, идущая от места замера, надевается на штуцер 2, а при измерении компрессии — на штуцер 3. При измерении перепада давления трубка, идущая от места с большим давлением, надевается на штуцер 3 (+), а от места с меньшим давлением на штуцер 2 (—).

Работу с микроманометром производят в следующем порядке:

а) устанавливают прибор на столе, плите или ящике;

б) регулируют положение прибора при помощи регулировочных винтов до тех пор, пока в каждом уровне пузырек остановится в центре;

в) устанавливают кронштейн с измерительной трубкой в крайнее верхнее положение, т. е. под наклоном у отверстия 0,8;

г) вращают пробку трехходового крана против часовой стрелки до упора;

д) через заливочную пробку микроманометр наполняют этиловым спиртом (плотностью $\gamma = 0,8095 \text{ г/см}^3$), чтобы уровень его в стеклянной измерительной трубке установился приблизительно против нулевого деления, затем завинчивают пробку до отказа;

е) на штуцер 2 (см. рис. 4) трехходового крана надевают отрезок резиновой трубки и, установив пробку трехходового крана (поворотом по часовой стрелке до упора) в рабочее положение, подсосом поднимают уровень спирта в стеклянной измерительной трубке примерно до конца шкалы, при этом следует убедиться, нет ли воздушных пробок в столбике спирта. При обнаружении пробок их необходимо удалить, выдув вместе со спиртом в резервуар;

ж) поворачивают пробку трехходового крана против часовой стрелки до упора, переставляют кронштейн с измерительной трубкой на необходимый угол наклона и регулировочным барабаном окончательно корректируют нуль;

з) соединяют прибор с объектом измерения и проверяют уровни;

и) поворачивают пробку трёхходового крана по часовой стрелке до упора и приступают к отсчетам.

Во время работы необходимо периодически проверять нуль прибора, а также следить за положением прибора по уровням.

Для четкой видимости мениска в стеклянной измерительной трубке прибора заливаемый этиловый спирт должен быть окрашен метиловым красным красителем метилрот. Рекомендуемая консистенция красителя в спирте 0,05 г/л.

Прибор работает по принципу вытеснения жидкости (этилового спирта) из резервуара в измерительную стеклянную трубку. Поэтому включается прибор для измерений таким образом, чтобы абсолютное давление над спиртом в резервуаре было всегда больше, чем в измерительной трубке. При этом условии уровень спирта в трубке будет подниматься, а в резервуаре — опускаться.

Диаметр и площадь сечения резервуара соответственно $D_p = 88$ мм и $f_p = 6082,12$ мм², стеклянной измерительной трубки $D_T = 4$ мм и $f_T = 12,56$ мм². Следовательно, уровень спирта в резервуаре будет весьма незначительно перемещаться по сравнению с уровнем спирта в измерительной трубке. Например, если уровень в измерительной трубке переместится на 250 мм, то в резервуаре он переместится на величину $250 : (f_p : f_T) = 250 : 484,24 = 0,52$ мм.

Зависимость между разностью абсолютных давлений над спиртом в резервуаре и в измерительной стеклянной трубке и показанием прибора выражается следующей формулой [14]:

$$H_x = h \sin \alpha \left(1 + \frac{b^2}{D_p^2 - D_6^2} \right), \text{ мм вод. ст.}, \quad (4)$$

где h — величина видимого столба спирта в измерительной трубке, мм; $b = 0,8095$ г/см³ — плотность этилового спирта; α — угол наклона измерительной стеклянной трубки, градус; D_p — внутренний диаметр резервуара, мм; D_6 — диаметр регулируемого барабана, мм.

После подстановки численных значений в формулу (4) и замены произведения $\sin \alpha (1 + 0,00279)$ коэффициентом K , называемым постоянной прибора [значения коэффициента K нанесены на стойке 7 прибора (см. рис. 3)] формула примет вид:

$$H_d = hK. \quad (5)$$

Погрешность показаний микроманометра обычно не превышает $\pm 0,5 \div 1,0\%$ соответствующих верхних пределов измерений.

Погрешность прибора от изменения плотности спирта под влиянием температуры и крепости его учитывается поправочным коэффициентом Π , который приводится в таблице, прилагаемой к прибору.

Истинные показания прибора

$$h_{и} = K\Pi h, \text{ мм вод. ст.}, \quad (6)$$

где $h = (h_1 - h_0)$ — отсчет по шкале прибора, мм.

Воздухомерная трубка применяется для передачи давления измерительным приборам (манометрам), между которыми измеряется разность давлений. Трубкой можно измерять статическое давление $h_{ст}$, скоростное h_d или полное $h_{пол}$, равное алгебраической сумме статического и скоростного давлений.

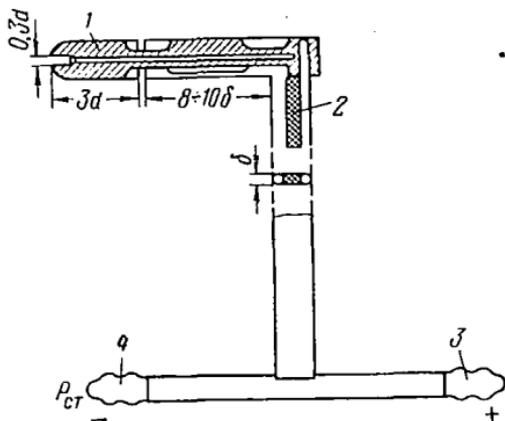


Рис. 5. Воздухомерная трубка

Воздухомерная динамическая трубка (рис. 5) со сферической головкой состоит из рабочей части — наконечника 1, державки 2 и двух концов 3 и 4 для надевания резиновых трубок. В наконечнике имеется центральный канал, соединенный с концом 3, и кольцевая прорезь, не сообщающаяся с центральным каналом, но соединенная с концом 4. Давление, передаваемое манометру через центральный канал, равно полному давлению $h_{ст} + h_d$, через прорезь — статическому $h_{ст}$.

Знак «+» ставится на конце 3, соединенном с центральным каналом, и знак «—» ставится на конце 4, соединенном с прорезью.

Если присоединить концы 3 и 4 трубки к обоим концам депрессиометра (манометра) или к микроманометру, то на жидкость в одном колене будет действовать давление $h_{ст} + h_{д}$, а в другом $h_{ст}$, и депрессиометр покажет разность этих давлений, т. е. скоростное давление. Если от двух трубок, расположенных в разных концах выработки, присоединить к депрессиометру или микроманометру концы 3, получится разность статических давлений в этих двух точках — депрессия.

Как и все инструменты, воздухомерные трубки должны быть протарированы. Поправочный коэффициент их обычно очень близок к единице.

Иногда применяют более простую трубку без центрального канала, но с прорезью или несколькими малыми отверстиями диаметром не более 0,5 мм, расположенными на небольшом расстоянии от конца наконечника. Такие трубки называют статическими.

Микробарометр МБ-1М (рис. 6) является особо чувствительным барометром. Приемником давления служит блок из семи последовательно соединенных анероидных коробок 1 из бериллиевой бронзы. Один конец блока коробок с помощью установочного винта 8 и пружины закреплен на станине прибора, ко второму шарнирно прикреплена жесткая тяга 2. Второй конец тяги соединен с рычагом регулятора 9, закрепленным на промежуточной оси 3. Промежуточная ось с помощью рычагов 4 и пластинчато-шарнирных цепочек 5 соединена с валиком 6 оси, на которой плотно насажена стрелка 7.

Линейные перемещения анероидного блока при изменении атмосферного давления превращаются во вращательное движение стрелки над шкалой, где имеется передвигающаяся лупа для увеличения точности снятия отсчетов. Для учета температуры прибора внутри корпуса прибора на шкале установлен термометр. Прибор помещен в металлический корпус с теплоизоляционным слоем (поролон) для уменьшения влияния температуры внешней среды, а также для защиты от механических ударов. К корпусу прикрепляется плечевой ремень.

Пределы измерения давления 720—840 мм рт. ст. Цена наименьшего деления шкалы 0,1 мм рт. ст. Габариты

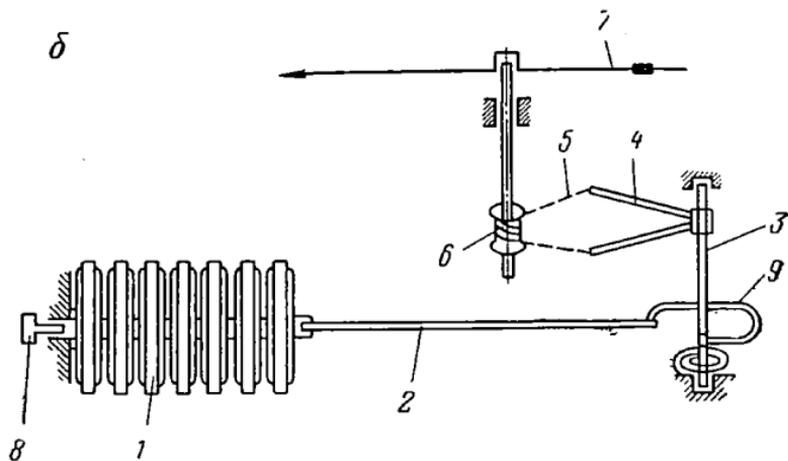
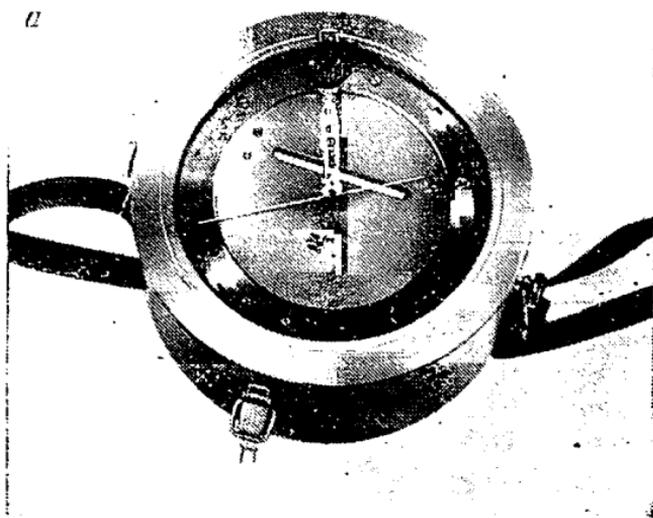


Рис. 6. Микробарометр МБ-1М:
 а — общий вид; б — схема устройства

прибора: диаметр 216 мм, высота 100 мм; масса (без футляра) 1,5 кг.

При снятии отсчетов прибор должен находиться в горизонтальном положении (шкалой вверх), так как приборы тарированы и проверены на заводе в таком положении. При взятии отсчетов в вертикальном положении прибора погрешность отсчета может достигать $\pm 0,3$ мм рт. ст.

Перед снятием отсчета необходимо слегка постучать пальцем по стеклу для устранения погрешности от трения в системе передач прибора. Показания снимаются с точностью не менее чем 0,05 мм рт. ст. Одновременно берутся показания термометра, находящегося на микробарометре, с точностью 0,5°C.

В местах с повышенной пульсацией давления воздуха (вблизи вентилятора) могут наблюдаться постоянные колебания стрелки. В таких случаях необходимо брать несколько отсчетов, охватив минимальное и максимальное положения стрелки прибора, и получить из них среднее значение давления.

В вычисления истинной величины давления надо ввести следующие поправки: шкаловую (определяется по кривой шкаловых поправок, имеющейся в паспорте прибора); температурную (дается в заводском паспорте, когда они не менее 0,01 мм рт. ст. на 1°C) и добавочную.

При резких изменениях температуры окружающей среды, даже после введения всех перечисленных поправок, давление, полученное по прибору, отличается на некоторую величину от истинного. Поэтому при большой разности температур прибора и окружающей среды необходимо применять формулу $\Delta P = 0,013 \Delta t^\circ$. Поправка имеет знак «+», когда температура прибора ниже окружающей, и знак «-», когда она выше температуры окружающей среды.

Одним из недостатков приборов с мембранными коробками является упругое последствие мембраны, вызывающее явление «ползания» стрелки прибора. Поэтому при замере резких, значительных перепадов давления требуется некоторая выдержка времени перед снятием отсчета: $\Delta P = 20 \div 40$ мм рт. ст. — до 20 мин; $\Delta P = 40 \div 60$ мм рт. ст. — до 30 мин; $\Delta P = 60 \div 80$ мм рт. ст. — до 40 мин.

Погрешность замера абсолютного давления состав-

ляет $\pm 0,18$ мм рт. ст. Так как основную часть погрешности замера составляет погрешность шкаловых поправок, то при замере небольших перепадов давления в области плавного изменения шкаловых поправок погрешность замера равна $\pm 0,10$ мм рт. ст.

Микробарометры МБ-1М выпускаются Московским заводом «Гидрометприбор».

Микробарометр МБНП предназначен для определения относительного измерения атмосферного давления. Приемником давления служат два анероидных блока 1 (рис. 7), состоящих из двух мембранных анероидных коробок в каждом, укрепленных с двух сторон опорной плитой 6. Линейные перемещения анероидных блоков 1 с помощью рычагов 3, находящихся на упругих рамочных опорах 5, передаются на цилиндрическую ленточную пружину 2 с двумя направлениями навивки, преобразующую линейные перемещения в угловые перемещения указателя (зеркало 4, укрепленное в середине пружины 2). Угол поворота зеркала 4 отсчитывается по шкале 8 с помощью окулярного микрометра 7 типа МОВ-1. Механизм прибора установлен в герметизированном корпусе, имеющем штуцер, через отверстие которого воспринимается давление, а также производится перестройка диапазона шкалы давления поворотом специального винта, установленного в конце рычага 3. В последних образцах приборов к штуцеру присоединен патрон с осушителем, что позволяет избежать влияния влажности на показания прибора. Герметизированный корпус дает возможность осуществлять перевозку прибора авиационным транспортом, а самое важное — использовать более простые методы проверки и тарировки прибора без дорогостоящих барокамер.

Прибор помещается в футляр с термоизоляцией из поролона. В приборе имеется термометр для учета температурной поправки. Цена деления термометра 1°C . Рабочий диапазон прибора по температуре находится в пределах $(-15) \div (+30)^{\circ}\text{C}$. Масса прибора 4 кг. Габариты: высота 290 мм, диаметр 240 мм. Диапазон измерения относительного давления без перестановки 70—75 мм рт. ст. Цена деления шкалы прибора $\sim 0,5$ мм рт. ст., а шкала микрометра $\sim 0,005$ мм рт. ст.

Работу с микробарометром МБНП производят в следующем порядке:

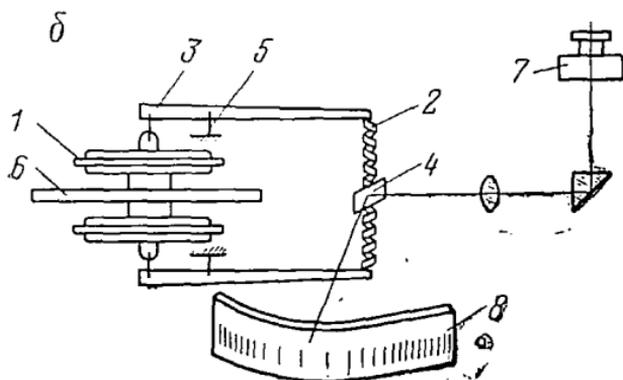


Рис. 7. Микробарометр МБНП:
 а — общий вид; б — схема устройства

- а) выбирают положение светильника, обеспечивающее наилучшую освещенность шкалы микробарометра;
- б) фиксируют на глаз изображение шкалы;
- в) оттягивают пробку осушителя, открыв доступ воздуха в прибор.

Во время наблюдения микробарометр должен находиться в горизонтальном положении (угол наклона не более 5°).

В поле зрения окуляра видны: отражение штрихов шкалы микрометра, перемещающихся в зависимости от атмосферного давления (рис. 8, а); неподвижная шкала окуляра с цифрами от 0 до 8; подвижный биссектор и идентичное с ним подвижное перекрестие, которые связаны с барабаном окулярного микрометра (рис. 8, б).

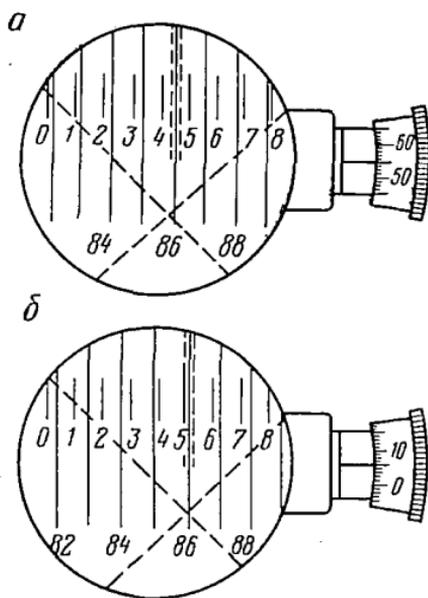


Рис. 8. Вид поля зрения окуляра МБНП

Отсчеты снимают в следующем порядке:

а) подвижный биссектор и перекрестие устанавливают на деление шкалы микробарометра, находящееся справа от штриха 4 неподвижной шкалы окуляра (при точных работах поочередно на деления шкалы, находящиеся справа от штрихов 3, 4 и 5) с помощью микрометрического винта;

б) записывают номер деления шкалы микробарометра и отсчет по барабану микрометра с точностью до одного деления;

в) снимают отсчет по термометру с точностью до $0,5^\circ\text{C}$.

Полученные отсчеты приводят к общему отсчету в делениях шкалы по формуле

$$N = A - \frac{a}{n}, \quad (7)$$

где A — номер деления шкалы микробарометра, на которую устанавливали подвижный биссектор; a — отсчет

по барабану микрометра; n — число делений барабана микрометра, соответствующего одному делению подвижной шкалы (из паспорта прибора).

Пример. $A=86$; $a=55$; $n=110$ (см. рис. 8, а)

$$N = 86 - \frac{55}{110} = 85,5 \text{ деления.}$$

В том случае, когда слева от деления шкалы, на которое устанавливается биссектор, и в промежутке между следующим делением будет находиться как четвертый, так и пятый штрихи неподвижной шкалы, применяется формула

$$N = A - \frac{a + 100}{n} \quad (8)$$

Если $A=86$; $a=6$; $n=110$ (см. рис. 8, б), то

$$N = 86 - \frac{6 + 100}{110} = 85,96 \text{ деления.}$$

Переход от отсчетов по прибору к атмосферному давлению осуществляется по формуле

$$P = P_0 + \alpha_0(N - N_0) + \beta(N - N_0)^2 - K_t(t - t_0), \quad (9)$$

где α_0 и β — постоянные коэффициенты, приведенные в паспорте прибора; N — приведенный отсчет по прибору; N_0 — некоторый начальный отсчет (для заводского паспорта $N_0=70$); P_0 — давление, соответствующее отсчету N_0 ; K_t — температурный коэффициент (дается в паспорте); t — температура прибора; t_0 — некоторая начальная температура ($t_0=20^\circ\text{C}$).

Перепады давления

$$\Delta P = \alpha(N_1 - N_2) + \beta[N_1^2 - N_2^2 - 2N_0(N_1 - N_2)] - K_t(t_1 - t_2). \quad (10)$$

Второй член этой формулы, учитывающий непостоянство цены деления в пределах всей шкалы, при грубых замерах может не учитываться, так как составляет примерно 2% ΔP . Непостоянство цены деления в пределах всей шкалы объясняется тем, что передаточное отношение цилиндрической пружины, зависящее от шага навивки и диаметра пружины, при изменении натяжки (при работе на разных пределах шкалы) изменяется. Наблюдаются также изменения величины цены деления во времени, поэтому перед ответственными работами требуется повторная тарировка прибора.

Ошибка замера перепада давления при замера значительных перепадов почти полностью зависит от точности определения цены деления $\frac{m_{\text{в}}}{a}$ и составляет приблизительно 0,3% ΔP . Минимальные перепады давления, при замера которых погрешность не превышает 10%, следующие: $t_{\text{пр}}=0-0,128$ мм рт. ст.; $t_{\text{пр}}=1^{\circ}\text{C}-0,193$ мм рт. ст.; $t_{\text{пр}}=10^{\circ}\text{C}-0,469$ мм рт. ст.

Микробарометр МБ-63 (рис. 9) имеет некоторые конструктивные отличия от микробарометра МБНП и встроенный электроподсвет шкалы. Прибор снабжен электротермометром для замера температуры прибора. В качестве датчика температуры служит термосопротивление, установленное в самом центре механизма прибора.

Диапазон измерения давления МБ-63I составляет 150 мм рт. ст., МБ-63II — 280 мм рт. ст. Точность снятия отсчета $\pm 0,02$ мм рт. ст. Температурный диапазон работы прибора от -45 до $+45^{\circ}\text{C}$. Масса прибора 4 кг.

Работу с микробарометром МБ-63 производят в следующем порядке:

- а) перед снятием отсчетов прибор устанавливают вертикально, открыв крышку футляра;
- б) переключатель ставят в положение «Контроль напряжения»; ручкой «Установка напряжения» устанавливают стрелку электротермометра на длинную черту;
- в) снимают отсчет температуры прибора;
- г) переключатель ставят на «подсвет» в положение, соответствующее отсчету 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120; включая кнопкой микровыключателя электроподсвет шкалы, окуляром фокусируют на глаз изображение биссектора и шкал в поле зрения микрометра.

Соответствие между отсчетом и положением переключателя 1 на подсвет (рис. 9,б) может быть довольно приближенным. Наилучшим положением переключателя является соседнее с отсчетом, так как при совпадении отсчета и положения подсвета из-за большой яркости освещения и бликов изображение шкал может быть нечетким. Чтобы биссектор точно навести на штрих шкалы 2 прибора, расположенный между короткими штрихами шкалы манометра, нужно нажать на кнопку микровыключателя и одновременно вращать барабан микрометра. Отсчет давления (в условных единицах) складывается из номера штриха, на который наведен биссектор и

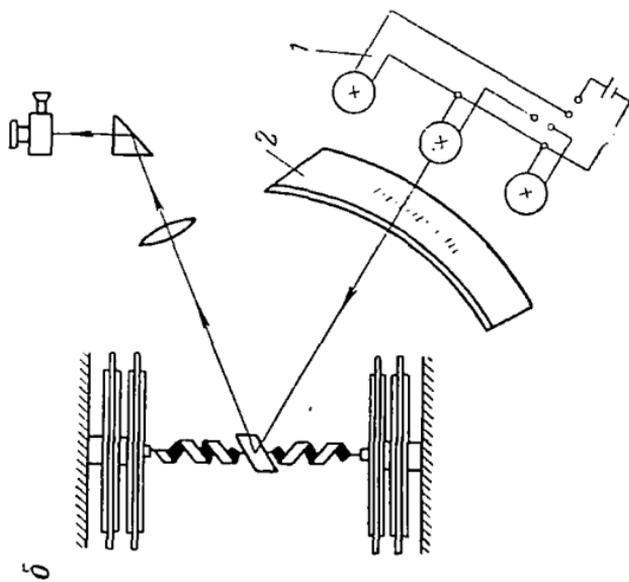
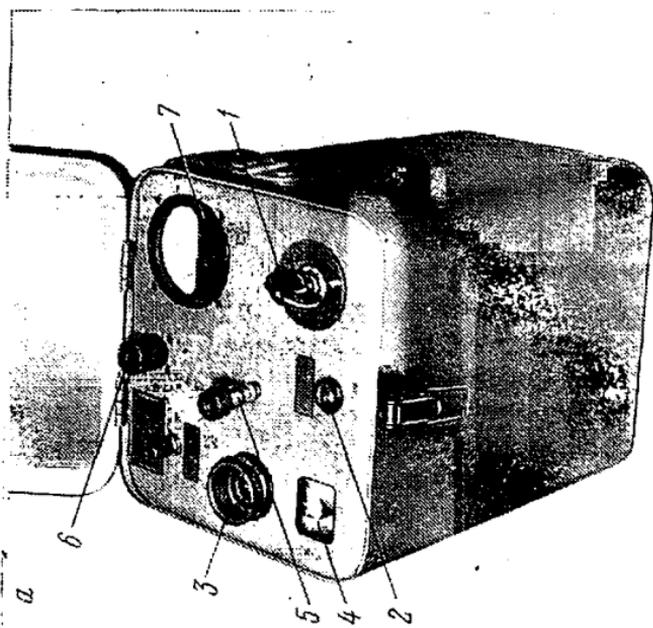


Рис. 9. Микробарометр МБ-63:

a — общий вид; *b* — схема устройства. 1 — переключатель подсвета шкалы; 2 — кнопка микровыключателя подсвета шкалы; 3 — окуляр микрометра; 4 — окошко для барабана микрометра; 5 — штуцер для сообщения датчика давления с атмосферой; 6 — разъем для подключения карманного блока питания; 7 — шкала электротермометра; 8 — кнопка контроля напряжения

отсчета по барабану. Поставить переключатель в положение «Выключено».

Истинную величину атмосферного давления в замерной точке по результатам замеров прибором МБ-63 получим по следующей формуле:

$$P = P' + \Delta P_t + \Delta P_v + \Delta P_0, \quad (11)$$

где P' — табличное значение давления при температуре прибора $+20^\circ\text{C}$, вычисленное по шкаловой таблице, приведенной в паспорте прибора; $\Delta P_t = t_{\text{н}}(t - 20^\circ)$ — температурная поправка; $t_{\text{н}}$ — температурная поправка на 1°C (в паспорте прибора); t — температура прибора; ΔP_v — поправка на термоэластический градиент, вычисляемая по формуле.

$$\Delta P_v = 0,0003 (750 - P) (t - 20)$$

(условно принимается $P = P'$); ΔP_0 — добавочная поправка.

Приборы МБ-63 выпускает Московский завод «Гидрометприбор» пока только в неискробезопасном исполнении.

В оптическом микробарометре ОМБ [20] приемником атмосферного давления служит трехкоробочный анероидный блок. Отсчетным приспособлением является двойной автоколлиматор. На металлической плите 2 неподвижно закреплен анероидный блок 1 (рис. 10, а). К той же плите крепятся пластины 3, на которых лежит верхняя плита 4. На верхней плите укреплены зеркала неподвижное 5 и качающееся 6, в которое упирается штоком 7 свободный конец анероидного блока 1. Изменение атмосферного давления вызывает поворот зеркала 6 вокруг горизонтальной оси относительно зеркала 5. Измеряют угол поворота с помощью оптической системы, состоящей из двойной автоколлимационной системы, оптического микрометра и отсчетного микроскопа.

Ход луча света следующий. Свет от источника света 8 через светофильтр 9 и конденсатор 10 попадает на стеклянную пластину 11, имеющую два штриха (один через всю пластину, другой до половины), образующие в верхней части пластины биссектор, а в нижней — одиннарный штрих. Затем, отразившись от плоскости полупрозрачного зеркала 12, лучи выходят из объектива 13

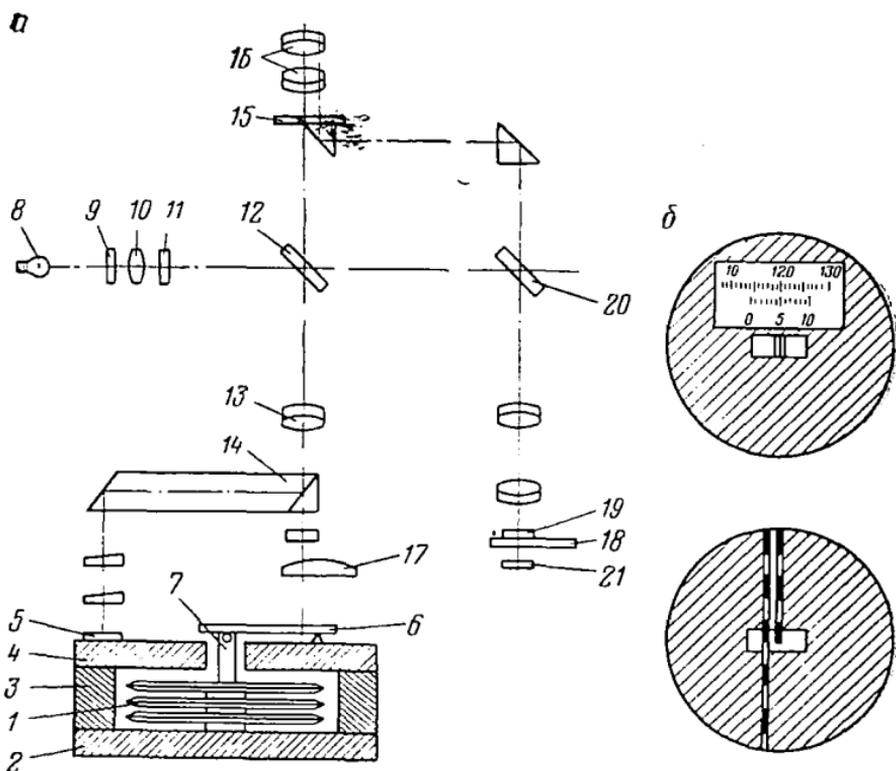


Рис. 10. Оптический микробарометр ОМБ:
 а — схема устройства прибора; б — вид поля зрения окуляра

параллельным пучком и попадают в приемный блок 14, откуда благодаря светоделительному слою часть света пойдет к зеркалу 6, а часть — к зеркалу 5. Отразившись от зеркал 6 и 5, световые лучи пойдут в обратном направлении через блок 14, объектив 13 и диафрагму 15, расположенную в плоскости изображения. Диафрагма имеет форму прямоугольника. В фокальной плоскости объектива 16 получим изображение штрихов (рис. 10, б) пластины 11.

В исходном положении подвижного зеркала одинарный (подвижный) штрих находится в середине биссектора. При наклоне подвижного зеркала вследствие изменения атмосферного давления в поле зрения наблюдается смещение изображения одинарного штриха относительно биссектора. Это смещение, пропорциональное углу поворота зеркала, является критерием измерения атмосферного давления. Для измерения этого смещения

служит ахроматическая компенсационная линза 17, жестко связанная со шкалой 18. По шкале с помощью конуса 19 (который, как и шкала, проектируется в верхнюю часть поля зрения окуляра объективом) производится отсчет. Освещение шкалы и конуса производится через систему зеркал 20 и 21.

Цена деления шкалы 0,20 мм рт. ст. Точность отсчета по нониусу 0,02 мм рт. ст. Предел измерения 80 мм рт. ст. Масса прибора 3,8 кг. Температурный диапазон работы прибора $(+40) \div (-30)^\circ\text{C}$.

Порядок работы с ОМБ:

а) прибор устанавливают примерно в горизонтальное положение;

б) отсчитывают температуру прибора по термометру;

в) включают освещение, винтом наводки совмещают подвижный штрих с серединой биссектора и, принимая нулевой штрих нониуса за индекс, снимают отсчеты по шкале.

В микробарометре МБЦ-1 с цифровым отсчетом используется интегральный компенсационный метод измерения давления. Схема и конструкция микробарометра состоит из узлов и элементов, серийно выпускаемых отечественной промышленностью. Блок-схема микробарометра приведена на рис. 11. Чувствительный эле-

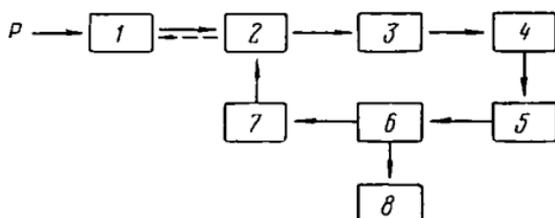


Рис. 11. Блок-схема микробарометра МБЦ-1

мент прибора (блок 1) при изменении давления P воздействует через множитительно-передаточный механизм 2 на индикатор 3 перемещений, на входе которого появляется сигнал. Этот сигнал усиливается усилителем 4 и через исполнительный блок 5, промежуточный механизм 6 воздействует на силовозбудительное устройство 7. На выходе этого устройства (блока) возникает усилие, благодаря которому жесткий центр чувствительного элемента возвращается в начальное положение. Цифровое от-

счетное устройство 8 связано непосредственно с блоком 6. Конструктивно микробарометр выполнен как переносной прибор.

Техническая характеристика микробарометра МБЦ-1

Пределы измерения, мм рт. ст.	720—810
Основная погрешность измерения, мм рт. ст.	$\pm 0,06$
Цена деления отсчетного устройства, мм рт. ст.	0,01678
Температурный коэффициент, мм рт. ст./град	0,034
Шкала прибора	Линейная во всем диапазоне измерения
Основные размеры, мм	150×200×220
Масса, кг	4

Микробарографы применяются как контрольные приборы при проведении депрессионных съемок, обеспечивающие регистрацию изменения давления примерно с такой же точностью, как и микробарометры. Они используются так же, как датчики в схемах диспетчеризации системы вентиляции шахт.

В комплект микробарографа СМБ-1 [18] входят: два струнных датчика давления 1, счетно-преобразовательный пульт 2, самопишущий микроамперметр 3 и блок питания 4 (рис. 12). Струнный датчик состоит из двух частично вакуумированных сильфонов, прикрепленных одними концами к струне из немагнитного материала, другими — к станине. Струна помещена в поле постоянного магнита. При изменении атмосферного давления изменяется натяжение струн и, следовательно, частота ее колебаний. Для поддержания незатухающих колебаний часть усиленного сигнала подается обратно на струну в фазе с генерируемым напряжением (струнный генератор). Латунная станина в верхней части имеет регулировочное натяжное устройство, к которому присоединяется один из концов сильфона. Струнный датчик помещен внутри экранирующего и теплоизоляционного кожуха (слой поролона и металлический кожух).

Счетный пульт состоит из эталонного кварцевого генератора, фазового дискриминатора и частотно-измери-

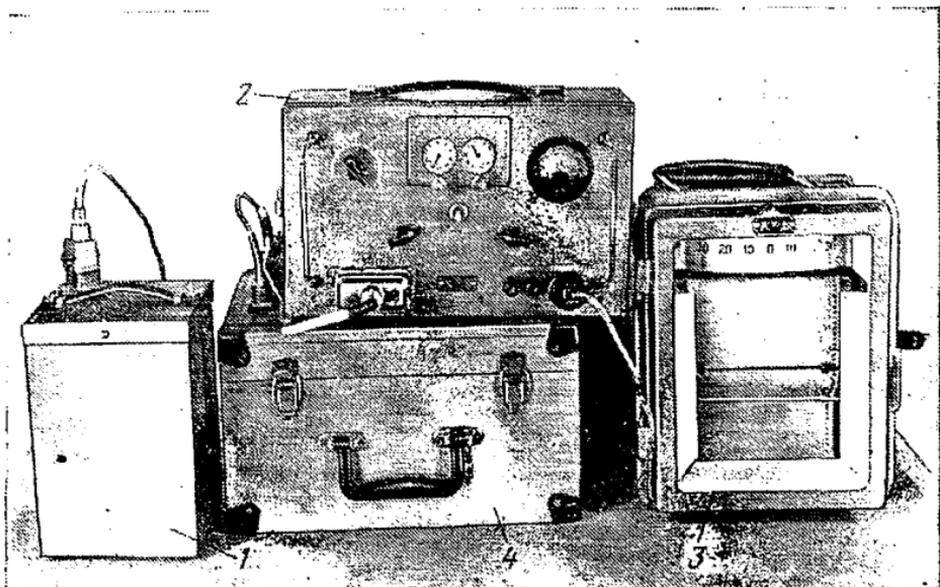


Рис. 12. Микробарограф СМБ-1

тельной цепи заряд—разряд. На фазовый дискриминатор подаются усиленные сигналы со струнного датчика и кварцевого генератора, а на его выходе получается напряжение разности частот струны и кварца, которые усиливаются и управляют работой поляризованного реле РП-5. Контактными реле управляется интегрирующая частотно-измерительная схема, в цепь которой включается самописец. В счетном блоке имеется механический счетчик СБ-1М-1000 для воспроизведения визуального отсчета. Кварцевый генератор состоит из четырех сменных кварцев, перекрывающих возможный диапазон изменения частоты струнного датчика в пределах заданного диапазона измерения атмосферного давления. Воспринимаемая частота кварцев находится в диапазоне 4960—5280 гц. Вся электрическая схема прибора СМБ-1 выполнена на полупроводниках с применением печатного монтажа (табл. 1).

В качестве самописца используется переделанный пишущий микроамперметр (МСШПР-01-18), в котором электромотор заменен часовым механизмом (207-4П) и увеличена чувствительность до 70 ма на всю шкалу.

В зависимости от характера работы струнный датчик

Таблица 1

Параметры блока питания микробарографа СБМ-1

Электрические параметры	Струнный датчик	Счетный пульт			
		кварцевый генератор и усилитель	механизм счетчика	частотно-измерительная схема	
				заряда	компенсаци и
U , в	7,5	12	50	6	3
I , ма	5	24	12	—	—
Тип батарей . .	2С-У-6	2С-У-8	БАС-Г-80	2С-У-8	2С-У-8

Техническая характеристика микробарографа СБМ-1

Рабочий датчик f_0 , гц	500
Чувствительность датчика $\rho_0 \cdot 10^{-4}$, мб/гц	0,286
Самописец:	
чувствительность, гц/дел	0,28
ширина рабочей части ленты, делен ний	100
скорость передвижения ленты, мм/ч	40
Пределы регистрации изменения давл ения, мб	850—1050
Основные размеры, мм:	
струнного датчика	146×146×270
счетного пульта	325×195×210
самописца	310×245×225
блока питания	335×280×195
Масса, кг:	
струнного датчика	2
счетного пульта	4
самописца	7
блока питания	9
Условия нормальной эксплуатации при бора:	
температура окружающей среды, °С	5—25
относительная влажность, %	85

может быть установлен как рядом с оставшейся частью прибора, так и на значительном от нее расстоянии. Следует по возможности изолировать датчик от резких колебаний температуры и толчков.

Подсоединяется питание к самописцу и счетному блоку. Переключателем диапазонов измерения подключается кварц в эталонном генераторе, частота которого

наиболее близка к частоте струнного датчика. При этом разностная частота, определяемая визуальным отсчетом, будет иметь наименьшее значение. Разностная частота определяется подсчетом числа импульсов n , поступающих с выхода дискриминатора на механический счетчик за интервал времени t

$$\Delta f = \frac{n}{t}. \quad (12)$$

Для определения знака разностной частоты отсчет берется на двух пределах измерения. Зная Δf , можно найти частоту струны датчика

$$f_d = f_{эГ} \pm \Delta f. \quad (13)$$

Имея f_d , нетрудно определить величину атмосферного давления из выражения

$$P = P_0 + 2\beta f_0 (f_d - f_0) + \beta (f_d - f_0)^2. \quad (14)$$

Журнал наблюдений и вычислений ведется по форме, приведенной в табл. 2.

Таблица 2

Измерение атмосферного давления микробарографом СБМ-1

Число и время	n	t , сек	$f_{эГ}$, Гц	Δf , Гц	$f_d = f_{эГ} \pm \Delta f$, Гц	$\beta \cdot 10^4 (f_d - 5000)$, мб	$\beta (f_d - 5000)$, мб	P , мб
4/XII 11 ч 30 мин	500	64,9	5120	-7,2				
					5112,8	32,35	0,36	993,71
13 ч 50 мин	500	15,3	5080	+32,75				
	1800	54,4	5080	+38,2				
	200	20,7	5120	-6,8	5113,2	32,46	0,36	993,82

После воспроизведения визуального отсчета к счетному блоку с помощью экранированного кабеля подключают самописец. Ручку переключателя поддиапазонов устанавливают против цифры, равной значению Δf . При этом стрелка самописца должна быть выведена примерно на середину ленты. Чтобы при увеличении давления стрелка прибора двигалась вправо, необходимо при соединении счетного пульта и самописца соблюдать поляр-

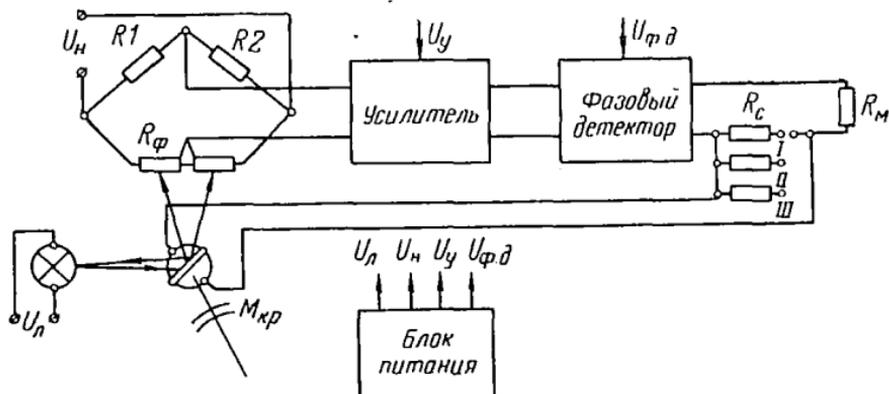


Рис. 13. Блок-схема КФМБ-1

ность. Периодически делается визуальный отсчет частоты для проверки записи по самописцу.

Перед записью определяется цена деления ленты

$$C = \frac{\partial P}{\partial f} q, \text{ мб/дел}, \quad (15)$$

где $\frac{\partial P}{\partial f} = 2\beta f_0$ — цена деления датчика; q — цена деления самописца.

Для определения q на выходе счетчика подают частоту от звукового генератора и изменяют ее в пределах ± 8 гц. Эти крайние положения регистрируются на ленте точками и берутся отсчеты частоты по механическому счетчику. Тогда

$$q = \frac{\Delta f_1 - \Delta f_2}{S_1 - S_2}, \quad (16)$$

где Δf_1 и Δf_2 — визуальные отсчеты разностей частоты звукового и эталонного генератора, гц; S_1 и S_2 — деления самописца, соответствующие этим отсчетам.

Компенсационный фотоэлектрический микробарограф КФМБ-1, блок-схема которого приведена на рис. 13, предназначен для измерения изменений статического давления. Измерительная система прибора работает следующим образом. При заданном давлении световой поток распределяется поровну на дифференциальном фотосопротивлении R_ϕ , напряжение на выходной диагонали моста отсутствует и на выходе прибора ток равен нулю. Если давление отличает-

ся от заданного, воздействие жестких концов анероидных блоков на двойную пружину вызывает поворот зеркальца, расположенного в центре нее, и световой поток перераспределяется на фотоспротивление. При этом на выходе моста появляется сигнал, который, усиливаясь, деориентируется и в виде постоянного тока протекает по нагрузке и по рамке магнитоэлектрического силового компенсатора, создавая момент, возвращающий зеркальце и соответственно жесткие концы анероидных блоков в первоначальное положение. Применение силовой компенсации позволяет снизить в широких пределах влияние изменения параметров измерительной схемы, фотоспротивления, лампы, напряжения питания и т. д.

Техническая характеристика микробарографа КФМБ-1

Диапазоны регистрации изменений атмосферного давления, мм рт. ст.	1,75; 4,41 и 8,86
Пределы перестройки диапазонов измерения с помощью регулировочного устройства, мм рт. ст.	720—820
Основная погрешность измерения на втором и третьем пределах измерения, %	До 2
Температурный коэффициент, мм рт. ст./град	До 0,02
Питание	Автономное, от батарей аккумуляторов КНГК-10Д напряжением 5в
Длительность непрерывной работы без перезарядки аккумуляторов, ч . . .	16

Примечание. В приборе предусмотрена возможность подключения дополнительных внешних источников тока.

Опытный образец микробарографа КФМБ-1 изготовлен лабораторией рудничной вентиляции ДГИ и отделом аэрогазотермодинамики ИГТМ АН УССР. Рижским опытным заводом «Гидрометприбор» осваивается выпуск компенсационного фотоэлектрического микробарографа КФМБ-1 и микробарометра МБЦ-1.

Анемометры служат для замера скорости движения воздуха по горным выработкам. Для замера малых скоростей — от 0,1 до 0,5—1,0 м/сек — применяются анемометры со струнной осью, дифференциальные, термоанемометры и специальные анемометры, для скоростей от 1 до 20 м/сек — чашечные анемометры и крыльчатые с пластмассовой крыльчаткой.

В зависимости от цели замеров и величины скорости движения воздуха измеряют скорость в нескольких точках сечения выработки и среднюю скорость по сечению.

Замер по точкам производится воздухомерными трубками, прибором ДЕС-У, термоанемометрами, датчиками-термистрами, индукционным анемометром и другими приборами. Этот способ замера состоит в том, что все сечение выработки или трубопровода разбивают на равные площадки, в центре которых измеряют скорость движения воздуха. Затем все полученные значения скорости по точкам суммируют и делят на число замеров, получая среднюю скорость движения воздуха в данном сечении выработки. Для повышения точности замеров рекомендуется разделить сечение выработки на большее число площадок.

Среднюю скорость движения воздуха по сечению измеряют анемометрами различных типов двумя способами: «перед собой» и «в сечении».

При замере «перед собой» замерщик стоит в выработке лицом к струе и на вытянутой руке перемещает анемометр по сечению перед собой. Путь движения анемометра показан на рис. 14. При замере «в сечении» за-

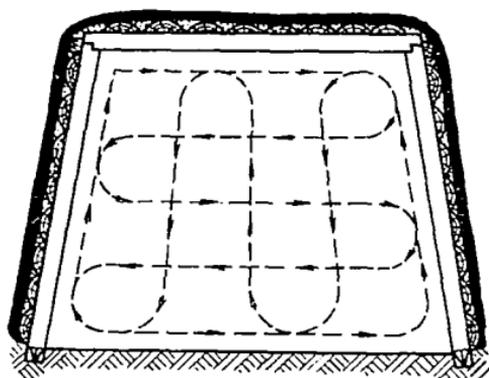


Рис. 14. Схема замера анемометром средней скорости движения воздуха обводом сечения

мерщик становится спиной к стенке выработки и, перемещаясь по сечению ее, равномерно перемещает анемометр перед собой на вытянутой руке. При замере берут начальный отсчет, затем одновременно с включением анемометра засекают время и по истечении 1—2 мин (лучше 100 сек, в зависимости от сечения) анемометр

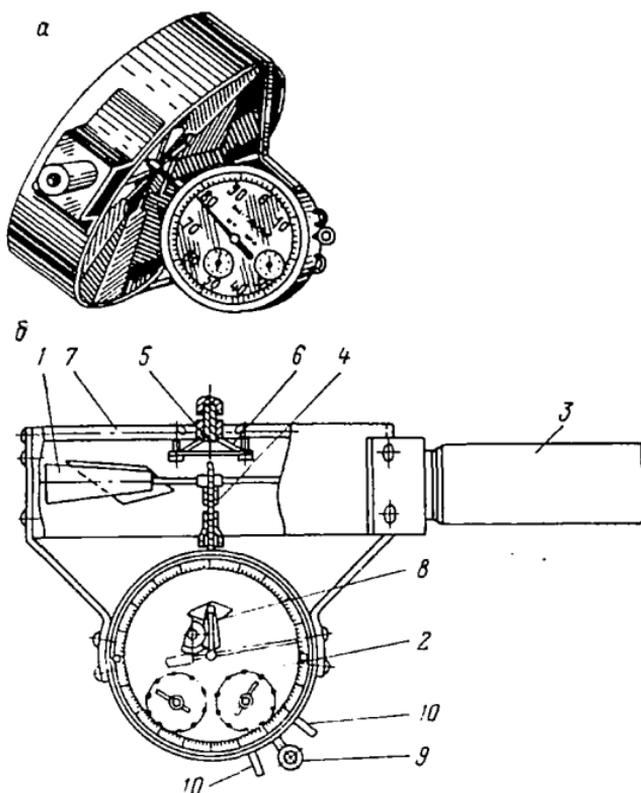


Рис. 15. Анемометр АСО-3:
а — общий вид; б — разрез

выключают и берут отсчет. После каждого замера вычисляют разность между конечным и начальным отсчетом. Замер повторяют 2—3 раза.

Крыльчатый анемометр АСО-3 (рис. 15) со струнной осью предназначен для измерения скорости движения воздуха от 0,3 до 5 м/сек. Анемометр состоит из трех частей: крыльчатки 1, размещенной в металлической обойме, счетного механизма 2 с циферблатом и трубчатой ручки 3, имеющей на одном конце внутреннюю резьбу для соединения с корпусом прибора или для установки прибора на деревянном шесте. Крыльчатка 1 соединена с трубчатой осью 4, которая вращается на натянутой стальной струне 5 и имеет подшипниковые втулки 6. Один конец струны закреплен неподвижно, а другой зажат в натяжном устройстве, расположенном в распорном стержне 7. При вращении крыльчатки труб-

чатая ось посредством червячной передачи 8 передает вращение зубчатому редуктору счетного механизма. Счетчик имеет стрелки: большая стрелка отсчитывает единицы и десятки единиц (по большой шкале) и две малых — сотни и тысячи единиц.

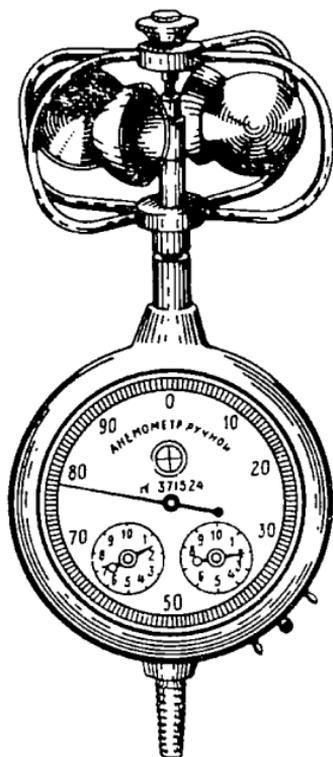


Рис. 16. Чашечный анемометр МС-13

Арретир 9 служит для включения и выключения счетчика. В корпусе прибора по обе стороны арретира имеются два ушка 10, через которые пропускается шнур, при помощи которого включается и выключается счетчик анемометра при замере с шестом.

Если m — число делений, показываемых счетчиком за t сек, то число делений в 1 сек будет $n_c = m/t$. Для пересчета числа делений n в фактическую скорость к каждому анемометру прилагаются два графика перевода (один для скоростей 0—1 м/сек, другой — для 1—5 м/сек) или даются поправочные множители.

Для получения средней скорости движения воздуха вводится добавочная поправка на способ замера.

Чашечный анемометр МС-13 (рис. 16) 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 опорах.

Крестовина с чашками защищена от возможных механических повреждений каркасом, состоящим из двух перекрещивающихся 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 3 до 20 м/сек. Порядок замеров та-

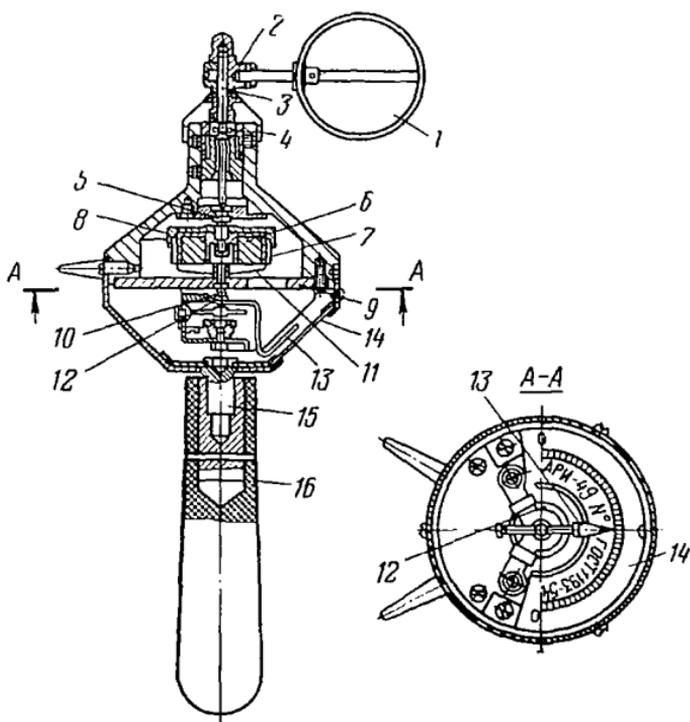


Рис. 17. Схема устройства анемометра АРИ-49

кой же, как и при крыльчатом анемометре. При замере анемометр должен находиться в вертикальном положении.

Анемометр ручной индукционный АРИ-49 (рис. 17) предназначен для измерения скорости воздуха от 2 до 30 м/сек. Действие анемометра основано на изменении скорости вращения трехчашечной вертушки по методу электрического индукционного тахометра. Шкала анемометра градуирована в м/сек (от 0 до 30 м/сек через каждые 1 м/сек).

Приемной частью анемометра является вертушка, состоящая из трех полусферических чашек 1, жестко закрепленных на втулке 2, насаженной на ось 3, которая вращается в насыпных подшипниках 4 и 5. На нижней части оси 3 жестко закреплена магнитная система, состоящая из постоянного магнита 6, магнитопровода 7 и температурного компенсатора 8, предназначенного для уменьшения температурного влияния на показания анемометра. На плите 9 смонтирована индикаторная часть

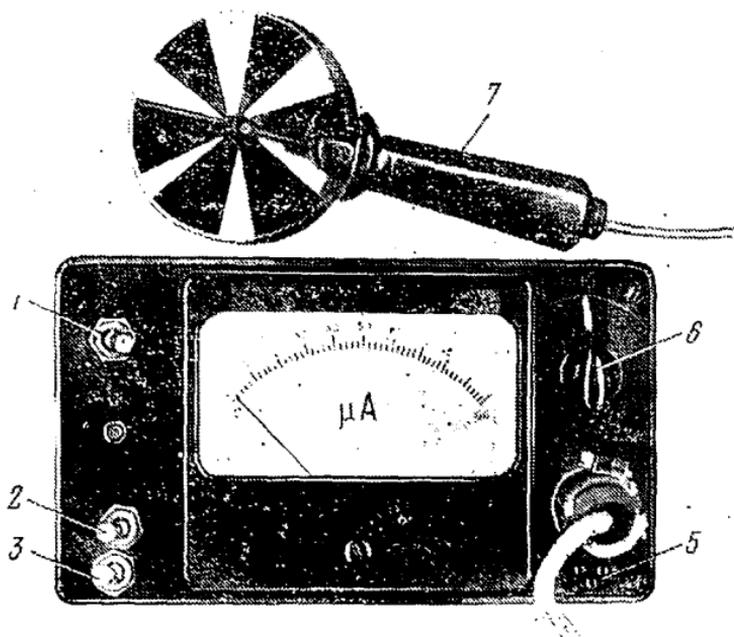


Рис 18. Фотоэлектроанемометр АФЭ-1:

1 — тумблер и кнопка контроля напряжения электрической схемы и лампочки накаливания; 2 — тумблер включения питания; 3 — включение питания лампочки накаливания; 4 — измерительный прибор; 5 — разъем для подсоединения первичного датчика и зарядного устройства; 6 — переключатель пределов изменения; 7 — первичный датчик

прибора, состоящая из оси 10, на которую насажены колпачок 11, волосок 12 и стрелка 13. Скорость воздуха определяется по положению стрелки 13 относительно шкалы 14, закрепленной на плите. Для наблюдения за показанием стрелки в нижней части корпуса имеется специальное окно. Ручка 16 навинчивается на резьбовую часть хвостовика 15 и служит для производства замеров.

При действии воздушной струи вертушки движутся в одну сторону, магнитная система, вращаясь вместе с осью, создает вращающееся магнитное поле, вызывающее в металлическом колпачке 11 вихревые токи. Взаимодействие вихревых токов с магнитным полем вызывает момент, приложенный к металлическому колпачку 11, под действием которого колпачок 11 поворачивается, закручивая волосок 12. Величина угла поворота оси с колпачком пропорциональна скорости вращения вер-

тушки, следовательно, отклонение стрелки анемометра связано определенной зависимостью со скоростью воздуха.

Замер скорости воздуха производится «по точкам». В каждой замерной точке анемометр держат на вытянутой руке вертикально в течение 15—20 сек, пока вертушка начнет вращаться со скоростью, соответствующей скорости потока, и затем снимают показания прибора по шкале. При наличии заметной пульсации берут несколько отсчетов для определения среднего значения скорости.

К прибору прикладывается тарировочное удостоверение с указанием поправок, которые необходимо вносить в показания прибора. Прибор не реже одного раза в год должен подвергаться проверке в аэродинамической трубе.

В фотоэлектрическом полупроводниковом анемометре АФЭ-1 (рис. 18) применен бесконтактный фотоэлектрический способ преобразования скорости вращения крыльчатки. Крыльчатка прерывает световой поток, падающий на фоточувствительный элемент, импульсы фототока усиливаются и считаются при помощи соответствующей электрической схемы. Показания прибора пропорциональны частоте прерывания светового потока, т. е. скорости движения воздуха.

Крыльчатка выполнена из пластмассы с лопастями, нарезанными по винтовой линии. Подвеска крыльчатки осуществлена с помощью кернов и подпятников.

В приборе формируются электрические сигналы по ширине и амплитуде и стабилизируются напряжение питания. В электрическую схему входят: усилитель, формирующее устройство (триггер Шмидта), согласующий каскад, интегрирующая цепочка с измерительным прибором и источником питания с зарядным устройством. Основные части собраны на триодах. Питается прибор от батарей аккумуляторов Д-02. Световой поток от искробезопасной лампочки АН-1-0,075 падает на фотодиод.

Прибор предназначен для измерения скорости потока воздуха от 0 до 20 м/сек. Погрешность измерения не более 5%. Масса прибора 2 кг.

Анемометр индукционный АИ-2 (рис. 19) предназначен для периодического контролирования ско-

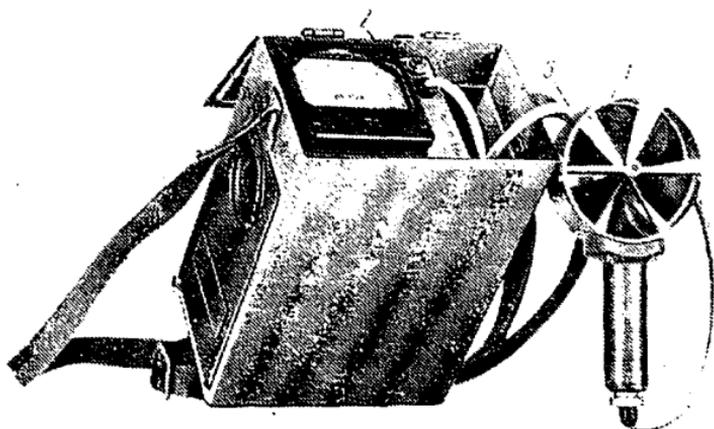


Рис. 19. Анемометр индукционный АИ-2

рости движения воздуха в горных выработках шахт и рудников, опасных по газу или пыли, в диапазоне 0,5—20 м/сек. Анемометр состоит из двух основных узлов: датчика 1 и вторичного устройства 2, соединенных кабелем 3.

Датчик состоит из крыльчатки, ручки и соединительного кабеля. Крыльчатка защищена от механических повреждений обоймой. Торцы лопастей пластмассовой крыльчатки армированы полосками пермаллоя. В ручке помещен бесконтактный магнитный преобразователь скорости вращения крыльчатки в частоту.

Вторичное устройство размещено в металлическом корпусе с откидной верхней крышкой. Здесь электрический сигнал детектируется, усиливается и формируется с помощью триггера Шмидта, который исключает влияние электрических наводок, температурной нестабильности схемы и глубины модуляции магнитного потока преобразователя на точность измерения. Формированный электрический сигнал поступает через согласующий каскад на частотомер — интегрирующее звено, в разрядную цепь которого включен измерительный прибор.

Питание прибора автономное и осуществляется от искробезопасного блока аккумуляторов Д-0,25.

С левой стороны вторичного устройства находится

переключатель поддиапазонов с градуировкой пределов измерения: «Выключено», «К», «5», «10», «20». В верхней части имеется панель, на которой закреплен измерительный прибор, кнопка выключения питания схемы, механически заблокированная с крышкой, и два гнезда «Запись» и «Заряд».

Техническая характеристика анемометра АИ-2

Пределы измерения, м/сек	0,5—20
Диапазоны измерения по шкале прибора, м/сек	0—5; 0—10; 0—20
Порог трогания датчика, м/сек	0.45
Основная погрешность измерения, приведенная к верхней отметке шкалы	$\pm 5\%$
Вид питания	Блок аккумуляторов
Напряжение питания, в	13,75
Напряжение заряда аккумуляторов, в	220^{+20}_{-40}
Ток, потребляемый прибором, ма	Не более 15
Продолжительность непрерывной работы на один цикл заряда при температуре среды 20°C, ч	Не менее 10
Основные размеры прибора, мм	175×108×220
Масса, кг	2,7
Исполнение	Рудничное искробезопасное РИ-2,5
Допустимые условия применения:	
температура окружающей среды, °С	(-5) ÷ (+35)
относительная влажность воздуха, %	98 ± 3
запыленность, г/м³	До 1

Для работы с прибором необходимо:

а) открыть крышку прибора и поставив переключатель поддиапазонов измерения в положение «К», проверить напряжение источника питания. Оно должно быть не ниже 11 в, что соответствует красной отметке против деления 11 м/сек на шкале 0—20 м/сек;

б) поставить переключатель поддиапазонов в положение «20»;

в) вынуть датчик из корпуса прибора и проверить исправность крыльчатки (в воздушном потоке она должна вращаться свободно и без стука).

Для определения скорости движения воздушной струи необходимо поместить датчик в измеряемый поток. Если стрелка указателя отклоняется на малую величину, необходимо рукоятку переключателя поддиапа-

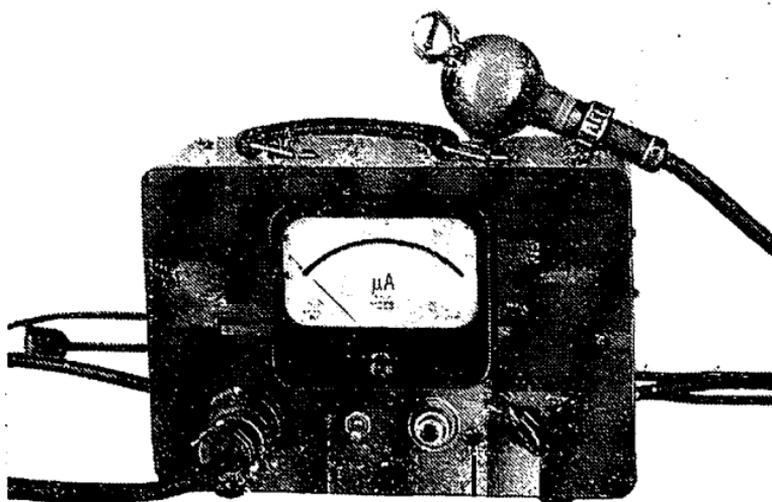


Рис. 20. Тепловой анемометр АТШ-1

зон поставит на меньший диапазон и по шкале соответствующего диапазона снять отсчет скорости движения воздуха. При значительных пульсациях воздушного потока, вызывающего колебания стрелки указателя, необходимо снять несколько отсчетов и по ним определить среднее значение скорости воздуха. После окончания замеров необходимо датчик поместить в корпус прибора, рукоятку переключателя поддиапазонов измерения поставить в положение «Выключено» и закрыть верхнюю крышку.

Не разрешается пользоваться анемометром при разрядке аккумулятора ниже 11 в.

Тепловой широкодиапазонный анемометр АТШ-1 (рис. 20) основан на следующем принципе: нагретое тело помещается в измеряемый воздушный поток и по изменению его температуры, которое преобразуется в показания прибора, судят о скорости движения воздуха. Однако приборы данного типа обладают значительной зависимостью показаний от температуры среды и условий теплоотдачи чувствительного элемента. В анемометре АТШ-1 этот недостаток устранен с помощью изменения мощности подогрева тела. Для автокомпенсации служат два термосопротивле-



Рис. 21. Термоэлектрический анемометр АТЭ-2

ния, которые поставлены в условия теплоотдачи (температура, влажность, запыленность), идентичные измерительному. Сигнал, пропорциональный скорости движения воздуха, также вводится в схему компенсации.

Пределы измерения 0—12 м/сек. Погрешность измерения не более 5%. Масса прибора 3 кг.

Днепропетровским институтом геотехнической механики АН УССР и горным институтом им. Артема совместно изготовлен макет прибора. Преимущества прибора заключаются в том, что можно измерять скорость движения воздушной струи в значительном диапазоне, исключая влияние температуры, влажности, атмосферного давления окружающей среды и запыленности измерительного элемента.

Термоэлектрический анемометр АТЭ-2 (рис. 21) основан на принципе охлаждения потоком воздуха нити нагрева термопар. При нагревании термопар возникает термо-э. д. с. При движении воздуха нить накала охлаждается, что вызывает падение термо-э. д. с. По величине падения термо-э. д. с. определяется скорость проходящего потока воздуха.

Пределы измерения 0—0,5 м/сек. Масса прибора 2 кг.

Термоанемометр состоит из следующих основных узлов: датчика скорости и направления; показывающего прибора (милливольтметра); батареи питания; электрических цепей с переключателем и реостатом.

Датчик скорости состоит из 35 последовательно соединенных термопар, изготовленных из константановой и стальной проволоки и установленных во внутренней части кольцевого корпуса из полистирола. Термопары расположены в два ряда. Один ряд — холодные концы термопар, а другой — горячие. Для нагревания слоев к ним приклеена манганиновая проволочка, по которой течет ток от батареи. Во избежание короткого замыкания концы горячих слоев термопар покрыты бакелитовым лаком.

Датчик определения направления потока состоит также из двух рядов термопар. В середине их на опорных проволочках прикреплена нить нагревания. При движении потока воздуха через датчик тепло с нити нагревания переносится потоком на один из рядов термопар в направлении воздушного потока. В результате этого стрелка измерительного прибора отклоняется от среднего положения в определенную сторону.

Для работы с анемометром необходимо:

а) открыть крышку прибора, достать датчик, соединительный шнур и соединить показывающий прибор с датчиком;

б) тумблером включить прибор на измерение скорости;

в) держать датчик с насадками в вертикальном положении и установить с помощью поворота ручки реостата стрелку прибора на «0»;

г) снять насадку с датчика и замерить скорость воздуха.

ДЕПРЕССИОННЫЕ СЪЕМКИ¹

1. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

Обычно депрессионные съемки производят для получения общей картины распределения сопротивлений по всей вентиляционной сети шахты. На основе этого материала намечаются мероприятия для улучшения вентиляции шахты или план ее реконструкции. В некоторых случаях ставятся специальные задачи: съемка наиболее трудного участка пути движения воздуха для выявления мест с чрезмерно высоким сопротивлением; определение величины потери напора в отдельных выработках или на местных сопротивлениях; проверка работы вентиляторов, включенных параллельно или последовательно; проведение депрессионной съемки специально для научных целей. Депрессионная съемка дает исходный материал для решения задач по методам электрических аналогий и на электронно-вычислительных машинах.

Часто депрессионная съемка является составной частью других видов специальных съемок: воздушной, тепловой, пылевой, газовой, радиометрической. В этом случае депрессионная съемка помогает более обоснованно и углубленно объяснить характер изменения параметров вентиляционной струи, изучаемой при специальной съемке. Например, при газовой съемке данные депрессионной съемки, проводившейся параллельно, помогают детально и углубленно разобраться в физической сущности явлений изучаемых, газовой съемкой.

Порядок работ при депрессионной съемке следующий:

а) изучение вентиляционного хозяйства шахты, схемы вентиляции и подземных работ, сбор материалов, ха-

¹ См. [9, 10, 11, 13, 16, 19, 22, 23].

рактизирующих геологию, схему вскрытия и горные работы шахты;

б) выбор маршрутов (направлений) съемки и замерных станций, а также получение высотных отметок замерных станций.

в) выбор снаряжения и подготовка его к работе.

Снаряжение. Так как в каждой замерной станции нужно определять давление воздуха, температуру, скорость движения воздуха, то для съемки нужны:

а) приборы для измерения давления воздуха. В зависимости от наличия приборов и поставленной задачи применяют депресснометры Комарова — Гескина, микробарометры и микроманометры с резиновой трубкой. При съемке депрессометрами необходимо также иметь микробарометр для наблюдения за ходом изменения барометрического давления;

б) анемометры для измерения скорости воздушной струи;

в) термометр или психрометр для измерения температуры воздуха с ценой деления шкалы не более $0,5^{\circ}\text{C}$;

г) секундомер и часы; при отсутствии секундомера можно пользоваться часами с секундной стрелкой;

д) рулетка;

е) книжка для записи наблюдений.

Перед началом работ все приборы должны быть проверены. Каждый прибор должен быть протарирован и иметь паспорт.

Выбор маршрутов и замерных станций. Выявления узких мест в вентиляционной сети шахты, а также затраты времени и средств на депрессионную съемку зависят от правильного выбора ветвей сети или маршрутов. Общую длину маршрутов и число замерных станций в маршрутах выбирают таким образом, чтобы в течение одной смены можно было произвести съемку на всех намеченных станциях (при съемке с барометрическим прибором). В исключительных случаях можно принимать длину маршрута такой, чтобы его обход могли сделать две бригады, последовательно сменяющие друг друга.

В зависимости от характера решаемой задачи маршруты съемки намечают либо по всем ответвлениям сети, либо по некоторым из них.

При выборе местоположения станций для замеров

необходимо руководствоваться следующими соображениями:

замерные станции должны выбираться не очень близко от стволов и вентиляционных дверей, чтобы колебания давлений от движения клетей и от закрывания и открывания дверей меньше сказывались на показаниях приборов;

учитывать пределы шкалы и точность прибора, измеряющего давление воздуха;

учитывать скорость движения воздуха по выработке; в выработках с большей скоростью станции замеров следует размещать чаще;

состояние вентиляционной выработки и загроможденность ее; желательно иметь точки замеров перед и после суженных и загроможденных участков выработки;

наличие высотных отметок в точках замеров;

наличие вентиляционных устройств и местных сопротивлений.

Обычно при отсутствии сильно суженных сечений выработки, вентиляционных дверей, воздушных мостов или каких-либо других местных сопротивлений замерные станции намечаются в начале выработки и в конце ее. Так, при замере депрессии штрека первая станция замеров берется на пересечении штрека с бремсбергом или уклоном, а вторая — у лавы и т. д. Если на пути движения воздуха имеется вентиляционная дверь с окном, воздушный мост, сильно суженный или загроможденный участок выработки, резкий поворот струи воздуха и т. п., то в таких случаях эти участки замеряют отдельно. Для этого намечают две добавочные замерные станции (одну до местного сопротивления, а другую — после него).

Подготовка приборов. Для правильности показаний во время съемки приборы до съемки должны быть проверены. Анемометры должны иметь тарировочные графики, имеющие давность не более шести месяцев. Анемометры не должны иметь механических повреждений. Проверяется исправность счетчиков оборотов у крыльчатых анемометров на слух (не должно быть треска при работе крыльчатки). Термометры аспирационного психрометра должны дать одинаковые показания.

Определяется также удельный вес спирта, предназначенного для микроманометра. Сначала делают чистку микроманометра, особенно трехходового крана. Исправность микроманометра определяют проверкой прибора на герметичность, для чего отсасыванием или вдуванием в микроманометр через короткую резиновую трубку поднимают уровень спирта в измерительной трубе и наблюдают за ним в течение 1—2 мин. Понижение уровня спирта после зажатия резиновой трубки свидетельствует о нарушении герметичности прибора. Необходимо проверять резиновую трубку на воздухопроницаемость и на отсутствие в ней воды и талька (в новой трубке). Для удаления талька трубку надо продувать только не сжатым воздухом, так как в трубку могут попасть капли компрессорного масла. Воздухопроницаемость резиновой трубки проверяют сначала наружным осмотром, затем, подсоединив ее к микроманометру, поднимают уровень спирта, зажимают свободный конец резиновой трубки и следят за положением уровня спирта в измерительной трубке так же, как при проверке микроманометра. Измерение уровня указывает на наличие в трубке повреждений и на неплотность соединений, если трубка состоит из нескольких кусков.

Места повреждения можно обнаружить продувая трубку и последовательно пережимая ее в нескольких местах или погружая в воду и создавая в ней с помощью насоса избыточное давление. Тогда в местах выхода пузырьков воздуха можно обнаружить места повреждений.

Микробарометры МБ-1М необходимо через 6—12 месяцев тарировать. Перед съемкой надо проверить добавочную поправку, для этого в течение трех дней (минимум три раза в день) снимают одновременно отсчеты по микробарометру и ртутному барометру. Разницей в показаниях после введения необходимых поправок будет добавочная поправка. У микробарометров МБНП-1 и МБ-63 надо провести проверку цены деления, так как она изменяется со временем. Для этого к прибору подсоединяется U-образный манометр или микроманометр, и с помощью насоса в приборе создается разное давление. Сравнением его с показанием манометра определяется цена деления.

2. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ

При выборе оптимальных маршрутов в сложных вентиляционных сетях хорошие результаты дает применение теории графов, так как по топологическим свойствам вентиляционную сеть можно представить как граф.

Рассмотрим подробно понятия, связанные с графом, и их применение в вентиляционных сетях.

На практике с понятием графа встречаются очень часто. Если изобразить сеть дорог, связывающую некоторые города, линиями, а города — точками, то получается некоторая схема, по форме ничем не отличающаяся от схемы электрических соединений, сетки телеграфных связей или некоторой пневматической схемы. Таким образом, во многих случаях, отвлекаясь от физического смысла, можно изобразить некоторые черты объекта в виде схемы, отображающей его внутренние связи и не зависящей от природы объекта [13, 23].

Пусть задан граф (J, U) , если дано: непустое множество J , множество U . Каждому элементу u множества U поставлена в соответствие упорядоченная пара (i, j) элементов множества J , где $i \in J$; $j \in J$. Знак \in обозначает, что некоторый объект является элементом множества. Элементы множества J называют обычно вершинами графа, а элементы множества U — дугами графа.

Вентиляционная сеть, изображенная в виде точек, соединенных линиями, представляет собой идеальный случай конечного графа. То, что каждой дуге сопоставлена упорядоченная пара вершин (i, j) , соответствует заданию определенной ориентации дуги: i называется началом дуги, а j — ее концом. Геометрически множество J изображается точками, а множество U — линиями со стрелками, соединяющими эти точки.

Понятие графа лишь геометрически отражает связи, существующие между элементами объектов. Для количественной характеристики этих связей удобно ввести понятие сети. Сетью назовем граф, элементам которого сопоставлены в соответствие некоторые параметры. Если каждой выработке вентиляционной схемы сопоставить в соответствие ее аэродинамическое сопротивление, то такая схема будет сетью.

Путем в графе (J, U) называется последовательность дуг (u_1, u_2, \dots, u_m) , конец каждой из которых совпадает с началом предыдущей.

В графе, изображенном на рис. 22, а, последовательность $(1, 2, 8, 6)$ образует путь (числа в кружочках обозначают номера дуг). Контур — это конечный путь, у которого начальная вершина совпадает с конечной. Путь $(1, 2, 3, 9)$ в графе является контуром.

На основании понятия пути можно определить сильно связность графа. Граф называется сильно связным, если любые две его вершины i и j можно соединить путем, идущим из i в j . Так, граф, изображенный на рис. 22, а, является сильно связным.

С понятием дуги графа тесно связано понятие ребра. Ребром графа (J, U) называется множество пар элементов i и j либо $(i, j) \in U$, либо $(j, i) \in U$. Ребро, для которого вершины i и j являются концами, обозначается $[i, j]$. Изображается оно линией без стрелок. Каждой дуге (i, j) соответствует ребро $[i, j]$.

На рис. 22, б девять ребер, но только семь дуг, так как ребра 7 и 8 дугами не являются.

Если в определениях пути, контура, сильной связности заменить понятия дуги на понятие ребра, то получим понятие цепи, цикла и связности. Цепь — это последовательность ребер, в которой у каждого ребра одна из граничных вершин является граничной для предыдущего ребра, а другая — граничной для последующего. На рис. 22, б ребра (1, 7, 5) образуют цепь, но не образуют пути.

Цикл — это конечная цепь, начало и конец которой совпадают. Цепь (8, 3, 6) на рис. 22, б образует цикл, но не является контуром.

Число $v = n - m + 1$ (где n — число ребер; m — число вершин) называется цикломатическим числом графа. Группа циклов называется независимой, если каждый цикл содержит ребро, не входящее в другие циклы. Максимально число независимых циклов графа равно цикломатическому числу.

Граф называется связным, если любые две вершины его можно соединить цепью. Вентиляционная сеть одной шахты, очевидно, является связным графом.

Граф, в котором любые две вершины могут быть соединены единственной элементарной цепью, называется деревом. Дерево L называется полным деревом графа (J, U) , если оно содержит все вершины графа. Отметим очевидные свойства дерева. Дерево связано, если оно не содержит элементарных циклов, удаление любой дуги приводит к распаду дерева на несвязные части. Число дуг дерева на единицу меньше числа его вершин. Ветви графа, не вошедшие в полное дерево, называются связями, которые образуют антидерево.

Построим полное дерево для графа, изображенного на рис. 22, б, используя его свойства. Первую ветвь дерева выбираем произвольно, например 9. Затем добавляем одну из ветвей, примыкающих к первой, следя за тем, чтобы не образовался цикл. Всего таких ветвей четыре — 4, 1, 3 и 6. Добавим четвертую ветвь. Теперь к имеющейся части дерева 9, 4 добавляем ветви, следя за тем, чтобы не образовался цикл и т. д.

Полное дерево L будет построено, когда в него войдут все вершины графа (J, U) . На рис. 23, а приведен пример построения дерева для графа, изображенного на рис. 22. Здесь ветви дерева выделены утолщенными линиями. Из самого принципа построения дерева следует, что для одного и того же графа существует несколько деревьев. Способ построения дерева, приведенный выше, не единственный. Действительно, одновременно с построением дерева мы строим антидерево, куда входят все ветви, не вошедшие в дерево. Ветви антидерева назовем связями. При выборе связей мы должны соблюдать основное правило, которое следует из свойств дерева. При добавлении к антидереву новой связи связность оставшихся ветвей не должна нарушаться и не должно быть узла, принадлежащего только антидереву.

Антидерево, а с ним и дерево будут построены, когда среди оставшихся ветвей не будет ни одного цикла.

Важное значение в теории вентиляционных сетей имеют следующие понятия. Минимальным (максимальным) деревом сети называется полное дерево сети, сумма параметров ветвей которого минимальна (максимальна).

Под параметром ветви следует понимать некоторое число, отне-

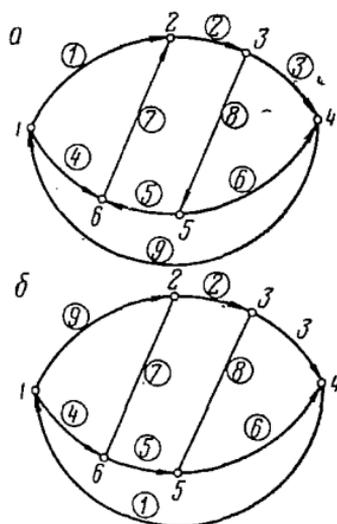


Рис. 22. К определению основных свойств графа

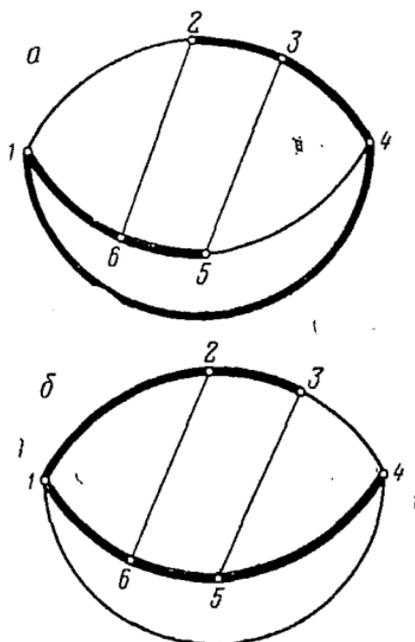


Рис. 23. К построению дерева графа

сенное к этой ветви. В вентиляционной сети такими параметрами могут быть длина выработки, расход воздуха в ней, ее аэродинамическое сопротивление и т. д.

Для построения минимального (максимального) дерева нужно несколько изменить алгоритм построения дерева, изложенный выше. Введем следующее правило построения дерева, обеспечивающее его единственность. На каждом шаге нахождения следующей ветви дерева из всех возможных ветвей в дерево следует включать ветвь с минимальным номером. Поясним это на примере построения дерева для графа, изображенного на рис. 22, б. Дерево, которое было получено для этого графа произвольным образом, изображено на рис. 23, б. Первая ветвь дерева, согласно правилу, должна иметь номер 1. Следующей ветвью дерева может быть любая из ветвей 3, 6, 9, 4, однако, согласно правилу, следует выбрать ветвь с номером 3, как минимальную из возможных. Теперь дерево содержит уже две ветви с номерами 1 и 3. Возможными ветвями дерева будут теперь ветви с номерами 2, 8, 6, 4, 9, из которых в дерево следует включить ветвь с номером 2. При определении возможных ветвей дерева следует основываться на свойствах дерева; дерево связано и не имеет циклов. Так, для построенной части дерева из ветвей 1, 3, 2 возможными ветвями дерева могут быть ветви 4, 7, 8, 6. Ветвь 9 не может войти в дерево, так как ее добавление ведет к образованию цикла из ветвей дерева 9, 2, 3, 1. Продолжая таким образом построение дерева, мы получим полное дерево (рис. 23, а) из ветвей 1, 3, 2, 4, 5.

Такой алгоритм построения дерева позволяет строить также и минимальное (максимальное) дерево сети. Если перенумеровать вет-

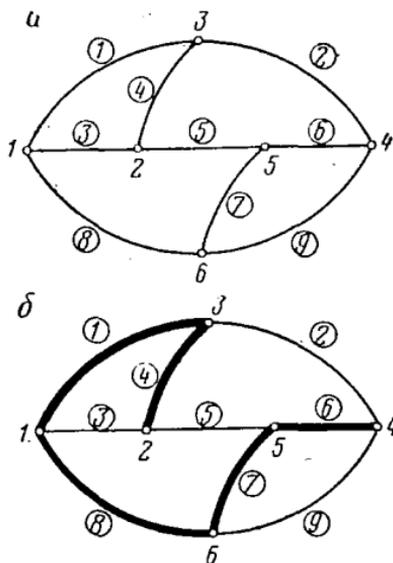


Рис. 24. К определению баз независимых циклов графа

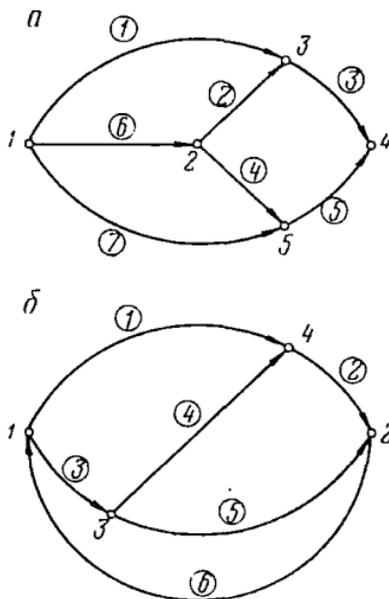


Рис. 25. К определению критического пути между двумя узлами сети

ви в порядке возрастания (убывания) их параметров, то построенное затем дерево будет минимальным (максимальным).

Разбивание графа на дерево и связи дает чрезвычайно простой алгоритм построения полной системы независимых циклов. Добавление к дереву любой связи влечет к образованию элементарного цикла и притом единственного [23]. Но в таком случае связи являются базами циклов, число которых равно $n - m + 1$. Эти циклы линейно независимы, так как каждый из них содержит ребро (связь), не входящее в другие циклы.

Построим систему независимых циклов для графа, изображенного на рис. 24, а. Для определения баз независимых циклов строим произвольное дерево графа (рис. 24, б). Ветви 1, 4, 8, 7, 6 образуют дерево. Следовательно, в качестве баз независимых циклов следует взять ветви 3, 5, 2, 9, которые совместно с ветвями дерева образуют четыре независимых цикла.

Для построения первого цикла возьмем ветвь — базу под номером 3. В качестве следующей ветви цикла можно взять любую из ветвей дерева, инцидентную ветви 3. Однако существует только один цикл, имеющий базой ветвь 3. Это цикл 3, 1, 4. Остальные циклы имеют вид: 5, 7, 8, 1, 4; 2, 6, 7, 8, 1; 9, 7, 6. Построенная система независимых циклов не единственная и зависит от выбора дерева графа.

Важное значение в прикладных вопросах теории графов имеет задача о нахождении критического пути между двумя узлами сети. Для сети (рис. 25, а) следует найти критический путь из узла 1 в узел 4, сумма параметров дуг которого максимальна.

Значения параметров l дуг:

Дуга	1	2	3	4	5	6	7
Значение l .	5	2	4	5	3	2	6

Наиболее распространены два способа нахождения критического пути.

1 способ заключается в определении всех возможных путей из l в 4 и нахождении среди них максимального.

Для данной сети (см. рис. 25, а) таких путей четыре:

1, 3	$\Sigma l_i = 5 + 4 = 9$
6, 2, 3	$\Sigma l_i = 2 + 2 + 4 = 8$
6, 4, 5	$\Sigma l_i = 2 + 5 + 3 = 10$
7, 5	$\Sigma l_i = 6 + 3 = 9$

Из сравнения значений Σl_i следует, что путь 3 (6, 4, 5) является максимальным.

Этот способ прост, нагляден, однако для сетей с большим числом ветвей неприменим, так как число всевозможных путей для крупных сетей чрезвычайно велико.

II способ заключается в поэтапном нахождении критических путей от начального узла до промежуточных, включая последний узел.

Весь алгоритм нахождения критического пути разбивается на два этапа. На первом этапе следует определить последовательность подсчета критического пути для промежуточных узлов. Для чего все узлы располагают в порядке возрастания их индексов α , где значение α для начального узла равно 0, а для каждого последующего узла — максимальному числу дуг в множестве путей из начального узла в данный узел. Для сети, изображенной на рис. 25, а, такая последовательность узлов имеет вид:

Узел	1	2	3	5	4
Индекс α	0	1	2	2	3

На втором этапе отыскивают последовательно критические пути между узлами 1—2; 1—3; 1—5; 1—4. Значения для каждого пути и ветви входящие, в подкритические пути, удобно свести в табл. 3.

При таком алгоритме поиска критического пути мы используем пути, полученные на предыдущих шагах, что значительно сокращает расчеты для крупных сетей.

Рассмотрим различные способы задания графа и сети. Во многих случаях для изображения графа в виде чисел используют матрицу. Квадратная матрица (a_{ij}) называется матрицей смежности графа G , где

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если существует дуга } (i, j), \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для графа, изображенного на рис. 25, б, матрица смежности имеет вид:

Узел	Дуга			
	1	2	3	4
1	0	0	1	1
2	1	0	0	0
3	0	1	0	1
4	0	1	0	0

Таблица 3

Данные к расчету критического пути

Узел пути (см. рис. 25)	Возможный		Максимальный	
	путь	Σt_i	путь	Σt_i
1—2	6	2	6	2
1—3	1	5	1	5
	6, 2	2+2=4		
1—5	7	6		
	6, 4	2+5=7	6, 4	7
1—4	1, 3	5+4=9		
	6, 4, 5	7+3=10	6, 4, 5	10

Пусть u_1, u_2, \dots, u_n — дуги графа G , а x_1, x_2, \dots, x_m его вершины. Положим

$$S_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{если } u_j \text{ исходит из } x_i; \\ -1, & \text{если } u_j \text{ заходит в } x_i; \\ 0, & \text{если } u_j \text{ не инцидентна.} \end{cases}$$

Матрица $S=(S_{ij})$ называется матрицей инцидентий для дуг графа.

Если u_1, u_2, \dots, u_n — ребра графа G , а x_1, x_2, \dots, x_m его вершины, то положим

$$r_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{если } u_j \text{ инцидентна } x_i; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Матрица $R=(r_{ij})$ называется матрицей инцидентий для ребер графа.

Для графа, изображенного на рис. 25, б, матрицы инцидентий имеют вид:

а) узлы—дуги

Вершина	Дуга					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	0	0	-1
2	0	-1	0	0	-1	1
3	0	0	-1	1	1	0
4	-1	1	0	-1	0	0

б) узлы—ребра

Вершина	Ребро					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1	0
4	1	1	0	1	0	0

Для представления сети более удобно использовать некоторые логические константы, задающие непосредственно соответствующие связи между ветвями и узлами сети.

Каждая k -тая ветвь сети задается как код вида a, i, j, k , где i — начало ветви, j — конец, k — номер ветви, а параметр a может служить для дополнительной информации при качественном различии ветвей сети.

Для графа (сети), изображенного на рис. 25, б, таблица кодов имеет вид:

$$\begin{array}{ll} 0, 1, 4, 1; & 0, 3, 4, 4; \\ 0, 4, 2, 2; & 0, 3, 2, 5; \\ 0, 1, 3, 3; & 0, 2, 1, 6. \end{array}$$

Рассмотрим некоторые примеры использования графов при решении различных вентиляционных задач.

Задача 1. Определение маршрута с максимальной (минимальной) депрессией.

Для сети, изображенной на рис. 26, а, требуется найти маршрут, депрессия которого наибольшая среди всех возможных маршрутов, соединяющих узлы 1 и 6.

Параметры ветвей вентиляционной сети:

Ветвь	1	2	3	4	5	6	7	8
Длина выработки, м	100	200	30	20	100	40	80	300
Депрессия, мм вод. ст.	30	20	5	10	15	25	10	30

Применяем второй алгоритм поиска критического пути. Последовательность нахождения критического пути согласно индексам узлов имеет вид: 1, 2, 4, 3, 5, 6.

Критический путь второго узла $h_{кр}^2$ состоит из одной ветви; его значение равно значению депрессии ветви 1, т. е. $h_1=30$, откуда $h_{кр}^2 = h_1=30$. Аналогично для узла 4 имеем $h_{кр}^4 = 20$. Для узла 3 существуют два пути: путь 1—3, значение которого равно $h^3 = h_{кр}^2 + h_3 = 30 + 5 = 35$, и путь 2—6, значение которого равно $h^3 = h_{кр}^4 + h_6 = 20 + 25 = 45$. Отсюда критический путь $h_{кр}^3 = 45$.

Для узла 5 из двух возможных путей 1, 4 и 2, 6, 5 критическим является путь 2, 6, 5; его значение равно $h_{кр}^5$

путей для узла 6 критическим, очевидно, будет путь 2, 6, 5, 8; его значение равно $60 + 30 = 90$.

Маршрутом, обладающим максимальной депрессией, является маршрут 2, 6, 5, 8; его депрессия равна 90 мм вод. ст.

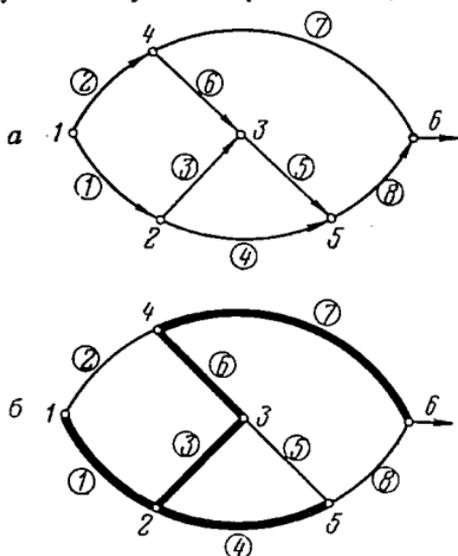


Рис. 26. К определению максимальной депрессии вентиляционной сети

Задача 2. Выбор кратчайшего по расстоянию маршрута.

Для решения этой задачи следует использовать первый алгоритм нахождения критического пути. При этом следует вместо критического пути находить цепь с минимальной суммарной длиной ребер. Сеть на рис. 26, а имеет шесть цепей:

1, 4, 8	$\Sigma l_i = 100 + 20 + 300 = 420$;
1, 3, 5, 8	$\Sigma l_i = 100 + 30 + 100 + 300 = 530$;
1, 3, 6, 7	$\Sigma l_i = 100 + 30 + 40 + 80 = 250$;
2, 6, 5, 8	$\Sigma l_i = 200 + 40 + 100 + 300 = 640$;
2, 6, 3, 4, 8	$\Sigma l_i = 200 + 40 + 30 + 20 + 300 = 590$;
2, 7	$\Sigma l_i = 200 + 80 = 280$.

Отсюда видно, что третья цепь 1, 3, 6, 7 обладает минимальной длиной.

Задача 3. Выбор мест установки датчиков расхода и датчиков давления с минимальной длиной кабельной трассы.

Для получения полной информации о распределении потока воз-

духа в шахтной вентиляционной сети необходимо датчики давления поставить в каждом узле сети. При этом длина кабельной трассы должна быть минимальной. Датчики расхода воздуха следует устанавливать только в базах-связях, так как задание расходов воздуха в ветвях-связях сети полностью определяет распределение воздуха по всей вентиляционной сети шахты.

Задача может быть решена построением минимального дерева, определяющего кабельные линии, и ветвей-связей, определяющих места установки датчиков расхода воздуха.

Для сети (см. рис. 26, б) строим минимальное дерево, параметрами ветвей которого является их длина, это дерево определит выработки, по которым должна пройти кабельная трасса (утолщенная линия). В остальных выработках следует установить датчики расходов воздуха.

Суммарная длина кабелей в этом случае равна сумме длин выработок 1, 3, 4, 6, 7, т. е. 270 м.

При произвольном выборе кабельной трассы ее длина может достигнуть 780 м (выработки 8, 7, 2, 1, 5).

Задача 4. Построение линейно-независимой системы уравнений, описывающих распределение потока в сети (см. рис. 26, а).

Как известно, распределение воздуха в вентиляционной сети удовлетворяет двум основным законам Кирхгофа:

для любого узла

$$\sum Q_i = 0; \quad (18)$$

для любого замкнутого контура

$$\sum h_i = 0. \quad (19)$$

Реализация первого закона не вызывает затруднений. Однако число произвольных контуров для сети даже с небольшим числом ветвей очень велико. Поэтому возникает задача о выборе полной системы независимых контуров, по которым может быть получена система уравнений (19) на основании известного соотношения $h = RQ^n$. Эта система может быть получена построением дерева сети с последующим получением независимых циклов и записи их в виде уравнений.

Строим некоторое дерево (см. рис. 26, б), тогда элементарные циклы будут иметь вид: 2, 1, 3, 6; 5, 4, 3, и 8, 4, 3, 6, 7. Соответствующие им уравнения с учетом направления движения воздуха следующие:

$$h_2 + h_6 - h_3 - h_1 = 0;$$

$$h_5 - h_4 + h_3 = 0;$$

$$h_8 + h_4 - h_3 + h_6 - h_7 = 0.$$

Знак каждого i -того члена в некотором контуре положителен, если направление движения воздуха в i -той ветви совпадает с направлением движения воздуха в базе, и отрицателен в противоположном случае.

При выборе ветвей кратчайшего дерева необходимо учитывать удобство и возможность передвижения с приборами по выработке.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ДЕПРЕССИОННОЙ СЪЕМКИ

Депрессионная съемка в шахте заключается в последовательном обходе горных выработок по намеченному маршруту с осуществлением на каждой замерной станции ряда операций. Особое внимание при этом уделяется поддержанию во время съемки постоянного режима вентиляции.

Депрессионная съемка микроманометром в сочетании с резиновыми трубками

Объем работ при съемке складывается из следующих операций: прокладка резиновой трубки по выработке; установка микроманометра; замер депрессии выработки на длину резиновой трубки; замер скорости движения воздуха анемометром; замер площади поперечного сечения в выработке в месте замера скорости и зарисовка эскиза (где это необходимо).

Обычно бригада состоит из трех-четырех человек. Рационально следующее распределение обязанностей между членами бригады:

бригада из трех человек — первый член бригады прокладывает резиновую трубку длиной 100 м или более, второй (бригадир), устанавливает микроманометр на ящике, в котором переносят прибор, и измеряет депрессию данного участка выработки. Снимается 9—10 отсчетов по микроманометру с промежутками 10—20 сек. При малом перепаде давления (менее 1 мм) длина измеряемого участка должна быть увеличена. Третий человек одновременно с отсчетами по микроманометру замеряет скорость в 5—10 м от места установки микроманометра. После этого он совместно с первым членом бригады замеряет поперечное сечение выработки;

бригада из четырех человек — трое делают то же, что и в бригаде из трех человек, а четвертый член бригады обычно помогает при замере сечения или делает самостоятельно замер скорости в другом конце стана, когда требуется найти количество утечек (притечек), рассредоточенных по длине этого участка.

Скорость движения воздуха замеряют в местах ненарушенной крепи вдали от вагонов или резких поворотов выработки. При наличии вагонов в сечении вы-

работки замер производят на расстоянии, равном не менее трехкратной длины вагона. Перед поворотом замер производят на расстоянии от него, равном не менее трехкратной ширины выработки, а после поворота — шести—восьмикратной.

Замер производят обводом сечения равномерными горизонтальными и вертикальными движениями (см. рис. 14) в течение 100 сек неоднократно повторяя до получения расхождения между двумя результатами не более 5%. Замер «перед собой» рекомендуется применять в выработках высотой не более 2 м. При большей высоте выработки анемометр следует прикреплять к палке. При малых скоростях движения воздуха замеры рекомендуется производить по точкам. Достоверность замеряемого количества воздуха зависит еще от правильного замера площади сечения выработки.

При прямоугольной и трапециевидной форме сечения замеряют обычно среднюю ширину и высоту в свету выработки. При креплении выработки специальным профилем измеряют максимальную ее высоту H и максимальную ширину, b , если выработка не нарушена; если же форма сечения нарушена, то измеряют полный периметр выработки. В выработках, закрепленных бетоном с коробовым сводом или полуциркулярным сводом, измеряют ширину и высоту прямоугольной части выработки. В выработках неправильной формы без крепи посередине выработки устанавливают рейку и на нее наносят отметки через 20—25 см. На уровне этих отметок измеряют ширину выработки, затем аналогично измеряют ее высоту.

Для замера сечения неправильной формы можно применять метод фотограмметрии. Метод основан на фотографировании узкой полоски света, освещающей выработку по периметру в плоскости, перпендикулярной оси выработки, с последующим планиметрированием снимка. Узкий пучок света создается с помощью специального устройства — приставки (рис. 27 и 28), которая насаживается на рефлектор обычного шахтного переносного светильника. В негазовых шахтах приставка может быть укреплена на лампе «вспышка». Приставка состоит из зеркального конуса 1 с углом при вершине 90° , плоскопараллельных дисков 2 с внутренней поверхностью, не отражающей света, насадки 4,

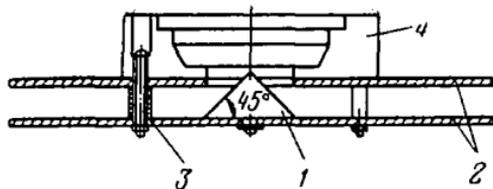


Рис. 27. Эскиз приставки к светильнику для фотографирования поперечного сечения выработки

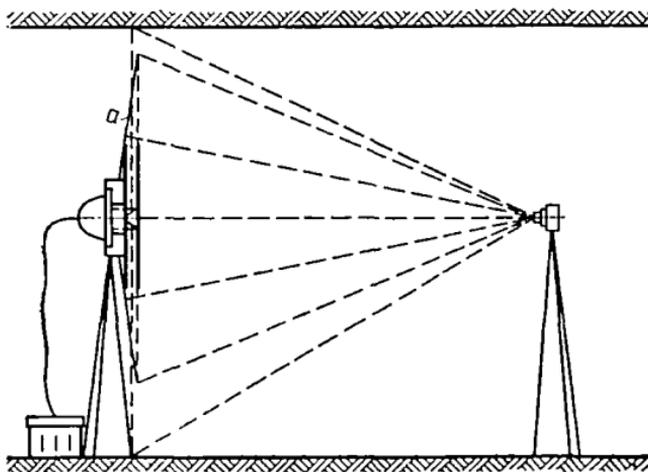


Рис. 28. Схема фотографирования поперечного сечения горной выработки

позволяющей крепить приставку к обойме рефлектора, и винтов 3, скрепляющих отдельные части. Для определения масштабов снимка к насадке прикрепляют масштабные линейки *a* (см. рис. 28). Масштабные линейки располагаются взаимно перпендикулярно (в вертикальной и горизонтальной плоскостях), и на них на одинаковом расстоянии от центра приставки имеются специальные шаровые отражатели света, располагаемые в плоскости его пучка.

При фотографировании необходимо обеспечить вертикальность одной из масштабных линеек. При отклонении фотоаппарата или приставки от плоскости, перпендикулярной оси выработки, получают на негативе неодинаковые длины линеек. При печатании позитивов эта ошибка исправляется наклоном печатной рамки на необходимую величину. Поперечное сечение выработки

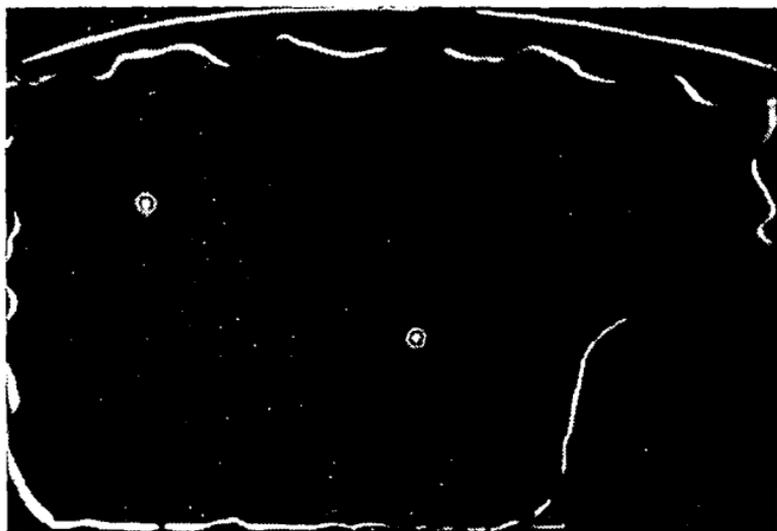


Рис. 29. Фотография поперечного сечения незакрепленной выработки

получается умножением масштаба на площадь выработки, определенную с помощью планиметра.

Фотографирование производят обычным фотоаппаратом с широкоугольным объективом на высокочувствительную пленку. Для иллюстрации возможностей данного метода приводится снимок поперечного сечения незакрепленной выработки (рис. 29).

Погрешность данного метода зависит в первую очередь от тщательности установки приставки и фотоаппарата относительно оси выработки и не превышает 3%. Фотографирование сечения на замерных станциях производится до съемки.

Замер депрессии. Микроманометр устанавливают на ящик, в котором его переносят, и с помощью установочных винтов по уровням добиваются его горизонтальности. При этом место установки выбирается таким образом, чтобы замеряющий с прибором создавал как можно меньшее сопротивление движению воздуха. После этого при закрытом кране соединяют конец растянутой резиновой трубки со штуцером с отметкой «+» или «-» в зависимости от того, в какой стороне от микроманометра расположена резиновая трубка (к большему или меньшему давлению). К другому штуцеру присоединяют кусок резиновой трубки длиной

50 см, чтобы избежать прямого задувания воздушной струи. После этого переключают кран при расположении наклонной трубки $K=0,8$ и выбирают возможно меньшее наклонное положение измерительной трубки. Выбрав наклон, ручку крана переключают на отметку «0» и снимают начальный отсчет, после чего можно снова переключить ручку крана и произвести измерения, следя при этом, чтобы не нарушилось горизонтальное положение прибора.

При замере депрессии в лавах микроманометр устанавливают или на откаточном, или на вентиляционном штреке. Резиновую трубку протягивают через всю лаву (с откаточного до вентиляционного штрека). Скорость движения воздуха замеряют одновременно с замером депрессии на откаточном и вентиляционном штреках. Желательно замер произвести при минимальной ширине рабочего пространства (до прохода комбайна). Сопряжения лавы с откаточным и вентиляционными штреками учитываются как местные сопротивления.

Результаты замеров записывают в журнал (табл. 4).

При определении депрессии вертикальных выработок обычно измеряют потерю депрессии на стометровом участке, чтобы использовать полученные при этом данные для всей выработки. Надо убедиться, что в выработке нет больших нарушений сечения (загромождения в виде полков и т. д.), а при наличии последних необходимо измерять депрессию на этих участках отдельно.

Резиновую трубку прокладывают по ходовому отделению с помощью троса, к которому прикрепляют резиновую трубку через 10—15 м. Один конец трубки устанавливают на расстоянии 10—15 м от устья ствола, а другой — в конце измеряемого участка ствола (110—115 м). Микроманометр устанавливают на поверхности у ствола. Величину канала вентилятора и сопряжения ствола с околоствольными выработками измеряют отдельно.

Исследования, проведенные в ДГИ, показали, что при значительных разностях температуры окружающей среды (в стволе) и в резиновой трубке может возникнуть большая погрешность замера, например при $\Delta t^{\circ}=1^{\circ}\text{C}$; $l_{\text{тр}}=100$ м ошибка может достигь 5 мм вод. ст. Так как в резиновой трубке (в ее средней части) воздух принимает температуру окружающей среды пример-

Таблица 4

Журнал замеров депрессии в выработках

№ участка	Наименование выработки	Время замера, ч—мин	Длина участка, м	Коэффициент наклона трубки К	Отсчет по микроманометру			Разность отсчетов	Депрессия, мм вод. ст.	№ анеометра	Длительность и способ замера	Отсчеты по анеометру		Разность отсчетов	Эскиз поперечного сечения выработки с указанием места замера	Краткое описание участка замера депрессии
					конечный	средний	начальный					конечный	начальный			
50—51в	5-й Южный откаточный штрек пласта К ₅	10—20	110	0,2	26	25	5	20	4	1105	100 сек в сечении	962	436	526		
					25	24,5	514									
					24	25,5	ср. 520									
					25	25										
					25,5	24,5										
					25	25										
					24,5	25										
					25	25,5										
					25,5	25,5										
					25,5	25,5										

Исполнитель:

но через 2 ч (в зависимости от Δt), необходимо прокладывать трубку за 2 ч до замера, особенно в воздухоподающих стволах и в их верхней части, где температура изменяется не линейно. Иногда прибегают к продуванию резиновой трубки насосом. Однако в верхней части воздухоподающих стволов этот способ положительных результатов не дает, так как изменение температуры на 100 м выработки значительно (особенно летом) и температура воздуха в резиновой трубке будет зависеть от того, с какого конца делалась продувка в этой трубке. При применении резиновой трубки длиной более 100 м время предварительной выдержки в выработке увеличивается дополнительно примерно на 2—3 ч на каждые 100 м.

В вертикальных вентиляционных выработках, где изменение температуры окружающей среды по отношению к температуре воздуха в трубке незначительно, можно применять продувку трубки насосом, однако замер депрессии производится через 5—10 мин после продувки.

Замер депрессии местных сопротивлений (резкие повороты, резкие изменения площади поперечного сечения выработки, кроссинги, вентиляционные двери с окнами и без них и др.) проводится отдельно. Для этого концы резиновой трубки устанавливают до и после местного сопротивления на 10—15 м.

Определение величины естественной тяги производится тремя способами:

1) замер через перемычку. Для этого на одной из горных выработок, по которой движется общешахтная струя воздуха, сооружают плотную перемычку с дверью. Микроанометр устанавливают с одной из сторон перемычки, а конец резиновой трубки выводят по другую сторону перемычки. При остановленном главном вентиляторе закрывают двери и измеряют перепад давления, который равен величине естественной тяги;

2) замер в канале вентилятора. Применяется в том случае, если в канале главного вентилятора имеется шибер. После остановки вентилятора шибер опускается до отказа и производится замер разности давлений между атмосферой и в канале перед шибером;

3) замер на воздухоподающем стволе. Для этого нужно иметь на устье ствола противопожарные ляды,

которые закрываются после остановки вентилятора. Измеряется разность давлений между атмосферой и в стволе ниже ляд. При этих замерах перемычка, шибер или ляды не должны (по возможности) пропускать воздух. Измерять депрессию естественной тяги следует очень быстро, пока температура воздуха в выработке после остановки вентилятора не успеет существенно измениться. При замерах нужно перекрывать всю вентиляционную струю.

Изменение депрессии выработок переменного сечения. В замерную депрессию вводится поправка от изменения скоростей в концах стана, для чего измеряется скорость в конце и начале стана. Поправка возрастает с увеличением скорости воздушного потока.

Контрольные замеры. Для проверки проведенной депрессионной съемки как всего маршрута, так и его отдельных участков производят контрольные замеры. Контрольным замером для всего маршрута является замер перепада давления между атмосферным и точкой, находящейся десятью метрами ниже входа в вентиляционный канал ($h_{ш}$) или между атмосферным и перед вентиляторной установкой ($h_{в}$). Контрольные замеры отдельных участков маршрута (горизонтов) можно производить, имея перемычки или вентиляционные двери на параллельной ветви. Эти места обычно определяют до начала депрессионной съемки по расчетной схеме вентиляции.

Депрессионная съемка микробарометрами МБ-1М и МБ-63

На каждой станции замеряют барометрическое давление, скорость движения воздуха, поперечное сечение горной выработки, температуру рудничного воздуха в замерной станции и температуру микробарометра.

В бригаду обычно входят 2—3 человека. Обязанности членов бригады при разных способах проведения депрессионной съемки микробарометрами МБ-1М сводятся к следующему.

Способ последовательности отсчетов. Состав бригады в этом случае должен быть не менее трех человек. Один человек с микробарометром остает-

ся на поверхности для контролирования измерения барометрического давления. В его обязанности входит снятие отсчетов и запись их в журнале через каждые 15—20 мин. Два человека идут по маршруту депрессионной съемки. Один из них снимает отсчеты по МБ-1М и психрометру на каждой замерной станции. Другой производит замер скорости движения воздуха в замерных станциях. Если сечение замерной станции не определено заранее (в период предварительного знакомства с маршрутом), то после замеров давления и скорости движения воздуха обязательно нужно замерить сечение.

Способ одновременных отсчетов. При съемке бригада так же должна состоять не менее чем из трех человек. Два из них снимают отсчеты по МБ-1М и психрометрам одновременно в двух соседних замерных станциях, третий замеряет скорость движения воздуха, а затем с одним из них замеряет сечение выработки.

Способ комбинированных отсчетов. В этом случае бригада может состоять из двух человек. Оба снимают отсчеты одновременно в двух соседних станциях. Затем один идет с приборами с предыдущей станции на последующую, а за это время другой замеряет скорость движения воздуха. При встрече они вдвоем замеряют поперечное сечение станции и давление одновременно двумя микробарометрами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ПО ОДНОЙ ВЫРАБОТКЕ В ДВУХ СТАНЦИЯХ

Время	Станция 1	Время	Станция 2
9—00	П-1* 781,25	9—10	П-2 784,15
	П-2 780,80	9—20	П-2 784,20
9—10	П-1 781,35		П-1 784,65

* П-1—первый прибор, П-2—второй прибор.

По приведенным замерам определяется ΔP между станциями с учетом изменения давления за время перехода от одной станции к другой.

$$\Delta P_1 = (784,65 - 781,35) - (784,20 - 784,15) = 3,30 - 0,05 = 3,25 \text{ мм рт. ст.}$$

$$\Delta P_2 = (784,15 - 780,80) - (781,35 - 781,25) = 3,36 - 0,10 = 3,25 \text{ мм рт. ст.}$$

$$\Delta P_3 = (784,15 - 781,35) + (781,25 - 780,80) = 2,80 + 0,45 = 3,25 \text{ мм рт. ст.}$$

Перед вычислением ΔP во все отсчеты необходимо ввести инструментальные поправки (шкаловую, температурную, добавочную). При вычислении ΔP_3 второе слагаемое исключается. В данном случае для упрощения поправки не вводились.

Цена деления микробарометра может быть определена в мм вод. ст. ($\text{кгс}/\text{м}^2$), что позволит значительно упростить расчеты воздушно-депресссионной съемки и получить окончательно результаты депрессии в мм вод. ст.

Для повышения точности съемки следует определять дополнительные поправки на расхождение показания приборов при сравнении их с контрольным или станционным. Эти поправки дают возможность получить одинаковые значения абсолютного атмосферного давления при замере его в любой точке сети каждым из приборов, что очень важно при съемке в вертикальных и наклонных выработках.

Особое внимание надо обращать на съемку вертикальных воздухоподающих стволов. Из-за сложности тепловых процессов в вертикальных стволах объемный вес воздуха меняется с глубиной нелинейно и поэтому его необходимо определять как можно точнее с учетом влажности, а депрессию подсчитать с учетом сжимаемости воздуха. При определении депрессии стволом микробарометрами необходимо проводить съемку не менее 3 раз, пока не будут получены два близких результата замера. Замер по стволу производят одновременно всеми имеющимися приборами и лучше всего во время проверки ствола, когда можно делать промежуточные остановки для получения средневзвешенного значения объемного веса по стволу. При этом измеряют температуру воздуха, влажность и давление на первой сотне метров через каждые 25 м, на второй и третьей — через каждые 50 м, а дальше — через 100 м. Такая съемка ствола особенно нужна в летнее и зимнее время, когда влажность и температура в начальной и конечной точках резко отличаются друг от друга.

При крутом падении пластов даже при самом внимательном и бережном обращении с приборами во время передвижения через очистные забои возможны толчки и удары, что может привести к повреждению приборов, а само передвижение связано с большими затратами

Шахта «Саксагань»
12/X 1962 г.
Примерная запись замеров в полевом журнале

№ замерной станции	Наименование выработки	Время замера, ч—мин	Температура воздуха, °С	Микробарометр МБНП-1 № 408		Анемометр АСО-3		Время обвода, сек	Способ обвода	Эскиз сечений с размерами и другие примечания
				отсчет	±, °С прибора	отсчет по счетчику	разность отсчетов			
4	Околоствольный двор гор. 220 м	9—50	+9,065—80	+18,0	375	212	100	В сечении	Замер сечения производился методом фотограмметрии	
					387	208				100
					ср. 210					
6	Параллельный штрек гор. 220 м	10—00	+9,565—00	+18,0	795					

Исполнитель:

времени и нарушением нормального хода работ по съемке. Поэтому сначала обходят все выработки по намеченному маршруту на одном горизонте, а потом, начиная от околоствольного двора, по другому горизонту. В этом случае также имеет большое значение тщательная съемка по стволу между горизонтами, так как он будет являться связующим элементом отдельных съемок по различным горизонтам. При наличии достаточного числа приборов и наблюдений хорошие результаты дают одновременные съемки по всем горизонтам с последующим построением диаграмм распределения депрессии по отдельным горизонтам, что позволяет определить потери депрессии очистных забоев, находящихся между горизонтами. Съемка ствола производится одновременно большим числом приборов.

Результаты замеров заносят в полевой журнал (табл. 5).

На поверхности желательно применять микробарограф. Если контрольным прибором является микробарометр, то результаты желательно записать по форме, приведенной в табл. 6.

Таблица 6

Измерение атмосферного давления на поверхности
(прибором МБ-1М)

Шахта «Саксагань»
12/X 1962 г.

№ п/п	Время, ч—мин	Показания прибора		Исправленное (истинное) давление, мм рт. ст.
		давление, мм рт. ст.	температура, °С	
1	9—00	750,5	21,0	749,21
2	9—15	750,55	21,0	749,26
3	9—30	750,65	21,0	749,35
23	16—00	751,2	21,5	749,85

Исполнитель:

Отдельно делается замер местных сопротивлений. Естественную тягу обычно не измеряют, так как на основе замеров по маршруту получают превышение и величину удельного веса воздуха. Зная их, легко определить естественную тягу аналитически.

При депрессионной съемке способом последователь-

ных отсчетов особое внимание должно быть уделено контролю изменению атмосферного давления. Для регистрации изменений вентиляционного режима в одной из подземных выработок должна быть установлена контрольная станция, на которой с помощью микробарографа или микробарометра регистрируется изменение атмосферного давления в шахте.

По показаниям контрольных приборов в шахте и на поверхности строят графики изменения давления на станциях, которые используют для введения поправок на изменение атмосферного давления за период проведения воздушно-депресссионной съемки.

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЕПРЕССИОННОЙ СЪЕМКИ¹

1. ОБРАБОТКА ЗАМЕРОВ ВОЗДУХА

Количество воздуха Q , протекающее по горным выработкам или трубопроводам, определяется по формуле

$$Q = v_{\text{ср}} S, \text{ м/сек}, \quad (20)$$

где $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость движения воздуха в сечении выработки или трубопровода, м/сек; S — площадь поперечного сечения выработки или трубопровода, м².

Для получения скорости по данным из полевого журнала определяют число делений, приходящееся на 1 сек, по формуле

$$n = \frac{n_2 - n_1}{t}, \text{ дел/сек}, \quad (21)$$

где n — число делений счетчика, приходящихся на 1 сек; n_1 — начальный отсчет по шкалам счетчика; n_2 — конечный отсчет по шкалам счетчика; t — продолжительность замера, сек.

Скорость движения воздуха v определяется по тарифовочному графику. По величине n на оси ординат проводят параллельную оси абсцисс линию до пересечения с линией графика. Из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс. Пересечение перпендикуляра с осью абсцисс соответствует искомой скорости (м/сек). Вместо тарифовочного графика можно использовать формулу

$$v = n\alpha + b, \quad (22)$$

где α — угол наклона прямой к оси абсцисс; b — расстояние от начала оси координат до точки пересечения тарифовочной кривой с осью абсцисс.

¹ См. [15, 16, 19, 21, 22, 27].

Очень часто вместе с тарифовочным графиком даются тарифовочные коэффициенты α и b . Для получения истинного значения скорости движения воздуха $v_{\text{ср}}$ надо учитывать ещё поправку K от способа проведения замера.

Проф. В. Б. Комаров рекомендует вводить следующие поправки. Для способа замера «перед собой» средняя поправка принимается равной 1,14, для способа замера «в сечении» в зависимости от сечения выработки рекомендуется принимать:

при $S = 8 \text{ м}^2$	$K = 0,95$
„ $S = 7 \text{ м}^2$	$K = 0,943$
„ $S = 6 \text{ м}^2$	$K = 0,933$
„ $S = 5 \text{ м}^2$	$K = 0,92$
„ $S = 4 \text{ м}^2$	$K = 0,9$
„ $S = 3 \text{ м}^2$	$K = 0,867$
„ $S = 2 \text{ м}^2$	$K = 0,8$.

Принимая среднюю площадь миделева сечения $0,4 \text{ м}^2$, поправочный коэффициент можно подсчитать по формуле

$$K = \frac{S - 0,4}{S}, \quad (23)$$

где S — площадь поперечного сечения выработки, м^2 .

Если замер скорости движения воздуха производили в дверях или вентиляционном окне, то полученную скорость движения воздуха умножают на коэффициент $K=0,9$, если сечение окна менее $0,25 \text{ м}^2$, при больших сечениях окон и в дверях при $S_{\text{дв}} : S_{\text{гыр}} \leq 0,5$ принимают $K=0,95$, то

$$v_{\text{ср}} = vK. \quad (24)$$

Если выработка закреплена балками специального профиля и крепь не нарушена, площадь сечения определяется по формуле

$$S = 0,87 H b, \text{ м}^2, \quad (25)$$

где H — максимальная высота выработки, м; b — максимальная ширина выработки, м.

Если форма крепи нарушена, то сечение определяется через периметр P по формуле

$$S = \frac{P}{14,9}, \text{ м}^2, \quad (26)$$

или [15]

$$S = b(H - 0,1 b), \text{ м}^2. \quad (27)$$

Для выработок, закрепленных бетоном, сечение вычисляется по следующим формулам [22]:

сводчатая с коробовым сводом

$$S = b(h + 0,26 b), \text{ м}^2; \quad (28)$$

сводчатая с полуциркульным сводом

$$S = b(h + 0,39 b), \text{ м}^2, \quad (29)$$

где b и h — соответственно ширина и высота прямоугольной части выработки.

В незакрепленных выработках сечение измеряется замером через каждые 0,5 м высоты и ширины, которые наносят на бумагу, и планиметром определяют площадь.

Замеренное количество воздуха на нескольких горизонтах шахты, которые имеют разное барометрическое давление и температуру, приводят к нормальным условиям ($B_0 = 760$ мм рт. ст. и $t_0 = +15^\circ \text{C}$) по формуле

$$Q_{\text{пр}} = 0,38 Q_{\text{зам}} \frac{B}{273 + t^\circ}, \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (30)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — количество воздуха, приведенное к нормальным условиям, $\text{м}^3/\text{сек}$; $Q_{\text{зам}}$ — замеренное количество воздуха, $\text{м}^3/\text{сек}$; B — барометрическое давление, мм рт. ст.; t — температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕПРЕССИИ МЕЖДУ ЗАМЕРНЫМИ СТАНЦИЯМИ

Измерение микроманометром в сочетании с резиновыми трубками

По данным шахтных замеров определяется величина депрессии горной выработки на длине растянутой резиновой трубки

$$h = \Delta h K П, \quad (31)$$

где $\Delta h = h_k - h_0$; h_k — средняя величина показаний микроманометра (из полевого журнала); h_0 — начальный отсчет микроманометра; K — коэффициент наклона, указанный на дуге микроманометра; $П$ — поправочный коэффициент, учитывающий температуру и крепость спирта (приводится в таблице, прилагаемой к прибору),

$$П = \frac{\text{Удельный вес спирта при температуре замера}}{\text{Удельный вес спирта при } t=15^\circ \text{ С и крепости 95\%}}$$

Если при замере депрессии применяются воздухомерные трубки, то в величину h необходимо ввести поправочные коэффициенты.

Если площади поперечных сечений S_H и S_K выработки в начале и в конце участка (считая по движению струи воздуха) разные, то в измеренную депрессию участка следует вводить поправку

$$\Delta h_v = \frac{v_H^2 - v_K^2}{2g} \gamma, \text{ мм вод. ст.} \quad (32)$$

Необходимость введения этой поправки возрастает с увеличением разностей v_H и v_K , а также от точности замера депрессии. Если замер депрессии производится микроманометром, то точность замера равна 0,1—0,4 мм вод. ст., и поправку надо вводить при скорости потока 2—4 м/сек. При замере депрессии U-образным манометром точность замера равна 0,7 мм вод. ст., поэтому поправку следует вводить при скоростях потока 5 м/сек и более. Поправка имеет знак «+», если $S_H < S_K$.

При обработке результатов нужно определить погрешность съемки всего маршрута, которая не должна превышать 5%. Для этого суммируют депрессию по выбранному маршруту и сопоставляют ее с депрессией, замеренной в канале перед вентилятором. Однако контрольный замер в канале вентилятора не содержит в себе естественной тяги, поэтому, если тяга помогает работе вентилятора (имеет знак «+»), то ее величину следует вычесть из суммы депрессий по маршруту, или

наоборот. Необходимо также ввести поправку на динамический напор в канале вентилятора

$$\Delta h_v = \frac{v^2}{2g} \gamma, \text{ мм вод. ст.}, \quad (33)$$

где v — скорость движения воздуха в канале вентилятора у места установки конца резиновой трубки; γ — удельный вес воздуха в канале вентилятора.

Эта поправка имеет знак «+», если вентилятор работает на всасывание.

Измерение микробарометром МБ-1М

В первую очередь нужно определить истинное давление на замерных станциях. Для этого требуется ввести следующие поправки в показания микробарометра МБ-1М: шкаловую поправку, которая определяется по кривой шкаловых поправок, прилагаемой к прибору (поправки вводятся со своим знаком); температурную поправку, которая дается в заводском паспорте; добавочную поправку (так как в первом приближении она принята постоянной, то учитывают ее только при определении объемного веса воздуха).

Испытания опытных образцов приборов МБ-1М показали, что при резких изменениях температуры окружающей среды, даже после введения всех вышеназванных поправок, замеренное давление по прибору отличается на некоторую величину от истинного. Эта дополнительная поправка имеет знак «+», когда температура прибора ниже окружающей, в противном случае поправка имеет знак «—». При малой разности температур (до 5°C) эту поправку можно не учитывать, так как она находится в пределах точности снятия отсчета.

Пример. Показание микробарометра МБ-1М в замерной точке (околоствольный двор) $P=790,65$ мм рт. ст.; $t_{\text{пр}}=+21^\circ\text{C}$; $t_{\text{воз}}=+13^\circ\text{C}$.

По паспорту прибора найдены поправки в мм рт. ст.: шкаловая +1,65; температурная —0,02; добавочная —0,06; дополнительная температурная —0,10 и, следовательно, общая +1,47.

Исправленный отсчет микробарометра в замерной станции будет $790,65+1,47=792,12$ мм рт. ст.

Для получения депрессии между двумя замерными станциями необходимо исправленный отсчет микробарометра в последующей станции привести к отсчету в

предыдущей станции, введя общую поправку. Эта поправка учитывает разность давления между замерными станциями, вызванную разностью отметок, изменение атмосферного давления и разность скоростей движения воздуха.

Общая поправка складывается из следующих элементов.

Поправка на превышение

$$\Delta P_H = \frac{H_2 - H_1}{13,6} \gamma_{\text{ср}}, \text{ мм рт.ст.}, \quad (34)$$

где H_1 и H_2 — маркшейдерские отметки замерных станций со своими знаками; $\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$ — средний удельный вес воздуха, кгс/м³; γ_1 и γ_2 — удельные веса воздуха в замерных станциях, кг/м³.

Данная формула дает достоверные результаты в тех случаях, когда изменение температуры в выработках близко к линейному закону и влажность воздуха почти одинакова. Удельный вес воздуха определяется по формуле

$$\gamma = 0,455 \frac{P}{T}, \text{ кгс/м}^3, \quad (35)$$

где P — исправленное давление микробарометра в данной станции, мм рт. ст.; $T = 273 + t^\circ$ — температура воздуха в замерной станции, °К; t — температура воздуха в замерной станции, °С.

Подсчет объемного веса воздуха должен производиться с точностью до трех знаков после запятой.

При измерении депрессии воздухоподающих стволов, где процессы тепло- и влагообмена носят весьма сложный неустановившийся характер, подсчет $\gamma_{\text{ср}}$ по величине γ_1 и γ_2 не обеспечивает необходимой точности. Погрешность увеличивается еще и потому, что в формуле (35) не учитывается влияние влажности на объемный вес воздуха. Поэтому ошибки при определении $\gamma_{\text{ср}}$ могут привести к погрешности в определении депрессии до 33%.

Таким образом, при измерении депрессии наклонных и вертикальных выработок барометрическими приборами, особенно воздухоподающих стволов, для повышения точности определения поправки на превышение необхо-

димо измерять давление и температуру по сухому и влажному термометрам в ряде точек ствола (через 25—50 м в верхней части ствола), а средний удельный вес определять как средневзвешенный

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum \gamma_i l_i}{\sum l_i}, \text{ кгс/м}^3, \quad (36)$$

где γ_i — объемный вес i -того участка; l_i — расстояние между замерными пунктами i -того участка.

Объемную массу воздуха в каждом замерном пункте необходимо определять по приведенной ниже формуле, учитывающей влажность воздуха [21],

$$\gamma = 0,465 \frac{P}{T} \left(1 - 0,378 \frac{n_{\text{в}} P_{\text{нас}}}{P} \right), \text{ кг/м}^3, \quad (37)$$

где $n_{\text{в}}$ — относительная влажность, доли единицы; $P_{\text{нас}}$ — давление насыщенных паров.

При вычислении γ с точностью третьего знака после запятой ошибка не превышает 0,1%, что можно считать допустимым.

Как отмечалось ранее, на вентиляционных стволах, где разность температур незначительна (менее 3 °С), среднюю объемную массу воздуха можно вычислять по упрощенной формуле

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}. \quad (38)$$

Поправка от изменения атмосферного давления. При депрессионной съемке по способу последовательных или комбинированных отсчетов на показания приборов влияет изменение барометрического давления и вентиляционного режима во время перехода от одной замерной станции к другой. Поэтому надо вводить соответствующую поправку. Для получения надежных данных необходимо снимать отсчеты по контрольному прибору через каждые 10—15 мин, при этом точность контрольного прибора должна быть не ниже точности приборов для съемки. При съемке по способу комбинированных отсчетов, где применяются однотипные приборы, это условие выполняется само собой.

Поправка на изменение давления во время перехода от одной замерной станции к другой учитывается следующим образом: если при взятии отсчета на первой

замерной станции контрольный прибор показывает B'_k , а при взятии отсчета на второй замерной станции B''_k , то поправка будет равна разности $(B'_k - B''_k)$, причем общий знак поправки получится алгебраически

$$\Delta P_B = B'_k - B''_k. \quad (39)$$

На показание микробарометра в замерной станции влияет также величина скоростного давления, так как скорости движения воздуха в разных замерных станциях могут отличаться. Поэтому нужно в общую поправку вводить еще поправку на разность скоростных давлений

$$\Delta P_v = h_{v_1} - h_{v_2} = \frac{v_1^2}{2g} \gamma_1 - \frac{v_2^2}{2g} \gamma_2,$$

или

$$\Delta P_v = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g \cdot 13,6} \gamma_{cp}. \quad (40)$$

При этом выражение имеет знак «+», если $v_1 > v_2$. При малых скоростях (до 3 м/сек) эту поправку можно не вычислять, так как она будет в пределах погрешности снятия отсчетов по микробарометру.

Общая поправка, которую надо ввести в исправленный отсчет микробарометра во второй точке, выразится

$$\Delta P_{об} = \frac{H_2 - H_1}{13,6} \gamma_{cp} + (B'_k - B''_k) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g \cdot 13,6} \gamma_{cp}. \quad (41)$$

Приведенное давление (относительно первой замерной станции) во второй замерной станции

$$P'_2 = P_2 - \Delta P_{об}, \text{ мм рт. ст.} \quad (42)$$

Депрессия между замерными станциями

$$h = P_1 - P'_2, \text{ мм рт. ст., или } h = (P_1 - P'_2)13,6 \text{ мм вод. ст.} \quad (43)$$

При замере депрессии вертикальных и наклонных выработок для разности отметок выше 200 м необходимо учитывать сжимаемость воздуха и вычислять депрессию по формуле [19]

$$h = B_{cp} \left(1 - \frac{B_2}{B_1} \right), \text{ мм рт. ст.,} \quad (44)$$

где $B_{\text{ср}}$ — среднеарифметическая величина давления воздуха в начальном и конечном пунктах выработки; B_2 — давление в конечном пункте выработки; B'_2 — давление неподвижного столба воздуха в конечном пункте, которое подсчитывается по формуле

$$\lg B'_2 = \lg B_1 \pm 0,4343 \sum_{n=1}^{n=k} \frac{\Delta H_n}{R_n T_n}; \quad (45)$$

B_1 — давление в начальном пункте выработки; ΔH_n — превышение конечного пункта участка выработки над начальным, м; R_n — среднее на участке значение газовой постоянной влажности воздуха, кгм/кг·град; T_n — средняя на участке температура воздуха, °С.

При замере воздухоподающих стволов с применением промежуточных точек на разных расстояниях, следует R_n и T_n вычислять как средневзвешенные.

Вычисления результатов депрессионной съемки по вышеприведенным формулам целесообразно свести в таблицу (см. табл. 14).

Если цена деления прибора определена в мм вод. ст. (кгс/м²), удельный вес воздуха определяется по формуле

$$\gamma = 0,017 \frac{P}{T}, \text{ кгс/м}^3, \quad (46)$$

где P — абсолютное атмосферное давление в замерной станции, кгс/м²; T — абсолютная температура воздуха, °С.

Количество (расход) воздуха в замерной станции

$$Q = 0,0278 (na + b) \frac{P}{T} (S - 0,4), \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (47)$$

где n — средняя скорость вращения крыльчатки анемометра, об/сек; a и b — постоянные коэффициенты анемометра.

Депрессия выработки между замерными станциями (точки 1 и 2)

$$h_{1-2} = (P_1 - P_2) - \left[\left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right) 0,0169 (H_1 - H_2) + \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right) 0,00086 (v_1^2 - v_2^2) \right] - (B'_k - B''_k), \text{ кгс/м}^2, \quad (48)$$

где P_1 и P_2 — атмосферные давления в замерной станции, мм вод. ст. B'_k и B''_k — абсолютные атмосферные давления по стационарному (поверхностному или подземному) прибору во время снятия отсчетов по микробарометрам в точках 1 и 2, кгс/м²; H_1 и H_2 — абсолютные высотные отметки замерных станций.

Расход воздуха и средняя скорость его движения в замерной станции, а также депрессия между двумя точками, расположенными на маршруте, может быть вычислена с помощью ЭЦВМ по стандартной программе.

Измерение микробарометрами с относительной шкалой

Так как депрессионная съемка приборами БН-4, МБ-63, МБНП в основном не отличается от съемки, проведенной микробарометрами МБ-1М, то и обработка шахтных замеров и вычисления депрессии одинаковыми. Пользуясь паспортом прибора и формулой (9), снятые в замерных станциях отсчеты приводят к значениям абсолютного давления. Далее вычисление производится так же, как и при применении барометрических приборов с абсолютной шкалой.

Когда съемка в целом или отдельные участки маршрута замерены ходом против течения вентиляционной струи, тогда на этих участках после вычисления h имеет знак «—», что обозначает движение против струи.

Автоматизированная система обработки аэродинамической информации о вентиляционной сети шахты на ЭЦВМ «Минск-22»

Для контроля за состоянием проветривания шахт, для выявления узких мест проветривания, вентиляционных резервов и разработки мероприятий по улучшению проветривания шахт, необходимо решение задач расчета вентиляционных сетей и управления воздушораспределением в них. Это, в свою очередь, требует знания основных аэродинамических параметров выработок. Их значения определяются проведением воздушно-депрессионной съемки (ВДС).

В настоящее время замеры ВДС все чаще проводят различного типа микробарометрами. Эти приборы достаточно точны и значительно сокращают время, затрачи-

взаемое на проведение замеров. Но большой объем информации, полученной в результате ВДС (одна съемка содержит до 500 замерных станций, в каждой из которых получено по 5 замеров), громоздкость вычислений приводит к тому, что основная масса рабочего времени (20—30 дней) тратится не на проведение ВДС, а на обработку полученных результатов. В связи с этим возникает необходимость в автоматизации расчетов на ЭЦВМ, что позволит увеличить надежность получаемых результатов и значительно ускорить процесс получения необходимой информации о состоянии проветривания шахты.

Постановка задачи. Основными аэродинамическими параметрами вентиляционной сети являются:

h_{ij} — депрессия участка вентиляционной сети, началом которого является i -тая станция замера, концом j -тая замерная станция, кгс/м²;

Q_i — количество воздуха, проходящее в 1 сек, через поперечное сечение i -той станции, м³/сек;

v_i — скорость воздуха в сечении i -той замерной станции, м/сек.

R_{ij} — сопротивление горной выработки между i -той и j -той замерными станциями, мюрг.

Вычисление h_{ij} , Q_i , v_i , R_{ij} осуществляется по следующим формулам

$$Q_i = 0,0278(a_k n_i + b_k) \frac{P_i}{T_i} (S_i - 0,4),$$

$$v_i = \frac{Q_i}{S_i},$$

$$h_{ij} = P_i - \left\{ P_j - \left(\frac{P_i}{T_i} + \frac{P_j}{T_j} \right) [0,017(H_i - H_j) - 0,00086(v_i^2 - v_j^2)] + (B_i - B_j) \right\}, \quad (49)$$

где i, j — номер замерной станции по маршрутам депрессионной съемки; a_k, b_k — постоянные коэффициенты, соответствующие k -му анемометру; n_i — число делений анемометра в i -той замерной станции; S_i — площадь поперечного сечения выработки в i -той замерной станции; P_i, P_j — значения абсолютных давлений i -той, j -той замерных станций; H_i, H_j — геодезические отметки замерных станций; B_i, B_j — значения абсолютного атмо-

сферного давления по контрольному прибору МБ-63 в момент замеров в i, j -той точках.

Задача состоит в получении результатов ВДС в кратчайшее время после окончания проведения замеров в шахте. Иными словами, все вычисления должны быть полностью автоматизированы и выполняться на ЭЦВМ.

Методика расчета и заполнения исходной информации. Для того чтобы избежать дополнительных затрат времени на переписывание исходной информации, замерщик уже в шахте заполняет специальный бланк, с которого происходит кодировка данных замеров для последующего задания на ЭЦВМ.

Для расчета по формулам (49) в каждой станции замеров должны быть известны параметры P, t_b, B_k, S, n, a, b и H . Из этих величин заранее известны a, b и H . Величины t_b и n определяются непосредственным замером и сразу же заносятся на бланк.

Величины P, B_k и S непосредственным замером определить нельзя, для их получения необходимо провести серию расчетов. P и B замеряются микробарометрами МБ-63II. Отсчет по микробарометру переводится в мм вод. ст. при использовании интерполяционной таблицы данного прибора. Каждый микробарометр МБ-63II обладает своей интерполяционной таблицей, которая может быть представлена в виде табл. 7.

Таблица 7

Интерполяционная таблица микробарометра МБ-63II

Число делений микробарометра	Значение отсчета по микробарометру, мм вод. ст.
0	c_0
5	c_5
10	c_{10}
.	.
.	.
.	.

При переводе показания микробарометра некруглого 5-и пользуются еще и интерполяционной формулой

$$P' = c_i + \frac{c_{i+1} - c_i}{5} (N - n_i), \quad (50)$$

где P' — абсолютное атмосферное давление, соответст-

вующее отсчету по микробарометру; N — отсчет по прибору; c_i, c_{i+1} — значения отсчетов, между которыми находится N ; n_i — отсчет микробарометра, кратный 5, при котором выполняется условие

$$n_i \leq N \leq n_i + 5$$

Фактическое давление, соответствующее отсчету

$$P = P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t + \Delta P_0,$$

где P' — величина, вычисленная по формуле (50); $\Delta P_{\text{в}}$ — поправка на термоэластичность чувствительного элемента микробарометра; ΔP_t — поправка на температуру прибора (добавочная поправка); ΔP_0 — поправка на отклонение от показаний контрольного прибора при замерах поверхностного абсолютного атмосферного давления.

Для вычисления P' необходимо знать номер прибора и соответствующую этому прибору таблицу давлений.

Поправка

$$\Delta P_{\text{в}} = 0,00026 (P_{\text{тар}} - P') (t_{\text{приб}} - t_{\text{тар}}),$$

где 0,00026 — постоянный коэффициент; $P_{\text{тар}}$ — абсолютное давление, при котором происходила тарировка прибора, величина постоянная для данного прибора на срок между двумя тарировками; P' — абсолютное атмосферное давление, определенное по формуле (50); $t_{\text{приб}}$ — температура прибора, показанная им при замере P' ; $t_{\text{тар}}$ — температура прибора, выдерживаемая при тарировке.

Таким образом, для определения поправки $\Delta P_{\text{в}}$ необходимо знание номера прибора и соответствующего этому прибору значения $P_{\text{тар}}$ и $t_{\text{тар}}$ (табл. 8).

Поправка на температуру прибора

$$\Delta P_t = k_t (20^\circ - t_{\text{приб}}),$$

где k_t — коэффициент пропорциональности, зависящий от интервала температур; 20° — температура тарировки прибора.

Значение ΔP_t и температура $t_{\text{приб}}$ связаны между собой линейной зависимостью.

Вообще говоря, равенство температуры тарировки микробарометра 20°C не является обязательным, но

Таблица 8

Сводные данные по микробарометрам,
участвующим в съемке

Микробарометр	$P_{\text{тар}}$	$t_{\text{тар}}, ^\circ\text{C}$
0	P_0	t_0
1	P_1	t_1
2	P_2	t_2
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

для лучшей согласованности приборов между собой и упрощения расчетов желательно тарировку приборов производить при одной и той же температуре.

В данной программе расчет производится при условии, что $t_{\text{тар}}=20^\circ\text{C}$ для всех микробарометров. Данные для расчета удобно записать в следующей форме (табл. 9).

Таблица 9

Форма записи данных замеров температуры

Прибор	Значение k_{t_1} для первого температурного интервала	Значение k_{t_2} для второго температурного интервала
0	K_{0_1}	K_{0_2}
1	K_{1_1}	K_{1_2}
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
17	K_{17_1}	K_{17_2}

Поправка

$$\Delta P_0 = \frac{(P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) k_1 + (P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) k_2 - (P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) i_1 + (P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) i_2}{2}, \quad (51)$$

где $(P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) k_1$ — давление на поверхности, измеренное контрольным прибором перед началом съемки; $(P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) k_2$ — давление на поверхности, измеренное контрольным прибором после съемки; $(P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) i_1$ — давление на поверхности, измеренное i -тым прибором перед съемкой; $(P' + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_t) i_2$ — давление

на поверхности, измеренное i -тым прибором после съемки.

Величины P' , ΔP_v , ΔP_t вычисляются по указанным выше формулам, единственное, что надо указывать при определении ΔP_0 — это номер дня, в который проводится съемка.

Программа рассчитана на то, что съемка длится не более четырех дней.

Для расчета Q_i , v_i задаются номера анемометров и соответствующие коэффициенты a_i и b_i в виде табл. 10

Таблица 10

Сведения, данные к определению Q_i , v_i

Анемометр	a_i	b_i
0	a_0	b_0
1	a_1	b_1
·	·	·
·	·	·
·	·	·
17	a_{17}	b_{17}

Данные замеров, полученные во время проведения депрессионной съемки, сводятся в табл. 11.

Порядок работ перед съемками:

1) оттарировать микробарометры и анемометры и данные тарировки занести в соответствующие таблицы, которые, если прибор не выходит из строя, сохраняются до следующей тарировки;

2) для упрощения записи числового материала и экономии машинной памяти заводские номера приборов заменяют на номера, начиная с 0 и до 17 в восьмеричной системе счисления. Таким образом, в съемке должно участвовать микробарометров не больше 16 (10 с/с) и анемометров не больше 32 (10 с/с);

3) перед началом каждой съемки подробно изучается схема вентиляции шахты, намечаются маршруты, которые должны быть связаны между собой;

4) нумерацию замерных станций и выработок исследуемой системы вентиляции шахты производят в восьмеричной системе счисления (8 с/с), начиная с 0 узла — для станций, и с 0-й ветви для ветвей (выработок);

5) в связи с ограниченной памятью ЭЦВМ «Минск-

водная таблица данных замеров депрессионной съемки

Колонка	1	2	3	4
0	n, i, k	n — день i — узел k — ветвь	0	K
1	$0, m, a$	m -й барометр a -й анемометр	1	l
2	n_a	Отсчет анемометра	2	h_1
3	N_m	Отсчет по микробарометру	3	h_2
4	H	Высотная отметка	4	h_3
5	$t_{в}$ $t_{приб}$	Температура воздуха Температура прибора	5	h_4
6	N_k	Отсчет по контрольному микробарометру	6	h_5
7	S	Сечение		h_6

Примечание:

1. n — номер дня, в который производились замеры в i -той станции ($1 < n < 4$); i — номер станции замеров; k — номер выработки, в которой расположена i -тая замерная станция; n, i, k — занимают по три разряда ячейки памяти ЭЦВМ и отделяются от номера дня n запятой (например, если $n=3, i=11, K=22$, то нулевая строка будет иметь вид: 3.011022); m — номер микробарометра; a — номер анемометра; m и a занимают также по три разряда в ячейке памяти машины (например, если $m=5, a=7$, то в первой строке запишется 0,005007); n_a — показания анемометра при замере скорости воздушной струи в сечении i -той станции замеров (число делений); N_m — показания m -го микробарометра в i -й станции замеров (число делений); H — геодезическая высота замерной станции, м; $t_{в}$ — температура воздуха в сечении i -й станции замеров задается с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$; $t_{приб}$ — температура m -го микробарометра в момент замера давления в i -й станции замеров; N_k — показания контрольного прибора на изменение отклонения давления в процессе съемки (число делений); S — сечение выработки, м^2 . Если сечение задано, то в седьмой строке проставляется его значение, если нет, то в седьмую строку заносится нуль и тогда для определения сечения по формуле (51) заполняется правая часть таблицы, где l — ширина выработки, h_1, h_2, \dots, h_6 — высота выработки в шести равностоящих точках.

2. 4 и 6 строки заполняются после окончания проведения съемки для каждого дня.

2» число узлов (замерных станций) не должно превосходить 477₈, а число ветвей (выработок) 777₈. Сквозная нумерация не обязательна, так как это на работе программы не отразится;

б) на основании произведенной нумерации составляется логический массив, в котором i — номер замерной станции начала выработки, j — номер замерной станции конца выработки, k — номер выработки. В массив входят только те выработки, которые имеют замерные станции в начале и в конце.

В качестве контрольного микробарометра желательно использовать один и тот же прибор МБ-63И, которому для удобства приписывают номер 0. Этим микробарометром измеряется абсолютное атмосферное давление на поверхности в процессе проведения съемки: кроме того, по его показаниям сверяют приборы, участвующие в съемке. Эта сверка необходима для определения добавочной поправки ΔP_0 по формуле (51). Для этого перед началом съемки (первый замер) и после нее (второй замер) снимают показания всех барометров, участвующих в съемке. Данные замеров сводят в табл. 12.

Таблица 12

Сводные данные показаний всех барометров, участвующих в съемке

День	Номер замера	
	Отсчет по микробарометру	Температура прибора, °С
0	N_0	t_0
1	N_1	t_1
·	·	·
·	·	·
·	·	·
17	N_{17}	t_{17}

Если депрессионную съемку проводят в течение нескольких дней (не более четырех), то для каждого дня заполняют аналогичные таблицы.

Пример. На третий день съемки производились замеры в 53-й замерной станции, которая расположена в 76 выработке. Давление замерялось 14-м микробарометром, а скорость — 5-м анемометром. Отсчет по микробарометру равен 86,79, а число делений по анемометру равняется 7,51 дел/сек.

Температура микробарометра в момент снятия отсчета 86,79

равнялась 12,4°C, а температура воздуха была 15,2°C. Геодезическая высота 53-й замерной станции равняется — 308,55.

В момент снятия отсчета 14-м микробарометром контрольный (0-й) показал отсчет 73,44. Площадь поперечного сечения выработки в 53-й замерной станции равна 9,56 м².

На бланке эти данные должны быть в следующем виде:

0	3,053076	0
1	0,014005	1
2	7,51	2
3	86,79	3
4	—308,55	4
5	15,2:12,4	5
6	73,44	6
7	9,56	7

Распределение ячеек памяти:

- 0020—0177 — рабочие ячейки
- 0200—0203 — параметры
- 0203—0277 — константы
- 0300—1277 — массив $\langle N \rangle$
- 1300—2237 — таблицы 7, 8, 9
- 2240—2737 — массив $\langle P \rangle$
- 2740—3437 — массив $\langle P_{\text{атм}} \rangle$
- 3440—4437 — массив $\langle Q \rangle$
- 4440—4477 — СП 10→2
- 4500—4677 — таблица 11
- 4710—5007 — таблица 10
- 5010—5477 — свободные ячейки
- 5500—5716 — ПП вычисления и формирования массивов $\langle P \rangle$, $\langle P_{\text{атм}} \rangle$
- 5717—6077 — программа печати таблицы 7
- 6100—6143 — СП 2→10
- 6144—6211 — программа перевода числовой информации
- 6212—6250 — программа контрольной печати исходных данных
- 6251—6404 — программа печати массива $\langle P \rangle$
- 6407—6757 — свободные ячейки
- 6760—7034 — константы
- 7035—7137 — ПП печати на АЦПУ
- 7140—7263 — СП перевода 2→10 с занесением в буферный накопитель
- 7300—7503 — программа печати таблицы 8
- 10010—13777 — массив $\langle L \rangle$
- 14000—14777 — массив $\langle S \rangle$

Карта исходной информации

Зона	Признак числа	Адрес МОЗУ	Величина	Примечания
<i>Граница зоны</i>				
I	Десятичное	1540—2137	Таблица 7	C_{lk} , где $l = 0, 1, 2, \dots, 17$ — номер отсчета $k = 0, 1, 2, 3, \dots, 17$ — номер барометра. Величина C_{lk} заносится в ячейку с номером $1540 + 20k + l$
	То же	4710—4747	Таблица 10 1 столбец	a_i ($i = 0, 1, \dots, 17$) — номер анемометра; величина a_i заносится в ячейку $4710 + i$
	"	4750—5027	2 столбец	b_i ($i = 0, 1, \dots, 17$) — номер анемометра; величина b_i заносится в ячейку $4750 + i$
	"	2200—2217	Таблица 8 1 столбец 2 столбец	$P_{тар_i}$ ($i = 0, 1, \dots, 17$) $t_{тар_i}$ ($i = 0, 1, \dots, 17$) i — номер барометра. Величины $P_{тар_i}$, $t_{тар_i}$ заносятся соответственно в ячейки $2200 + i$ ($2220 + i$)
	"	1500—1517 1520—1537	Таблица 9 1 столбец 2 столбец	K_{i_1} ($i = 0, 1, \dots, 17$) K_{i_2} ($i = 0, 1, \dots, 17$)
<i>Границы зоны</i>				
II	Восьмеричное Десятичное	0300—1277 1300—1377	Массив $\langle N \rangle$ Таблица 11 1 столбец 1 замер	Место величины в массиве определяется следующим образом: $1260 + 20k + i$, где k — номер дня; i — номер барометра, с которого снято показание
	То же	1400—1477	1 столбец 2 замер	Место величины в массиве определяется аналогично предыдущему

Зона	Признак числа	Адрес МОЗУ	Величина	Примечания
II	Десятичное	4500—4577	2 столбец 1 замер	Место величины в массиве определяется аналогично предыдущему
	То же	4600—4677	2 столбец 2 замер	То же
	»	10010—13777	Массив $\langle L \rangle$	Заполняется согласно таблице 11 (столбец 1)
	»	14000—17777	Массив $\langle S \rangle$	Заполняется согласно таблице 11 (столбец 2)

Граница зоны

Заполнение таблицы параметров и перфорация материала. Таблица параметров расположена в ячейках памяти 0200—0203:

$$\begin{array}{l}
 0200 \langle n-1 \rangle 0000 \ 0000 \\
 \quad 1 \langle m-1 \rangle 0000 \ 0000 \\
 \quad 2 \quad 0000 \ \langle n_k \rangle 0000 \\
 \quad 3 \langle n'-1 \rangle 0000 \ 0000,
 \end{array}$$

где n — число замерных станций (узлов); m — число выработок; n_k — номер контрольного барометра; n' — максимальный номер узла.

В ячейку 4700 заносится N_k (показания контрольного барометра в момент времени, к которому приводится давление во всех узлах).

В ячейку 4701 заносится $t_{\text{приб}}$ (температура барометра в момент замера).

Исходная информация перфорируется в соответствии с табл. 13.

Инструкция к работе с программой.

1. Ввести исходную информацию.
2. Ввести программу и таблицы.
3. Ввести параметры.
4. Для выдачи на БПМ исходных данных на контроль. Пуск 6263. Останов 6277.

Выдача информации на БПМ происходит соответственно включенным ключам:

- 1 — массив замеров $\langle L \rangle$
- 2 — массив $\langle S \rangle$

- 3 — таблицы
- 4 — массив $\langle N \rangle$

5. Перевод 10→2. Пуск 6360. Останов 6424.

6. Вычисление и печать результатов. Пуск 6565. Останов 6757.

Включить ключ 1, если замеры P и $P_{\text{атм}}$ заданы в кгс/м². Включить ключ 2, если необходимо выдать на БПМ удельный вес воздуха в выработке. Для контроля исходных данных включить ключ 7. Пуск 6565. Останов 6757.

Выдаются на печать ошибки в исходной информации (табл. 14).

При включенном ключе 7 на печать выдается таблица результатов с пропуском строк, в которых допущены ошибки типа б), в), г), д). Если допущена ошибка типа а), то строка печатается, но Q в данной ветви принимает значение, равное 5.

7. Вычисление и печать таблицы приведенных давлений в узлах. Пуск 7421. Останов 7521.

При включенном ключе 7 на БПМ выдаются ошибки типа а), б) из предыдущего пункта, таблица на печать не выдается.

При включенном ключе 7 на печать выдается таблица результатов с пропуском строк, в которых допущены приведенные выше ошибки.

8. Выдача на БПМ массивов $\langle P \rangle$ и $\langle P_{\text{атм}} \rangle$. Пуск 6335. Останов 6343.

Выдача согласно включенным ключам: 1 — массив, 2 — массив.

В тех узлах, давление в которых подсчитано неправильно, в силу ошибок типа а), б) (см. табл. 14) будет стоять постоянная величина, равная 5.

Описание блок-схемы (рис. 30):

- 1 — контрольное суммирование;
- 2 — перевод числового материала 10→2;
- 3 — восстановление цикла по L ;
- 4 — ввод первой константы массива по i ;
- 5 — восстановление цикла ввода по i ;
- 6 — ввод параметров по i ;
- 7 — все ли восемь констант введены;
- 8 — восстановление цикла ввода по j и их ввод;

Систематизация ошибок в исходной информации

Ошибка	Печать на БЦМ	Причина ошибки
а) замер $N < 50$, или $N > 125$	Адрес ячейки, содержащий N , содержимое этой ячейки.	1) неправильно записан замер; 2) номер дня съемки l ($l < 1$, $l > 4$); 3) номер барометра $n_6 < 0$, $n_6 > 17$ —
б) неправильно записано по форме, либо отперфорировано содержимое ячеек $10010 + 5 i$, либо $10010 + 6 i$ ($i = 1, 2, \dots$)	Адрес ячейки и ее содержимое	—
в) в массиве замеров $\langle L \rangle$ отсутствует какая-либо ветвь, заданная в массиве кодов ветвей со знаком „+“	Адрес ячейки, содержащей код ветви, и содержимое ячейки	1) неправильная запись или перфорация кода ветви в массиве $\langle N \rangle$ 2) неправильная запись кода в массиве замеров $\langle L \rangle$
г) в массиве замеров $\langle L \rangle$ ветви, в которой производился замер, соответствует узел, исходя из массива $\langle N \rangle$, не соответствующий данной ветви	Адрес ячейки из массива и ее содержимое. Адрес ячейки, содержащей эту ветвь, в массиве замеров и ее содержимое	
д) в массиве $\langle L \rangle$ отсутствует узел, заданный в массиве $\langle N \rangle$	Адрес ячейки из массива $\langle N \rangle$ и ее содержимое	1) либо неправильная запись или перфорация узла в массиве $\langle N \rangle$ 2) либо неправильная его запись и перфорация в массиве $\langle L \rangle$

- 9 — все ли восемь констант введены;
 10 — получение $T=t+273$;
 11 — получение $Q_i = 0,0278(a_n + b_i) \frac{P_i}{T_i} (S_i - 0,4)$;
 12 — печать i ;

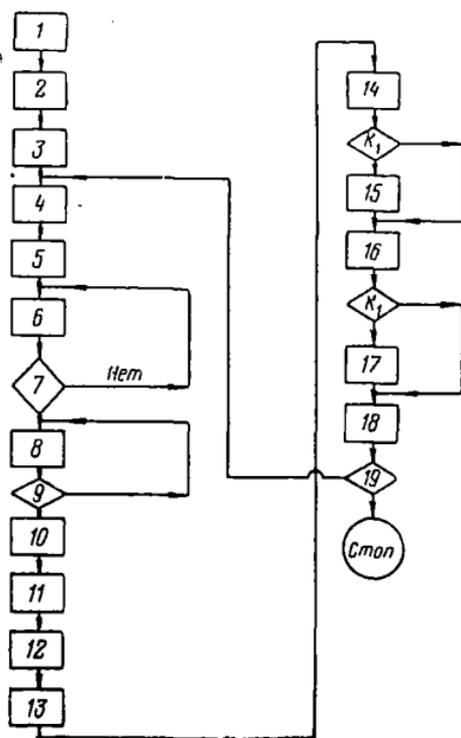


Рис. 30. Блок-схема обработки на ЭЦВМ материалов депрессионной съемки

13 — печать Q_i ; $v_i = \frac{Q_i}{S_i}$;

14 — получение Q_j ;

15 — печать j и Q_j ;

16 — получение v_j ;

17 — печать v_j ;

18 — получение $h=f(v_1; v_2; H_1; H_2; \dots)$;

19 — весь ли массив «L» перебран.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ

При сравнении результатов депрессионной съемки как отдельных шахтных участков, так и шахты в целом с показаниями депрессиометров следует иметь в виду, что установленные на поверхности депрессиометры, присоединенные к каналу вентилятора, замеряют только депрессию, создаваемую вентилятором, но не измеряют естественную тягу. При депрессионных же съемках в замеренную депрессию входит как депрессия, создаваемая вентилятором, так и депрессия естественной тяги. Следовательно, суммарная депрессия всей шахты, полученная в результате съемки, будет суммой депрессий, создаваемой вентилятором и естественной тягой. Поэтому, если естественная тяга помогает работе вентилятора, ее величину следует отнять от суммы депрессий замеряемых участков, чтобы получить депрессию, создаваемую вентилятором и фиксируемую депрессиомером; если же естественная тяга препятствует работе вентилятора, то эту величину нужно прибавить.

Учет естественной тяги связан со значительными затруднениями, так как она зависит от состава воздуха, влажности и температуры столбов воздуха, создающих естественную тягу, барометрического давления и глубины шахты.

Величину естественной тяги можно определить непосредственным замером (см. главу II) или аналитическим путем.

Определение депрессии естественной тяги аналитическим путем выполняется по средним удельным весам воздуха (способ однородной атмосферы). Для практических целей точность этого способа достаточна. Величина естественной тяги определяется по формуле

$$h_e = H(\gamma_1 - \gamma_2), \text{ мм вод. ст.}, \quad (52)$$

где γ_1 и γ_2 — средний удельный вес соответственно нисходящего и восходящего столбов воздуха; H — вертикальная высота столба, м.

Во избежание грубых ошибок при большой глубине шахты, температуру и давление измеряют не только на уровне земной поверхности и в околоствольном дворе, но и в нескольких точках ствола через каждые 100 м. Это

не трудно выполнить с клетки, условившись заранее с машинистом подъемной машины о местах остановки ее. Величина удельного веса воздуха в каждой точке находится по формуле (37).

Среднее значение удельного веса воздуха

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n}{n}, \text{ кгс/см}^3, \quad (53)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ — удельный вес воздуха в замеренных точках; n — число точек замера.

При подсчете по этому способу точность значения удельного веса воздуха будет тем выше, чем больше точек измерения температуры и давления воздуха.

Общая депрессия шахты

$$h_{\text{сб}} = h \pm h_e, \text{ мм вод. ст.}, \quad (54)$$

где h — депрессия, полученная депрессионной съемкой.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕПРЕССИОННОЙ СЪЕМКИ АНАЛИТИЧЕСКИМ ПУТЕМ

Чтобы представить возможные расхождения между контрольным замером у вентилятора и суммарной депрессией по маршруту, надо знать возможные погрешности замера депрессии отдельных участков маршрутов с применением различных приборов.

Съемка микроманометром

Обычно для съемки применяют микроманометры ММН-250, серийно выпускаемые отечественной промышленностью. Микроманометры выпускаются классов 0,5 и 1,0.

Суммарная депрессия маршрута

$$h_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (55)$$

где h_i — депрессия отдельного участка; n — число участков маршрута.

Суммарную депрессию маршрута $h_{\text{м}}$ получают также по разности атмосферного давления и давления в канале вентилятора с учетом скоростной поправки. Точность измерения этой депрессии достаточно высокая и ее мож-

Но принимать за истинную депрессию маршрута $h_{и}$. Тогда разность $\Delta h_{м} = h_{и} - h_{м}$ будет составлять суммарную невязку депрессии маршрута. Возникает вопрос, закономерна ли полученная невязка депрессии или она вызвана грубыми ошибками при замерах депрессии отдельных участков маршрута. Для ответа на этот вопрос необходимо аналитически определить с определенной вероятностью возможные систематические и случайные ошибки замера депрессии отдельного участка и маршрута в целом.

Систематические и случайные ошибки неодинаковы по своей природе, и их совместное действие на конечный результат измеряемой величины редко может быть разрешено с достаточной полнотой методами теории ошибок. Поэтому рассмотрим их влияние на результат измерения депрессии i -того участка отдельно.

Систематическая ошибка определяется классом точности прибора. Истинная величина и знак погрешности, вносимой в измерение прибором, неизвестны. Так, если микроанометр имеет класс точности 0,5, то при постоянной погрешности прибора 0,2 (обычно при этом положении измерительной трубки определяют депрессию отдельного участка) предельная систематическая погрешность δ не превысит 0,25 мм вод. ст. Естественно, эта ошибка имеет вполне определенный знак, но пока неизвестно какой. Знак и истинная величина систематической погрешности обычно не даются заводским паспортом и определяются только дополнительной тарировкой. Поэтому за систематическую ошибку принимается предельная величина δ , определяемая классом точности прибора.

Систематические ошибки типа приборных при любом (даже бесконечно большом) числе измерений всегда будут давать отклонения от истинного значения величины. К систематическим ошибкам не применимы статистические закономерности и можно давать лишь оценку их предельной величины.

Для маршрута величина предельной систематической ошибки находится по закону накопления систематических ошибок

$$\delta_{м} = \sum_{i=1}^n \delta_i = n\delta. \quad (56)$$

Например, если по маршруту имелись замеры на 40

станах, то предельная систематическая ошибка составит $40 \cdot 0,25 = 10$ мм вод. ст.

Истинное значение депрессии, измеряемой микроманометром типа ММН, определяется из выражения (31).

Кроме систематической ошибки, определяемой классом точности прибора, как видно из формулы (31), возможна систематическая ошибка за счет погрешности измерения крепости этилового спирта. Действие этой ошибки постоянно и односторонне за весь период съемки маршрута. Обычными спиртомерами нетрудно определить крепость спирта с точностью $\pm 0,25$ в объемных градусах.

При этом систематическая погрешность поправки не превысит 0,1%, что практически не окажет существенного влияния на точность определения суммарной депрессии маршрута.

Случайная ошибка определения давления на отдельном стане главным образом зависит от точности установки уровня, точности снятия начального и конечного отсчетов и соответствия температуры спирта в резервуаре температуре окружающей среды.

Установлено, что при тщательной установке уровня и периодическом контроле его положения погрешностью от негоризонтальности прибора можно пренебречь.

Как правило, при депрессионной съемке время нахождения приборов в шахте продолжительно, поэтому спирт в резервуаре микроманометра успевает принимать температуру воздуха горных выработок. Исключения могут быть при переходах со свежей струи на исходящую, или наоборот. Этот фактор зависит от конкретных условий и учесть его аналитически невозможно.

При разности температуры спирта и температуры воздуха в выработке порядка 10°C случайная ошибка в определении депрессии участка не превысит 1%.

Среднеквадратическую погрешность определения депрессии стана находим по закону накопления случайных ошибок

$$m_h = КП \sqrt{m_{h_{\text{cp}}}^2 + m_{h_0}^2}, \quad (57)$$

где $m_{h_{\text{cp}}}$ и m_{h_0} — среднеквадратические ошибки соответственно среднего конечного и начального отсчетов.

Обычно пользуются правилом: при однократном пря-

мом измерения абсолютная ошибка принимается равной половине цены наименьшего деления шкалы прибора. Поэтому m_{h_0} можно принять равным 0,5 мм наклонного столба.

При измерении депрессии стана в зависимости от колебания мениска берется несколько отсчетов. Средне-квадратическая ошибка среднего конечного отсчета находится по формуле

$$m_{h_{cp}} = \pm \sqrt{\frac{\sum (h' - h_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (58)$$

где h' — единичный отсчет; n — число отсчетов.

Для определения доверительного интервала, в котором находится истинное значение депрессии стана с заданной доверительной вероятностью, воспользуемся соотношением

$$\Delta h = m_h t_{pn}, \quad (59)$$

где t_{pn} — коэффициент, зависящий от p (доверительная вероятность) и числа отсчетов n и называемый коэффициентом Стьюдента.

Для практических расчетов достаточно принимать $p=0,95$.

Пример. $h_0=0$; $n=10$; $h_{cp}=10,6$ мм наклонного столба; $K=0,2$; $L=1,0$; $m_{h_0} = \pm 0,5$; $m_{h_{cp}} = \pm 0,6$. При $n=10$ и $p=0,95$ $t_{pn} = 2,3$.

По формуле (57) находим $m_h = 0,2 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{0,6^2 + 0,5^2} = \pm 0,14$ мм вод. ст. Тогда $\Delta h = 0,14 \cdot 2,3 = 0,32$ мм вод. ст.

Суммарная случайная погрешность маршрута с заданной доверительной вероятностью

$$\Delta h_M = \sqrt{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2 + \dots + \Delta h_n^2}, \quad (60)$$

где $\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n$ — случайные погрешности определения депрессии отдельных участков маршрутов (станов), найденные с одинаковой доверительной вероятностью.

Для простоты подсчетов принимается, что случайные погрешности, например, во всех 40 станах одинаковы и равны 0,32 мм вод. ст. Тогда $\Delta h_M = 2$ мм вод. ст.

При действии случайных и систематических ошибок в качестве верхней границы суммарных ошибок можно принимать

$$\theta_M = \delta_M + \Delta_M. \quad (61)$$

С заданной доверительной вероятностью можно утверждать, что депрессия маршрута не будет отличаться от истинной величины ее на величину θ .

Если величина невязки депрессии по маршруту превышает полученное значение θ , то следует искать грубые ошибки в замерах или это объясняется недостаточным числом наблюдений отдельных параметров.

Съемка микробарометром МБ-1М

Так как депрессия между отдельными точками вычисляется исключением из полученных прибором значений перепада давления поправок на превышение, изменения атмосферного давления и т. д., то, очевидно, точность полученной таким образом депрессии отдельного участка маршрута зависит, кроме точности замера давления, еще от точности замера параметров H , T , v , n и вычисления отдельных, указанных выше, поправок. Точность определения общей депрессии по маршруту зависит также от числа замерных станций, не говоря об абсолютной величине перепада давления между ними.

Потерю давления на отдельном участке при съемке барометрическими приборами можно вычислять по формулам:

$$h = P_1 - \left\{ P_2 - \left[0,017 (H_2 - H_1) \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right) + (B'_k - B''_k) - 0,00087 (v_1^2 - v_2^2) \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right) \right] \right\},$$

или

$$h = P_1 - [P_2 - (\Delta P_H + \Delta P_B + \Delta P_v)], \text{ мм рт. ст.}$$

Оценим степень влияния каждого из членов указанных формул и их среднеквадратических ошибок на точность замера депрессии. Рассмотрим вначале поправку на разность высот между замерными точками, которая находится из выражения

$$\Delta P_H = 0,017 (H_2 - H_1) \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right), \quad (62)$$

и найдем среднеквадратическую ошибку ее определения.

По закону накопления средних погрешностей эта ошибка определится из уравнения

$$m_{\Delta P_H} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta P_H}{\partial H_1}\right)^2 m_{H_1}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P_H}{\partial H_2}\right)^2 m_{H_2}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P_H}{\partial P_1}\right)^2 m_{P_1}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P_H}{\partial P_2}\right)^2 m_{P_2}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P_H}{\partial t_1}\right)^2 m_{t_1}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P_H}{\partial t_2}\right)^2 m_{t_2}^2} \quad (63)$$

Дифференцируя уравнение (62) и полагая, что погрешности высотных отметок, замера давления и температуры по обоим замерным станциям одинаковы,

$m_{H_1} = m_{H_2} = m_H$; $m_{P_1} = m_{P_2} = m_P$ и $m_{t_1} = m_{t_2} = m_t$, получим

$$m_{\Delta P_H} = \pm 0,017 \sqrt{2 \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2}\right)^2 m_H^2 + \Delta H^2 \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2}\right) m_P^2 + \Delta H^2 \left(\frac{P_1^2}{T_1^4} + \frac{P_2^2}{T_2^4}\right) m_t^2} \quad (64)$$

Подставляя в полученную формулу для определения погрешности поправки на превышение величины P , t , ΔH , найдем, в каких пределах может меняться $m_{\Delta P_H}$. Предположим, что замер давления осуществлен микробарометрами МБ-1М ($m_P = \pm 0,21$ мм рт. ст.), замер температуры — аспирационным психрометром ($m_t = \pm 0,1^\circ \text{C}$); высотные отметки получены на основе маркшейдерского нивелирования ($m_H = \pm 0,1$ м). Если при депрессионных съемках отсутствуют маркшейдерские отметки или они известны приблизительно, особенно для вентиляционных выработок, то величина m_H может быть принята примерно 0,5 м. Температура может быть замерена с точностью $m_t = \pm 0,2^\circ \text{C}$.

Результаты определения величины погрешности $m_{\Delta P_H}$ приведены в табл. 15. Как видно из данных таблицы, ошибка поправки на превышение зависит главным образом от ошибки высотных отметок и может колебаться от 0,01 до 0,08 мм рт. ст. Применяемая формула для определения среднего удельного веса воздуха допускает также погрешность $\pm 1\%$ [21].

Таблица 15

Сводные данные погрешности $m_{\Delta P_H}$ за счет изменения давления

P_1 , мм рт.ст.	P_2 , мм рт.ст.	t_1 , °C	t_2 , °C	ΔH , м	$m_{\Delta P_H}$			
					± мм рт. ст.		±	%
					a	b	a	b
760	770	15	15	100	0,013	0,064	0,14	0,71
760	800	15	15	400	0,018	0,069	0,05	0,19
760	840	15	15	800	0,028	0,078	0,04	0,10
760	770	15	15	100	0,013	0,063	0,15	0,71
760	800	15	15	400	0,6017	0,067	0,05	0,19
760	840	15	25	800	0,027	0,076	0,04	0,10
760	840	10	30	800	0,025	0,070	0,04	0,10

$a - m_P = \pm 0,21$ мм рт. ст.; $m_t = \pm 0,1^\circ \text{C}$; $m_H = \pm 0,1$ м.

$b - m_P = \pm 0,21$ мм рт. ст.; $m_t = \pm 0,2^\circ \text{C}$; $m_H = \pm 0,5$ м.

Установим возможные пределы погрешности за счет изменения скоростного напора, исходя из уравнения

$$\Delta P_v = 0,00086 (v_1^2 - v_2^2) \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right). \quad (65)$$

По закону накопления средних погрешностей и последовательных сокращений, предполагая, что $m_{v_1} = m_{v_2} = m_v$; $m_{t_1} = m_{t_2} = m_t$; $m_{P_1} = m_{P_2} = m_P$, имеем

$$m_{\Delta P_v} = \pm 0,00086 \sqrt{\left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right)^2 (v_1^2 + v_2^2) m_v^2 + \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2} \right) (v_1^2 - v_2^2) m_P^2 + \left(\frac{P_1^2}{T_1^4} + \frac{P_2^2}{T_2^4} \right) \times (v_1^2 - v_2^2) m_t^2}. \quad (66)$$

Значения погрешности, получаемой за счет изменения скорости движения воздуха, представлены в табл. 16, откуда видно, что погрешности поправки на разность скоростей на замерных станциях колеблются от $\pm 0,003$ до $\pm 0,036$ в зависимости от возможной величины скорости движения воздуха и погрешности ее замера. Основная часть величины ошибки определяется первым членом подкоренного выражения.

Сводные данные погрешности $m_{\Delta P_v}$ за счет изменения скорости движения воздуха

P_1 , мм рт. ст.	P_2 , мм рт. ст.	t_1 , °C	t_2 , °C	v_1 , м/сек	v_2 , м/сек	$m_{\Delta P_v}$			
						± мм рт. ст.		%	
						<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>
760	760	15	15	0	3	0,003	0,008	7,32	19,51
760	760	15	15	0	8	0,007	0,022	2,40	7,53
760	760	15	15	0	12	0,011	0,033	1,67	5,02
760	770	15	15	0	3	0,003	0,008	7,32	19,51
760	770	15	15	0	8	0,007	0,022	2,38	7,48
760	770	15	15	0	12	0,011	0,033	1,66	4,99
760	770	15	25	0	3	0,003	0,008	7,32	19,51
760	770	15	25	0	12	0,011	0,033	1,69	5,08
760	800	15	15	0	3	0,003	0,008	7,14	19,05
760	800	15	15	0	12	0,011	0,034	1,63	5,05
760	800	15	25	0	3	0,003	0,008	7,14	19,05
760	800	15	25	0	12	0,011	0,033	1,66	4,98
760	840	15	15	0	3	0,003	0,009	6,98	20,93
760	840	15	15	0	12	0,012	0,034	1,74	4,92
760	840	15	25	0	3	0,003	0,008	7,14	19,05
760	840	15	25	0	12	0,011	0,034	1,62	5,01
840	840	15	15	0	12	0,012	0,036	1,61	4,96

Вычислим $m_{\Delta P_v}$ при определенных численных значениях величин P, t, v_1 и v_2 .
a — $m_P = \pm 0,21$ мм рт. ст.; $m_t = \pm 0,1$ °C; $m_v = \pm 0,1$ м/сек;
б — $m_P = \pm 0,21$ мм рт. ст.; $m_t = \pm 0,2$ °C; $m_v = \pm 0,3$ м/сек.

Максимально ожидаемые погрешности вычисления депрессий при замере перепада давления находятся разными способами.

При последовательных отсчетах депрессия определяется по формуле

$$h = P_1 - [P_2 - (\Delta P_H + \Delta P_B + \Delta P_v)].$$

Следовательно, минимальная погрешность составит

$$m_h = \pm \sqrt{m_{P_1}^2 + m_{P_2}^2 + m_{\Delta P_H}^2 + m_{\Delta P_B}^2 + m_{\Delta P_v}^2}, \quad (67)$$

$$m_{P_1} = m_{P_2} = \pm 0,10 \div 0,21 \text{ мм рт. ст.};$$

$$m_{\Delta P_H} = \pm 0,01 \div 0,08 \text{ мм рт. ст.};$$

$$m_{\Delta P_B} = \sqrt{2} m_k^* = \pm 0,14 \text{ мм рт. ст.};$$

$$m_{\Delta P_v} = \pm 0,003 \div 0,036 \text{ мм рт. ст.}$$

Подставляя данные величины в формулу (67), получим минимальную ожидаемую погрешность замера депрессии $m_h = \pm 0,20$ мм рт. ст., или примерно $\pm 2,7$ мм вод. ст., а максимальная ожидаемая погрешность составит $\pm 0,36$ мм рт. ст., или 4,6 мм вод. ст.

При одновременных отсчетах депрессия определяется по формуле

$$h = P_1 - [P_2 - (\Delta P_H + \Delta P_v)]. \quad (68)$$

Следовательно, минимальная погрешность составит

$$m_h = \pm \sqrt{2m_P^2 + m_{\Delta P_H}^2 + m_{\Delta P_v}^2} = \pm 0,142 \text{ мм рт. ст.},$$

а максимальная $\pm 0,31$ мм рт. ст.

При комбинированных отсчетах минимальная погрешность составит $\pm 0,104$ мм рт. ст., а максимальная $\pm 0,19$ мм рт. ст.

Очевидно, если маршрут состоит из n участков, то общая погрешность съемки по маршруту будет

$$m_{h_M} = \pm \sqrt{m_{h_1}^2 + m_{h_2}^2 + \dots + m_{h_n}^2}. \quad (69)$$

В частном случае, когда перепады давления на отдельных участках маршрута примерно одинаковы,

$$m_{h_M} = m_h \sqrt{n}. \quad (70)$$

Формулу (70) можно применять и для грубого определения ожидаемой погрешности всего маршрута депрессионной съемки.

Съемка микробарометром МБНП

Погрешность определения перепада давления зависит от точности снятия отсчета по прибору, а также от точности определения коэффициентов прибора

$$m_{\Delta P} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta N}\right)^2 m_{\Delta N}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P}{\partial \alpha}\right)^2 m_{\alpha}^2 + \dots}$$

* При применении контрольного прибора МБ-1М и незначительном изменении атмосферного давления $m_h = \pm 0,10$ мм рт. ст.

$$\leftarrow \overline{\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial k_t}\right)^2 m_{k_t}^2 + \left(\frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta t}\right)^2 m_{\Delta t}^2}, \quad (71)$$

где $m_{\Delta N}$ — точность снятия отсчетов прибора; m_{α} — точность определения цены деления; m_{k_t} — точность определения температурного коэффициента.

После нахождения частных производных имеем

$$m_{\Delta P} = \sqrt{\alpha^2 m_{\Delta N}^2 + \Delta N^2 m_{\alpha}^2 + \Delta t^2 m_{k_t}^2 + k_t^2 m_{\Delta t}^2}. \quad (72)$$

При малых перепадах давления погрешность замера в основном зависит от точности снятия отсчета $m_{\Delta N}$. При больших перепадах точность замера зависит от второго члена под корнем, т. е. от точности определения цены деления m_{α} . Минимальный перепад, при замере которого погрешность не превышает 10%, составляет 0,13 мм рт. ст. Если меняется температура прибора, то на 1° С погрешность составляет 0,19. Поэтому при съемке с микробарометром МБНП желательно выбрать участки с перепадом давления более 0,2 мм рт. ст., или более 3 мм вод. ст.

Таким образом, общая погрешность съемки маршрута зависит как от величины перепада давления между замерными станциями, так и от глубины шахты и перепада высот по маршруту.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕПРЕССИОННОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ¹

1. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В процессе развития методов экспериментального исследования явлений возникла необходимость моделирования их с использованием законов той области физики, в которой осуществление эксперимента наиболее доступно, удобно и просто. Поэтому трудно найти более подходящую для этой цели область, чем электротехника, приборы и методы которой весьма совершенны.

Советскими и зарубежными учеными был предложен ряд способов исследования вентиляции шахт при помощи электрических моделей, составленных из миниатюрных ламп накаливания, ламп накаливания напряжением 127 и 220 в, ламп накаливания высокого и низкого напряжения; регулируемых линейных сопротивлений (ПРВС), нелинейных сопротивлений и электрических автоматических моделей для расчета шахтных вентиляционных сетей.

В настоящее время в Советском Союзе широко применяются при решении вентиляционных задач приборы на линейных сопротивлениях ПРВС-2 (прибор расчета вентиляционных сетей) и приборы с применением схемы линейно-кусочной аппроксимации ЭМВС-6.

При помощи электрической модели можно решать следующие основные задачи вентиляции шахт: распределение воздуха и депрессии в сложных вентиляционных сетях; определение режимов работы отдельных и нескольких совместно работающих вентиляторов и их параметров, обеспечивающих необходимые условия про-

¹ См. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 17, 24, 25, 27].

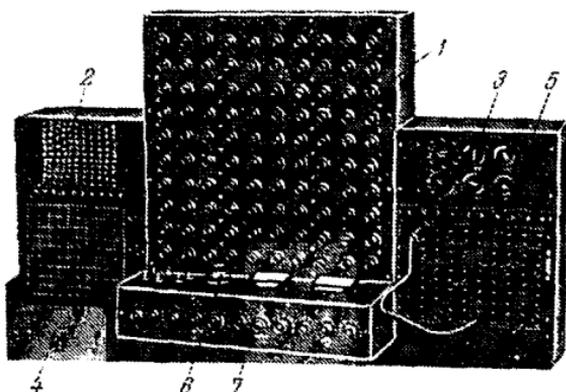


Рис. 31. Прибор ПРВС-2

ветривания; установление вентиляционных режимов шахтной сети при авариях (завалы, пожары и т. д.).

При обработке результатов депрессионных съемок обычно производится расчет вентиляции на ближайшие 2—5 лет или исследуется влияние предлагаемых мероприятий на основе материалов съемки на перераспределение воздуха и повышение эффективности работы шахтной вентиляционной сети.

Прибор ПРВС-2 (рис. 31) позволяет рассчитывать схемы вентиляции шахт, имеющие до 100 выработок и до трех главных вентиляторов [17]. Для расчета схем вентиляции шахт, содержащих более 100 выработок, следует предварительно их упростить решением простых соединений, чтобы заменить их эквивалентными сопротивлениями.

Основные размеры прибора 1405×790×470 мм. На центральной части лицевой панели закреплено 100 реостатов 1, соединенных последовательно с постоянными сопротивлениями. Номинальные значения этих сопротивлений (ком) указаны в запоминающем устройстве 2, расположенном в верхней части левой лицевой панели. Номер рабочего элемента состоит из цифр (от 1 до 10) и малой буквы русского алфавита — от а до к (например, 3а, 6в и т. д.). На центральной лицевой панели над рукояткой каждого реостата установлена сигнальная лампочка, загорающаяся в момент подключения со-

ответствующего рабочего элемента к мосту 3 (верхняя часть правой панели) или к измерительному прибору.

На нижней части левой лицевой панели имеется коммутационная панель 4, на которой с помощью коммутационных шнуров соединяются рабочие элементы между собой в соответствии со схемой вентиляции. Каждый рабочий элемент имеет на коммутационной панели по паре положительных и отрицательных гнезд.

С правой стороны внизу находится замерная панель 5, состоящая из 100 телефонных гнезд и трехпроводного телефонного штепселя. Эта система служит для подключения к любому из рабочих элементов миллиамперметра (для замера расхода) или моста постоянного тока (для установки на элементах требуемых величин сопротивлений).

Под центральной лицевой панелью размещены пульт управления прибора 6 и измерительная аппаратура.

На передней вертикальной части имеется 11 рукояток 7 переключения. Первая из них служит для переключения предела измерения миллиамперметра (расход Q), вторая — для включения многопредельного вольтметра (депрессия h) для замера депрессии одного из трех вентиляторов прибора, остальные девять рукояток — для управления тремя вентиляторными установками (по три рукоятки на каждый вентилятор). Левая рукоятка в каждой группе переключает пределы измерения вольтметра. Установка депрессии осуществляется средней (грубая) и правой (точная) рукоятками. Кроме того, под средней рукояткой каждой группы имеются тумблеры для включения соответствующих вентиляторов, а над этими рукоятками — лампочки, сигнализирующие о включении вентиляторов.

На горизонтальной части пульта управления расположены нуль-гальванометр, кнопки моста УВМ, включатель в сеть, включатель запоминающего устройства, а также переключатель положений «Замер» — «Установка».

Пример. На шахте имеется упрощенная вентиляционная схема (рис. 32). Необходимо проветрить новый наклонный конвейерный уклон (3—7—8—П). Перед тем как принять решение, каким способом обеспечить уклон нужным количеством свежего воздуха, рассмотрим естественное распределение воздуха в сети с подключением в сеть конвейерного уклона. Применяем для этого прибор

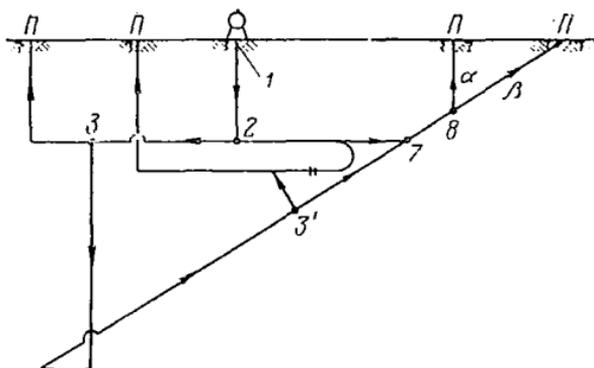


Рис. 32. Упрощенная схема вентиляции шахты

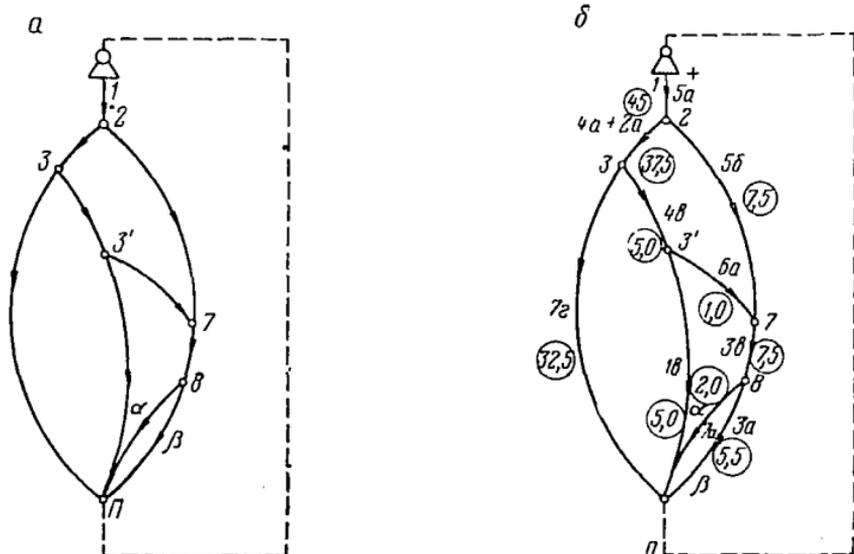


Рис. 33. К расчету схемы вентиляции шахты:
 а — схема вентиляционных соединений; б — расчетная схема для прибора ПРВС-2

ПРВС-2. Известны сопротивления горных выработок и количество воздуха ($450 \text{ м}^3/\text{сек}$), подаваемое главным вентилятором ВЦ-45.

1. Составляем схему вентиляционных соединений (рис. 33, а), где узловые точки отмечены цифрами 1—8, а выходы на поверхность буквой П. Так как точка 8 имеет два выхода на поверхность, то эти выходы обозначены: ствол буквой α, а уклон буквой β. Желаемое направление движения воздуха указывается стрелками.

2. Данные расчета сводят в табл. 17.

В графу 1 таблицы вносят номера участков (ветвей) по вентиляционной схеме, выражая их через номера узловых точек.

В графу 2 вносят уже известные аэродинамические сопротивления этих участков в мюрах.

Данные расчета вентиляции шахты

№ участка на вентиляционной схеме	Аэродинамическое сопротивление участка μ	Q , м ³ /сек	$r_3 = 2\mu Q$, ом	№ участка на электрической схеме	Q_1	$r_1 = 2\mu Q_1$	$r'_3 = \frac{r_1 + r_3}{2}$	Q_{II}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1—2	0,31	45	27,9	5a	28,5	327,8	207,0	45
2—3	1,46	37,5	109,5	4+2a				28
3—П	6,8	32,5	442	7e				21
3—3'	12,6	5,0	126	4в				7,1
3'—П	28,8	5,0	288	1в				8,8
3—7	0,69	1,0	1,38	6a				1,6—
								обратно
2—7	5,75	7,5	86,25	5б				17
7—8	9,00	7,5	135	3в	15,2			
8—П	9,00	2,0	36,0	7a	4,5			
8—П	1,70	5,5	18,7	3a	10,5			

В графу 3 вносят произвольное распределение количества воздуха. В данном случае принимают Q в 10 раз меньше, учитывая пределы измерительного прибора — расходомера.

В графу 4 вносят вычисленные электрические сопротивления $r_3 = 2\mu Q$ в омах.

В графу 5 вносят выбранные ячейки сопротивлений на электрической модели. Обычно после этого вычерчивают рабочую схему, на которой указывают предварительное распределение воздуха и выбранные номера участков электрической схемы (рис. 33, б).

3. С помощью моста и пуль-гальванометра на выбранных электрических сопротивлениях устанавливают нужные r_3 .

4. Сборку электрической модели в соответствии со схемой вентиляционных соединений с помощью соединительных проводов с наконечниками ведут по узлам. Каждый узел можно собрать открытой (рис. 34, а) или закрытой (рис. 34, б) цепью. Последний способ позволяет избежать разрыва цепи при неисправности нескольких соединительных проводов (изображены на рисунке штриховой линией).

При сборке надо соблюдать полярность гнезд, которая для вентилятора принята следующей: нагнетательная сторона положительная «+», всасывающая сторона отрицательная «-». К любой из сторон вентилятора, работающего по какой угодно схеме (на всасывание или нагнетание), подсоединяются гнезда элементов, имеющие тот же знак, что и знак стороны вентилятора. В нашем случае (схема нагнетательная) соединяется с «+» вентилятора гнезда «+» сопротивления 5a.

5. После проверки цепи и сравнения названия электрических сопротивлений по схеме с запоминающим устройством подключают

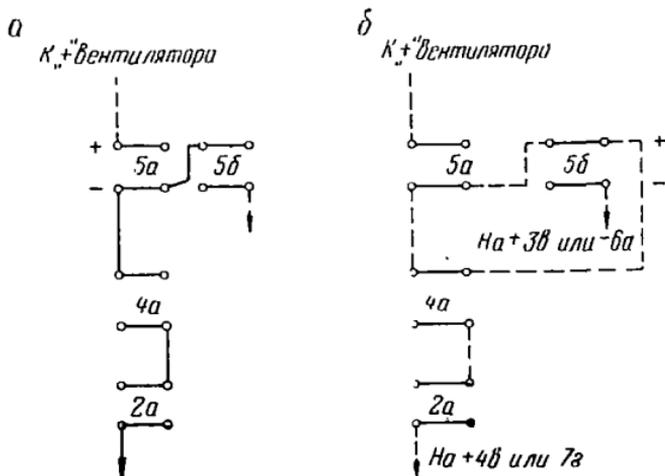


Рис. 34. Схема набора узла вентиляционной сети на панели прибора ПРВС-2

вентилятор и регулируют его ток, чтобы подача воздуха в цепь составила $45 \text{ м}^3/\text{сек}$.

6. Измеряют ток в каждом из сопротивлений Q_1 и записывают в колонку 6 таблицы.

Имея значения Q_1 , вычисляют $r_1 = 2\mu Q_1$, а затем новое r'_3 , которое равно $r_1 + r_3$. После этого на панели набирают полученные величины сопротивлений с помощью моста сопротивлений и нуль-гальванометра. Если r'_3 не соответствует имеющимся пределам данного электрического сопротивления, то необходимо набрать новое с нужными пределами. Например, для участка $5б$ имеют значение $r_3 = 86,25 \text{ ом}$; $Q_1 = 28,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ и соответственно $r_1 = 327,8 \text{ м}$, величина $r'_3 = 207$. Известно, что верхний предел сопротивления участка $5б$ будет равен $0,1 \text{ ком}$, поэтому, чтобы набрать $r'_3 = 207 \text{ ом}$, меняют сопротивление участка $5б$ на сопротивление участка $5a$, у которого предел измерений доходит до $0,3 \text{ ком}$.

7. Набрав сеть с нужными сопротивлениями, измеряют величину силы тока в цепи, которой соответствует величина Q_2 , после чего вычисляют $r_2 = 2\mu Q_2$ и $r''_3 = \frac{r_2 + r'_3}{2}$ и т. д.

8. Сделав еще два приближения, получают значения Q_3 и Q_4 , которые почти не отличаются друг от друга, если получено естественное распределение нужного количества воздуха на данной схеме. Некоторый небаланс воздуха в узлах должен находиться в пределах возможной погрешности.

Далее решают вопросы необходимого распределения воздуха с помощью включения дополнительных сопротивлений или вспомогательного вентилятора.

Установка ЭМВС-6 предназначена для расчета шахтных вентиляционных сетей методом прямой элект-

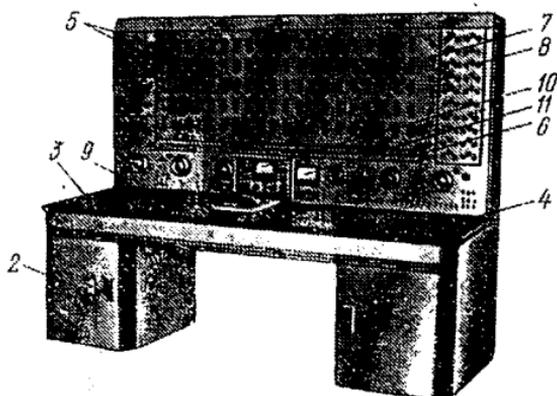


Рис. 35. Установка ЭМВС-6

рической аналогии. Моделирующее устройство установки позволяет вычислить распределение воздуха в вентиляционных сетях, содержащих до 100 горных выработок, до шести главных вентиляторов, до 40 вентиляторов частичного проветривания (постоянные расходы), до 8 источников естественной тяги и до 40 путей движения воздуха с ламинарным режимом движения. Установка позволяет определить режимы работы вентиляторов, включенных в сеть произвольным образом, выяснить влияние естественной тяги и пожара на распределение воздуха в вентиляционной сети, рассчитать величину дополнительных сопротивлений, обеспечивающих необходимое распределение воздуха в сети, производить выбор режима работы вспомогательных вентиляторов для получения требуемого распределения воздуха и т. п.

Установка ЭМВС-6 работает нормально при температуре окружающей среды от 15 до 30 °С. Моделирующее устройство получает питание от источника переменного тока (однофазный) напряжением 220 в, потребляемая мощность 2 квт. Блок питания БПМУ может быть установлен в этой же либо в соседней комнате и соединен с моделирующим устройством 12-жильным кабелем [8, 6].

Установка ЭМВС-6 (рис. 35) смонтирована в металлическом корпусе, верхняя часть 1 которого представляет собой плоскую коробку с основными элементами модели, а нижняя часть 2 — двухтумбовый стол, на

верхней крышке которого находятся в правой части коммутационная панель 4, а в левой части — измерительная панель 3. В тумбах в выдвижных ящиках находятся комплекты сменных сопротивлений к моделям выработок и соединительные провода. В середине вертикальной части корпуса расположены 100 моделей горных выработок. Штепсельные разъемы 5, которые служат для включения магазинов сопротивлений, размещены на лицевой стороне. Каждой модели горной выработки присвоен порядковый номер от 1 до 100. Измерительные ключи и выходные зажимы моделей горных выработок имеют такие же номера. Ниже моделей выработок помещаются модели 6 путей утечек воздуха, имеющие номера от 101 до 140. Правее и левее моделей горных выработок помещаются модели 7 естественной тяги, которым присвоены номера от 181 до 188. По краям вертикальной части корпуса находятся модели 8 постоянных расходов-утечек (по 20 с каждой стороны), которые имеют номера от 141 до 180. Ниже утечек воздуха имеются шесть моделей 9 вентиляторов главного проветривания, которые имеют номера 131—136. Вентиляторы распределены на две группы по три в каждой. Между вентиляторами находятся напоромер 10 (катодный вольтметр) и расходомер 11 (многопредельный миллиамперметр). Над расходомером находится сигнальная лампочка включения установки, а ниже расходомера расположены кнопки «Включено» и «Выключено».

На рис. 36 показан пульт управления модели вентилятора. Ручкой 1 (ЛАТР-2) можно менять э.д.с. источника тока в широких пределах. Ручка 2 — это переключатель коэффициента ограничения, т. е. отношение э.д.с. источника к величине максимального выходного напряжения, создаваемого выпрямителем, что бывает необходимо при настройке источника тока на получение напорных характеристик осевых вентиляторов различных типов.

Под прозрачной линзой 3 находится сигнальная лампа, которая загорается при обрыве в цепи диодов и сигнализирует таким образом, что на выходных зажимах вентиляторов может появиться недопустимо высокое напряжение (порядка 900 в). Тумблеры 4 служат для управления реостатом для ввода внутреннего сопротивления.

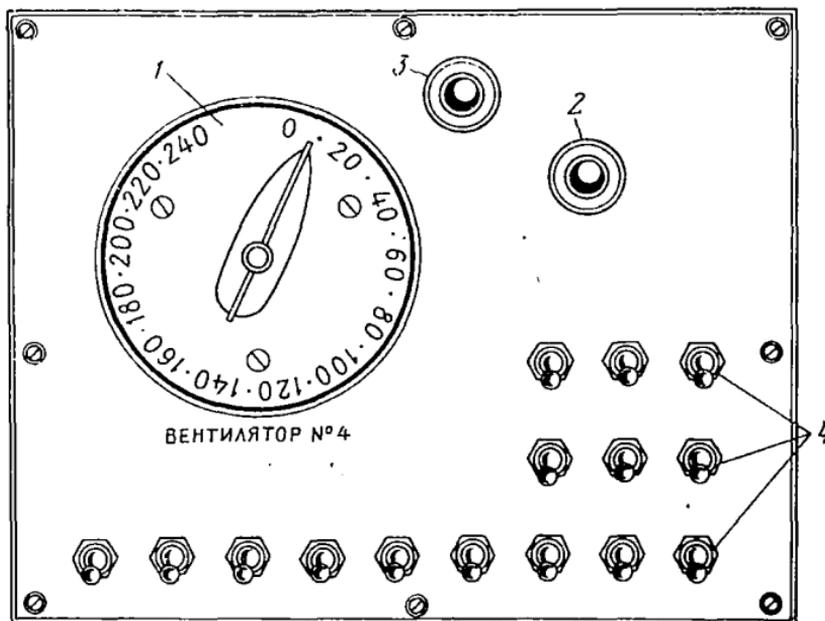


Рис. 36. Пульт управления модели вентилятора на установке ЭМВС-6

Пример. Для шахтной вентиляционной сети, схема которой изображена на рис. 37, известны аэродинамические сопротивления, полученные на основании депрессионной съемки. На данную сеть, состоящую из звеньев 1—13, работает вентилятор ВОКД-1,5 [$n=730$ об/мин, параметры рабочей точки $H_n=94$ кгс/м²; $Q_n=24$ м³/сек и $\theta_n=30^\circ$ (рис. 38)].

Необходимо распределить расходы воздуха и депрессии по каждому участку с тем, чтобы проверить, достаточно ли рабочие участки будут снабжены необходимым количеством свежего воздуха.

Для удобства решений этой задачи на модели сначала составляют схему вентиляционных соединений (рис. 39). Узлы пронумеровывают арабскими цифрами, при этом могут быть использованы и цифры, которые были приняты при проведении депрессионной съемки.

В узлах схемы нужно показать направление движения воздуха в каждой ветви. Все ветви вентиляционной схемы обозначают цифрами в соответствии с заданной характеристикой ветви (описание модели выше).

Для удобства сбора схемы на коммутационной панели составляется таблица соединений (табл. 18). В первой колонке каждой строки записывается номер узла. В последующих колонках против соответствующего узла указывается номер ветви со знаком «—», если ветвь входит в этот узел (обычно имеет стрелку) и со знаком «+», если ветвь выходит из узла. Узел, соединяющий вентилятор, записывается в таблицу со знаком «—» при вентиляторе, если последний работает на всасывание, и со знаком «+» при вентиляторе,

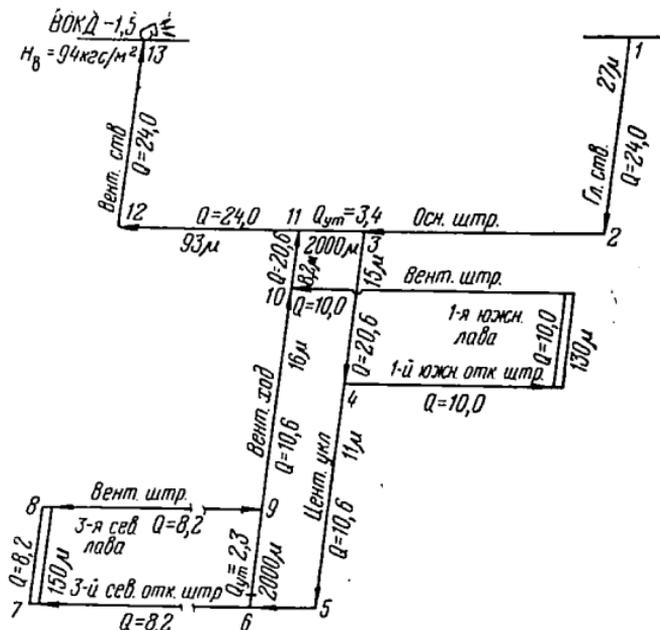


Рис. 37. Схема вентиляции шахты

Таблица 18

Данные соединений узлов модели (см. рис. 39)

Узел	Ветвь данного узла и знак ветви		
1	+50	+B-4	
3	-50	+51	+59
4	-51	+52	+58
6	-52	+53	+57
...
...

работающем на нагнетание. Гнезда вентилятора B-4 противоположного знака «+» соединяются со знаком «+» узла, обозначающего поверхность.

Пользуясь данными табл. 18, производят сборку схемы вентиляции на коммутационной панели: первый шнур соединяет +50 с +B-4; второй шнур соединяет -50, с +51 и -50 с +59 и т. д. (см. рис. 39).

Затем устанавливают сопротивления моделей выработок в соответствии с заданными, т. е. в гнездо 50 (см. рис. 39) вставляют магазин 27м, в гнездо 51 — 15м, в гнездо 52 — 11м и т. д.

Сопротивления дверей, через которые имеют место утечки в процессе съемки, составляют 2000м, и они моделируются как выработки с соответствующим сопротивлением.

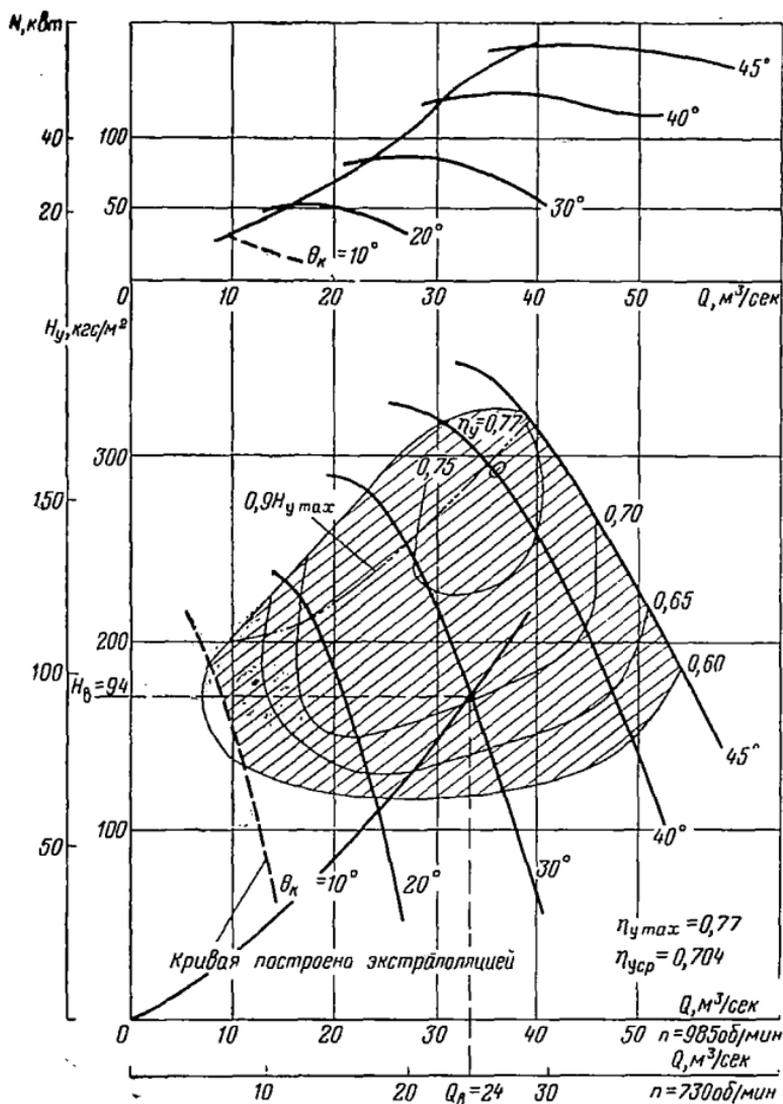


Рис. 38. Аэродинамическая характеристика вентиляторной установки

По данным замеров составляется табл. 19 с характеристиками всех ветвей.

В колонку 1 записывают номера ветвей, указанных на схеме (см. рис. 39).

В колонку 2 заносят аэродинамическое сопротивление ветви в мюрах.

В колонку 3 записывают выбранные или округленные сопротивления ветвей (магазины) в мюрах.

Далее проводят настройку аналога вентилятора (В-4), которую

Характеристика ветвей схемы (см. рис. 39)

Ветвь	Сопротивление ветви μ		Расход Q , $\text{м}^3/\text{сек}$	Напор H , $\text{кгс}/\text{м}^2$
	действительное	установочное		
1	2	3	4	5
50	27	27	24,0	16,5
51	15	15	20,8	6,9
52	11	11	10,6	1,3
53	150	150	8,2	10,8
...

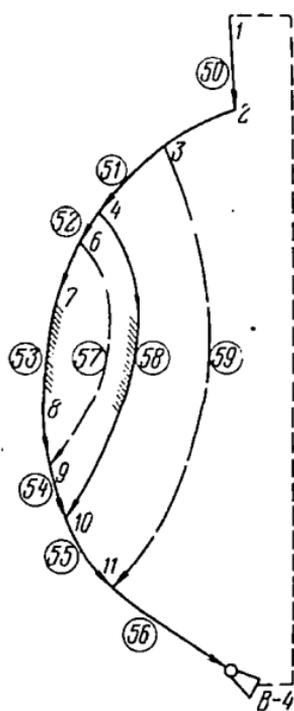


Рис. 39. Схема вентиляционных соединений шахты

лировкой тумблером магазина сопротивления, устанавливают необходимое значение расхода при коротком замыкании вентилятора Q_k , которое определяется точкой пересечения напорной характеристики с осью Q . Настроенный таким образом вентилятор включают на данную сеть.

В конце работы снимают отсчеты во всех ветвях схемы, встав-

пужно начать с определения фиктивного напора холостого хода, т. е. напора, который развил бы вентилятор, если бы его напорная характеристика была прямолинейна, и расход в режиме короткого замыкания.

Составляется уравнение рабочего участка характеристики вентилятора

$$H = H_0 - m'Q; \quad (73)$$

$$H_0 = H_A - \frac{H_B - H_A}{Q_B - Q_A} Q_A. \quad (74)$$

В данном случае $Q_A = 24$; $H_A = 94$; $Q_B = 33$ и $H_B = 0$.

После определения параметров источника тока, обеспечивающего характеристику данного вентилятора, производится его настройка. Для этого на вход источника тока включают напорометр и, вращая ручку автотрансформатора ЛАТР-2, устанавливают напор $H = H_0 k$, где k — коэффициент ограничения. Установив требуемое значение H_0 , производят короткое замыкание источника тока и затем, контролируя расходомером расход источника тока регу-

ляя ключ в соответствующую ячейку на измерительной панели. По расходомеру и напоромеру снимают значения Q и H . Результаты измерений Q и H заносят в графы 4 и 5 табл. 19.

2. РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ С ПОМОЩЬЮ ЭЦВМ

Результаты обработки материалов депрессионных съемок являются исходными данными для разработки мероприятий по улучшению системы вентиляции шахты. В основном это задачи, связанные с заменой главных вентиляторов, перераспределением расходов воздуха по отдельным крыльям, участкам, установкой подземных вспомогательных вентиляторных установок и т. д. В общем случае все мероприятия, связанные с улучшением вентиляции шахты, можно свести к задачам естественного воздухораспределения (группа А), перераспределения воздуха по отдельным ветвям вентиляционной сети (группа Б).

Подготовка любой схемы вентиляции шахты к расчету воздухораспределения на ЭЦВМ сводится к следующим операциям. Схему вентиляции представляют однолинейной расчетной схемой. Нумеруют ветви, узлы и контуры в восьмеричной системе счисления. Порядок нумерации ветвей и узлов может быть произвольным. Составляют таблицы исходных данных (сопротивление, расходы) и производят кодировку топологии вентиляционной сети.

Методы кодировки топологии сети для обработки на ЭЦВМ имеют большое значение при решении задачи вентиляции шахт. Обработка должна быть простой и удобной как для использования на ЭЦВМ, так и для ручной обработки и не подвергаться значительным изменениям при изменении топологии вентиляционной сети, а также содержать дополнительную информацию о параметрах и типе элементов графа сетевых систем (наличие регуляторов, вентиляторных установок и т. д.).

Вентиляционная сеть как граф считается заданной, если задано соответствие между его узлами и ветвями. Это соответствие задается следующим образом: каждой ветви графа с номером k ставят в соответствие пару чисел (i, j) , где i — начало ветви, а j — ее конец. Эти числа, расположенные в порядке $\langle i, j, k \rangle$, дают необ-

ходимое соответствие между узлами и ветвями вентиляционной сети. Это соответствие может быть рассмотрено как код некоторой ветви графа. Отсюда очевидно, что вентиляционная сеть как граф будет задана, притом однозначно, если будут заданы все ее коды.

Для представления параметров и топологии вентиляционной сети, удобной для машинной обработки, необходимо узлы и ветви сети пронумеровать в восьмеричной системе счисления: для узлов от 0 до m и для ветвей от 0 до n . После этого можно составить массив кодов N' с учетом разрядной сетки. Например, для машины «Минск-22» $n, m \leq 777$. Запись любого кода в разрядной сетке выглядит следующим образом:

$$\begin{array}{ccc} 0000 & 0000 & 0000 \\ i & j & k \end{array}$$

Так как восьмеричный разряд включает в себя три двоичных разряда, то соответственно i занимает разряд с 4 по 12, j занимает разряд с 16 по 24, k занимает разряд с 24 по 36.

Любая вентиляционная сеть может содержать некоторое число вентиляторов, работающих на нее. Работу вентилятора на графе вентиляционной сети можно учесть как отдельную ветвь с соответствующими параметрами.

Ветви вентиляционной сети с точки зрения проветривания могут иметь различные назначения. Одни из них, как ветви, включающие добычной участок, требуют поддержания необходимого расхода воздуха в каждый момент времени, другие (например, пути утечки) обладают большими сопротивлениями и малыми расходами воздуха и исключение их при анализе и расчетах существенно не влияет на результат решения.

В общем случае все ветви вентиляционной сети можно разбить на три типа (рис. 40).

I тип — ветви, сопротивления которых известны, а расход воздуха не задается. На схеме вентиляционных соединений их изображают сплошными линиями. Код таких ветвей не содержит дополнительных данных.

II тип — ветви, сопротивления которых известны, а расход воздуха задан. На схеме их изображают штрихпунктирной линией. Код такой ветви будет содержать в 1 и 2-м разрядах (дополнительный признак).

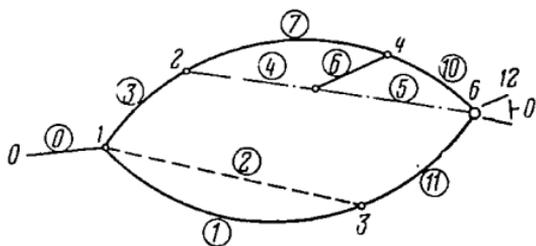


Рис. 40. Схема представления вентиляционной сети

III тип — ветви, сопротивление которых очень велико, а расход воздуха в них мал. Код ветви будет содержать в 1, 2 и 3-м разрядах (дополнительный признак). Некоторые из них могут быть исключены из вентиляционной сети при расчете. На схемах такие ветви изображают штриховыми линиями.

Данные кодировки сети удобно свести в табл. 20.

Таблица 20

Код для вентиляционной сети

<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>
0000	0001	0000
0001	0003	0001
7001	0003	0002
0001	0002	0003
6002	0005	0004
6005	0006	0005
6005	0004	0006
0002	0004	0007
0004	0006	0010
0003	0006	0011
0006	0000	2012

Примечание. В графе *i* цифра 6 обозначает начало ветви с заданным расходом воздуха (регуляторы), 7—начало ветви с заданным расходом воздуха (утечки). В графе *k* цифра 2 обозначает ветвь с вентилятором.

Естественное воздухораспределение. К задачам группы А относятся мероприятия, связанные с установкой вспомогательных вентиляторных установок, улучшением аэродинамических параметров отдельных

выработок (очистка, расширение, замена крепления для уменьшения коэффициента α). Расчет естественного воздухораспределения заключается в решении полной системы уравнений, описывающих воздухораспределение в любой сложной вентиляционной сети по первому и второму законам Кирхгофа,

$$\sum_j q_j = 0 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m); \quad (75)$$

$$\sum_c r_c q_c^2 = 0 \quad (c = 1, 2, 3, \dots, k), \quad (76)$$

где m — число узлов; k — число замкнутых контуров.

Одним из эффективных и простых методов расчета естественного воздухораспределения является метод последовательных приближений, в котором первоначальное распределение расходов воздуха принимается вычисленным при депрессионной съемке шахты [3, 24].

Новое значение расходов воздуха для ветвей, входящих в отдельный замкнутый контур, определяется по формуле

$$q'_i = q_i^0 + \Delta q_c, \quad (77)$$

$\sum r_i q_i^0$ — первоначальный расход воздуха в ветви; Δq_c — поправка, определяемая для любого замкнутого контура из выражения

$$\Delta q_c = \frac{\sum r_i q_i^2 - \sum P_i}{2 \sum r_i q_i}; \quad (78)$$

$\sum r_i h_i^2$ — алгебраическая сумма депрессии ветвей замкнутого контура; $\sum P_i$ — алгебраическая сумма давлений, создаваемых вентиляторами, входящими в данный контур; $\sum r_i q_i$ — сумма произведений r_i и q_i по всем ветвям, взятая без учета направления потока.

При расчете потоки, направленные по часовой стрелке, считаются положительными, против — отрицательными.

Характеристики вентиляторов, которые задаются чаще всего графически в координатах $h-q$ в виде определенных кривых, можно аппроксимировать уравнением вида:

для осевых вентиляторов

$$h_{\text{в}} = a - bq_{\text{в}}; \quad (79)$$

для центробежных вентиляторов

$$h_{\text{в}} = a - bq_{\text{в}}^2. \quad (80)$$

Алгоритм, т. е. определенная последовательность операций расчета вентиляционных сетей методом последовательных приближений, сводится к выполнению в определенной последовательности элементарных арифметических и логических операций, которые повторяются для всех ветвей данного контура данной сети. Основой расчета сети является контур. На базе данного алгоритма разработаны универсальные программы расчета на ЭЦВМ вентиляционных сетей любой сложности и топологии.

Программы, разработанные для машины «Минск-22», позволяют рассчитывать вентиляционные сети, содержащие 600 и более ветвей и до 30 вентиляторов¹.

Расчет на ЭЦВМ начинается с ввода в память машины массива исходных данных и программы вычислений и продолжается автоматически без вмешательства оператора.

Всякие изменения параметров в ветвях вентиляционной сети (изменения сопротивлений ветвей, установка вспомогательных вентиляторов, изменение рабочих параметров) производятся с пульта управления без изменения программы расчета. По методу последовательных приближений и разработанным стандартным программам успешно решаются задачи, связанные с определением: режимов работы вентилятора, работающего на данную сеть; режимов работы вентиляторов, совместно включенных в данную сеть; режимов работы вентиляторов при изменении параметров отдельных ветвей в сети и режимов работы вентиляторов при изменении угла установки рабочих органов или скорости вращения; эффективности установки в той или иной ветви вспомогательных (подземных) вентиляторов; определением распределения расходов воздуха по ветвям сети и

¹ Более подробно этот вопрос освещен в брошюре Р. Б. Тяна, В. Я. Потемкина «Алгоритмы и программы анализа, расчета и управления воздухораспределением в вентиляционных сетях шахт». Киев, «Наукова думка», 1971.

режимов работы вентиляторов при изменении сопротивления отдельных ветвей и т. д.

Оценка устойчивости работы вентилятора производится сравнением его производительности, полученной в результате расчета, с пределами, в которых аналитическое выражение, аппроксимирующее индивидуальный характер его, считается верным при выполнении условия [7]

$$q_{\min} \leq q \leq q_{\max}, \quad (81)$$

где q_{\min} — производительность вентилятора, при максимально допустимой его депрессии, т. е. при $h_{\text{в}} = 0,9h_{\text{max}}$, м³/сек;

q_{\max} — максимально возможная производительность вентилятора при положительной его депрессии, м³/сек.

Если в результате расчета производительность вентилятора не соответствует неравенству (81), то, следовательно, его режим работы не соответствует параметру сети. В этом случае необходимо ввести вентилятор в нужный режим работы или заменить другим вентилятором.

Если составляемые мероприятия связаны с устройством переключек, дверей и ремонтов выработок, то для расчета необходимо знать величины изменения сопротивления. Дальнейшее изменение производится оператором с пульта управления.

Перечисленные выше задачи могут быть решены и другими методами с применением быстродействующих электронно-вычислительных машин [7, 24].

Перераспределение воздуха по отдельным ветвям вентиляционной сети. Одной из основных задач вентиляции шахт при диспетчерском или автоматическом управлении является задача нахождения оптимального по минимальной мощности управления конечным состоянием воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети. Эта задача относится к группе Б.

Управление воздухораспределением производится в зависимости от изменения параметров, характеризующих состояние рудничной атмосферы, или в зависимости от изменения аэродинамических параметров в тех или иных ветвях вентиляционной сети.

Как известно, инерционность газодинамических процессов несравненно больше инерционности аэродинамических процессов. Это обстоятельство позволяет управлять воздухораспределением потока в конечном состоянии, т. е. в установившемся режиме.

Состояние вентиляционной системы определяется: а) состоянием воздухораспределения в ветвях вентиляционной сети, т. е. многомерным вектором $q=f(q_1, q_2, \dots, q_n)$ расходов воздуха в сети; б) состоянием аэродинамических сопротивлений ветвей сети r_i ($i=1, 2, \dots, n$).

Состояние аэродинамических сопротивлений с течением времени изменяется, поэтому его необходимо периодически уточнять в процессе функционирования вентиляционной системы.

Депрессия в ветвях сети и установившееся значение воздуха функционально связаны соотношением

$$h_i = h_i(q_i, r_i).$$

Это соотношение при известных определенных состояниях регулирующих устройств и воздухораспределения позволяет определить неизвестные значения r_i , т. е. уточнить состояние параметров ветвей вентиляционной сети. Необходимые изменения вектора q в процессе управления регламентируются правилами техники безопасности, отдельные составляющие которого ограничиваются неравенствами

$$q_{i \min} \leq q_{i \text{необ}} \leq q_{i \max}, \quad i \in N. \quad (82)$$

В дальнейшем под задачей управления воздухораспределением в ветвях вентиляционной сети будем понимать обеспечение требуемого (заданного) расхода воздуха в каждый момент времени во всех или в некоторых ветвях (выработках, лавах) вентиляционной сети с помощью регулирующих устройств (регуляторов, подземных вспомогательных вентиляторов). Наиболее важной задачей является обеспечение требуемого расхода воздуха в некоторых ветвях вентиляционной сети.

Основными выработками, в которых требуется поддержание необходимого расхода, являются добычные участки, подготовительные забои и др.

Под задачей оптимального управления воздухораспределением подразумевается обеспечение требуемого

воздухораспределения во всех или некоторых ветвях сети при минимальной полезной мощности, затрачиваемой на проветривание всей вентиляционной сети. При этом критерий оптимальности, который минимизируем, можно представить в виде:

$$N(q, r) = \sum_{i=1}^k h_i q_i, \quad (83)$$

где $h_i = h_i^{(r)} + h_i^{(rp)}$ — среднее значение депрессии i -той ветви вентиляционной сети; $h_i^{(r)}$ — значение депрессии, обусловленное минимальным значением аэродинамического сопротивления i -той ветви сети; $h_i^{(rp)}$ — значение депрессии, теряемое на пассивном регулирующем устройстве i -той ветви сети.

При оптимальном управлении выполняется условие (83) и $q = q_{\text{необ}}$. При этом критерий оптимальности приобретает минимальное значение, т. е.

$$N(q, r) = \sum h_i q_i \rightarrow \min. \quad (84)$$

Формулировка задачи оптимального управления воздухораспределением в ветвях вентиляционной сети зависит от способа регулирования.

Существуют различные способы регулирования расхода воздуха в выработках — положительный, когда регулирование производится с помощью вспомогательных вентиляторов, и отрицательный способ регулирования, когда оно производится с помощью пассивных регулирующих устройств (шибера, двери, вентиляционные окна, водяные завесы и др.).

С технологической и технической точек зрения наиболее распространенным и приемлемым способом регулирования (в угольных шахтах) является регулирование с помощью пассивных регулирующих устройств, т. е. отрицательный. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только отрицательный способ регулирования. С методической точки зрения способ расчета управления воздухораспределением с помощью только активных регулирующих устройств не отличается от отрицательного. Кроме того, в дальнейшем будем предполагать, что активные источники тяги (главные вентиляторы) регулируются в необходимых пределах.

Задача оптимального управления воздУхораспределеннУ в ветвях вентиляционной сети имеет вид:

$$N(q, r) = f(R_{обгобг}) = f\left(\sum_{i=1}^n r_i q_i^3\right) \rightarrow \min_{i \in N} (i=1, 2, \dots, n). \quad (85)$$

Необходимо найти минимум функции при следующих условиях ограничений:

$$I. \sum_j q_j = 0 \quad i \in j \quad (j = 1, 2, \dots, m);$$

$$II. \sum_c r_i q_i^2 = 0 \quad i \in c \quad (c = 1, 2, \dots, k);$$

$$III. q_i = \text{const} \quad i \in N \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad s = n;$$

$$IV. r_{pi} \geq r_i = \text{const} \quad i \in N \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad s \neq n.$$

Число и форма ограничений зависят от конкретной постановки задачи в каждом отдельном случае.

Рассмотрим оптимальную задачу управления воздУхораспределением комбинированным способом с минимальным числом регулирующих устройств.

Существование ветвей, в которых по какой-либо причине невозможна установка регулирующих устройств, приводит к нелинейности задачи и трудности управления. Однако наличие регулирующих устройств в ветвях, в которых требуется поддерживать необходимый заданный расход воздуха, дает достаточное условие регулируемости.

Отметим одно важное свойство, которым обладают вентиляционные сети,— ветви, в которых неизвестны расходы воздуха, образуют между собой замкнутые контуры.

Решение задачи оптимального управления воздУхораспределением в некоторых ветвях вентиляционной сети и при постоянном общем расходе может быть разбито на два этапа.

Первый этап: определение расхода воздуха во всех ветвях вентиляционной сети с неизвестными расходами воздуха. Для этого решаем систему нелинейных уравнений замкнутых контуров относительно схемы с неизвестными расходами воздуха. В результате решения

получаем однозначное распределение вектора расхода воздуха

$$q(q_1, q_2, q_3, \dots, q_s), \text{ где } s < k \text{ и } s < n - l.$$

Второй этап: определение значений аэродинамических сопротивлений пассивных регулирующих устройств и параметров активных регуляторов. Если опорный базис регулирующих устройств известен, то, составляя на основе этого базиса систему независимых контуров и затем решая уравнения, находим искомые значения r_{pi} . Если координаты регулирующих устройств не указаны, то ранее построенное дерево графа-сети для ветвей с неизвестным расходом воздуха расширяют на всю вентиляционную сеть. Полученный базис из ветвей-связей есть искомый базис регулирующих устройств.

Затем последовательно для каждого независимого контура находят невязку депрессии Δh . Если она положительная (при составлении контура за положительное направление выбирают направление движения воздуха в ветви с регулирующим устройством), то невязка дает величину депрессии активного регулирующего устройства. В случае отрицательной невязки Δh значение сопротивлений регулирующего устройства находится по формуле

$$r_{pc} = \frac{\Delta h_c}{q_i^2} \quad c \neq i; \text{ сек}; i \in \omega. \quad (86)$$

Пример. Определить местоположение регулирующих устройств и их параметры для сети, изображенной на рис. 41.

В ветвях 2, 4, 5 регуляторы установить невозможно. Находим расходы воздуха по всей сети, решая уравнение для контура и вет-

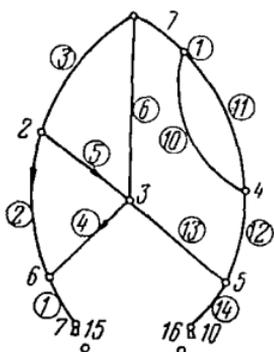


Рис. 41. Схема вентиляционной сети

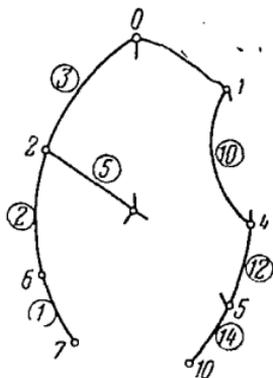


Рис. 42. Схема дерева

вей 2, 4, 5. Затем строим дерево (рис. 42) и определяем местоположение регулирующих устройств и их параметры (табл. 21).

Таблица 21

Исходные данные и результаты расчета вентиляционной сети (см. рис. 41)

Ветвь	r_0	q_0	$q_{\text{ест}}$	Ветвь с регулятором	h	Δh	r_{PI}	Δh вентилятора
1	0,01	13	13	—	1,69	—	—	—
2	0,09	5	7,08	—	4,51	—	—	—
3	0,05	10	10	—	5,00	—	—	—
4	0,10	8	5,92	—	3,46	—	—	—
5	0,12	5	2,92	—	1,02	—	—	—
6	0,02	10	10	6	2,00	-4,08	0,04	—
7	0,07	10	10	—	7,00	—	—	—
10	0,01	6	6	—	0,36	—	—	—
11	1,00	4	4	11	16,00	+15,64	—	15,64
12	0,04	10	10	—	4,00	—	—	—
13	0,03	7	7	13	1,47	-3,87	0,09	—
14	0,02	17	17	—	5,78	—	—	—

Решение контура из ветвей 2, 4, 5 по методу Андрюшева

$$\Delta h^{(n)} = r_5 q_5^{(n)2} + r_4 q_4^{(n)2} - r_2 q_2^{(n)2};$$

$$\Delta h^{(0)} = 0,12 \cdot 5^2 + 0,1 \cdot 8^2 - 0,09 \cdot 5^2 = 7,15;$$

$$\Delta q = \frac{\Delta h^{(n)}}{2(r_5 q_5^{(n)} + r_4 q_4^{(n)} + r_2 q_2^{(n)})} = \frac{7,15}{3,70} = 1,93.$$

Определяем

$$q_5^{(n)} = q_5^{(n-1)} - \Delta q = 5 - 1,93 = 3,07;$$

$$q_4^{(n)} = q_4^{(n-1)} - \Delta q = 8 - 1,93 = 6,07;$$

$$q_2^{(n)} = q_2^{(n-1)} + \Delta q = 5 + 1,93 = 6,93.$$

После этого найдем $\Delta h^{(n-1)}$ и так далее, пока с заданной точностью невязка депрессии будет $\Delta h = 0$.

Определяем параметры регулятора в ветви 11 из уравнения контура 10-11, для ветви 6 — из уравнения контура 3-5-6, а для ветви 13 — из контура 5-3-7-10-12-13

$$\Delta h = r_{11} q_{11}^2 - r_{10} q_{10}^2 = 16 - 0,36 = 15,64$$

и т. д.

3. ПРИМЕР ОПИСАНИЯ ДЕПРЕССИОННОЙ СЪЕМКИ ШАХТЫ

До начала съемки было тщательно изучено состояние вентиляционного хозяйства шахты, схема вентиляции, направление движения воздуха, намечены замерные пункты и маршруты на отдельных горизонтах, определены отметки станций замеров. Депрессионная съемка проводилась погоризонтно. Давления по воздухоподающим стволам и температура воздуха замерялись с промежуточными остановками для получения более точного средневзвешенного значения удельного веса воздуха. Замерные точки на горизонтах выбирались в наиболее характерных местах: у устья и отдельных горизонтов подъемных шахт и вентиляционного ствола, у пересечения квершлагов со штреками, на штреках вблизи откаточных и вентиляционных ортов на рабочие и подготавливаемые блоки и т. д.

По графику времени замеры давления при одноименных осях разных горизонтов проводились по возможности одновременно. Кроме того, в замерных станциях определялись температура и влажность воздуха, скорость движения струи и измерялись поперечные сечения выработок. Для этого применялись следующие приборы: три микробарометра МБНП-1 и один МБ-1М; крыльчатые АСО-3 и чашечные МС-13 анемометры; аспирационные психрометры; U-образный манометр с резиновой трубкой для контрольного замера на вентиляторной установке; рулетки и секундомеры.

Изменение барометрического давления на поверхности регистрировалось через каждые 10 мин с помощью микробарометра МБ-1М.

Свежий воздух поступал по трем стволам (рис. 43): шахты им. Артема № 1, шахты «Вентиляционная» № 3 и шахты «Вспомогательной». На горизонтах 475 и 550 м свежий воздух, проходя по квершлагам, штрекам и ортам, омыв рабочие блоки, с горизонтов 433 и 400 м по вентиляционному квершлагу гор. 400 м выходил к вентиляционному стволу шахты «Южная». Часть воздуха поступала на соседний ствол шахты «Северная».

Вентиляторная установка состояла из двух центробежных вентиляторов (действующего и резервного) ВЦ-5.

Целью данной съемки являлось установление распределения воздуха и депрессии по руднику.

Распределение воздуха. Как видно из табл. 22, внутренние утечки находятся в допустимых пределах (20%), но при этом надо иметь в виду, что полезно используемый воздух принят по замерам на ортах, что не отражает полностью количества воздуха, доходящего до рабочих забоев. До рабочих блоков доходит только 42% воздуха. Внешние утечки на самой вентиляторной установке составили 31%, что превышает допустимые.

Распределение воздуха на горизонтах ($\text{м}^3/\text{сек}$):

а) 550 м ($Q=107,7 \text{ м}^3/\text{сек}$)	
ствол шахты «Южная»	16,1
» » «Северная»	8,0
слепой ствол	24,7
гор. 475 м (восходящий)	6,5

Данные учета поступления и расхода воздуха

Место учета воздуха	Q, м ³ /сек	% к поступающему количеству воздуха	% к производительности вентилятора
Поступление:			
гор. 400 м	5,5	3,1	1,7
гор. 475 м	52,5	29,7	16,4
гор. 550 м	107,7	61,5	33,6
по линиям сжатого воздуха	10,0	5,7	3,1
Всего	175,7	100,0	54,8
Выход через ствол шахты «Южная»:			
гор. 550 м	16	9,1	5,0
гор. 400 м	206,0	117,0	64,0
через ствол шахты «Северная»	12,0	6,8	3,8
Всего	234,0	122,9	73,2
Производительность вентиляторной установки:			
на стволе шахты «Южная»	320,0	182,0	100,0
на рабочих блоках (ортах)	133,4	76,0	41,5
Утечки:			
внутренние	42,3	24,0	13,2
через выработанное пространство	58,3	33,2	18,2
на вентиляторной установке	98	55,8	30,7
галерея			6,6
орт 54			5,5
» 48			13,1
» 42			10,4
» 12—30			2,9
» 6—0			18,9
б) 475 м (Q=92,3 м ³ /сек)			
орт 72			10,3
» 66			9,0
» 60			10,0
» 54			7,0
» 48 д			9,0
» 48			10,0
» 42			5,0

» 36	6,0
» 30	10,0
» 24 (обратный поток)	3,0
» 18-12-6	15,5
к стволу шахты «Северная»	4,0

Поступающий в шахту воздух с учетом воздуха для проветривания камер удовлетворяет его потребное количество. Вопрос полного обеспечения всех блоков состоит в правильном перераспределении воздуха.

Распределение депрессии. Перепады давления между замерными станциями были вычислены по формулам, приведенным в главе III. Результаты вычислений по маршруту через блок № 72 представлены в табл. 23.

Для примера опишем, как определялась депрессия участка между замерными станциями № 1 и 2. Первый замерный пункт расположен у устья ствола шахты им. Артема, а второй — в околоствольном дворе гор. 475 м.

1. Определение удельного веса воздуха

$$\gamma_1 = 0,461 \frac{P}{T} = 0,461 \frac{743,2}{(273 + 19,0)} = 1,1733 \text{ кгс/м}^3,$$

$$\gamma_2 = 0,461 \frac{784,93}{293 + 14,6} = 1,2581 \text{ кгс/м}^3.$$

Среднее значение удельного веса воздуха

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} = 1,2157 \text{ кгс/м}^3.$$

Так как в воздухоподающих стволах изменение удельного веса воздуха нелинейное, то оно вычислялось по отдельным замерам участков ствола как средневзвешенная величина $\gamma_{\text{ср.взв}} = 1,2217 \text{ кгс/м}^3$.

Такая величина и была занесена в графу 9 табл. 23. Для других участков была взята средняя величина $\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$.

2. Определение поправки на превышение

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= \frac{H_2 - H_1 \gamma_{\text{ср}}}{13,6} = \frac{-403,08 - (+62,53)}{13,6} \times 1,2217 = \\ &= -41,83 \text{ мм рт. ст.} \end{aligned}$$

3. Поправка на изменение барометрического давления на поверхности

$$\Delta P_B = B'_k - B''_k = 744,32 - 744,4 = -0,08 \text{ мм рт. ст.}$$

4. Поправка на разность скоростей

$$\begin{aligned} \Delta P_v &= \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g \cdot 13,6} \gamma_{\text{ср}} = - \frac{0 - 3^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 13,6} 1,222 = \\ &= +0,04 \text{ мм рт. ст.} \end{aligned}$$

Определение депрессии по маршруту через блок № 72

№ запер- той стан- ции	Наименование станции	Время, ч—мин	Высотная отметка станции	Превыше- ние, м	Показания контроль- ного при- бора, мм рт. ст.	Темпе- ра- тура пра- бора, °С	Удельный вес воз- духа, кгс/м ³	
							на замерной станции	средний
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Нулевая площадка ствола шахты им. Артема	6—15	+62,53		744,32	19,0	1,1733	
2 (1)	Околовальный двор гор. 475 м	7—36	-403,8	-465,5	744,40	14,6	1,2581	1,2217
3 (4)	Конец главного квершлага гор. 475 м	9—40	-401,5	+1,58	744,25	14,5	1,2580	1,2580
4 (12)	Сопряжение штрека лежащего бока со штре- ком висячего бока	10—38	-402,07	-0,57	744,35	15,0	1,2510	1,2545
5 (16)	Звезд блока № 72	11—05	-401,5	+0,57	744,43	13,4	1,2580	1,2545
6	Вентиляционный штрек осн 56, гор. 433 м	10—50	-353,5	-18,0	744,40	14,8	1,2480	1,2380
7	Вентиляционный орт 56 за резенком гор. 400 м	9—30	-324,3	+29,2	744,30	14,8	1,2262	1,2231
8	Вентиляционный квершлаг у южного венти- ляционного ствола	9—50	-320,0	-4,3	744,20	15,0	1,2044	1,2653
9	Канал вентилятора (начало)	14—30	+48,0	+368,0	745,80	14,0	1,1506	1,1775
10	Канал вентилятора у рабочего колеса	14—10	+50,5	+2,5	745,90	14,0	1,1480	1,1498

№ измер- ной стан- ции	Наименование станции	Темпера- тура воды, °С	Поправка					Давление на станции, мм рт. ст.		Депрессия									
			на превыше- ние	на измене- ние бароме- трическо- го Давления	на скорость	суммарная	замерен- ное	приведен- ное	мм рт. ст.	мм вод. ст.									
											11	12	13	14	15	16	17	18	
1	2	10																	
1	Нулевая площадка шахты им. Артема	0																	
2(1)	Околовальный двор гор. 475 м	3	-41,83	-0,08	+0,01	-41,87													
3(4)	Конец главного гор. 475 м	5	+0,15	+0,15	+0,08	+0,38													
4(12)	Сопряжение штрека лежаще- го бока со штреком висяче- го бока	2,8	-0,05	-0,10	-0,08	-0,23													
5(16)	Заезд блока № 72	1,2	+0,05	-0,08	-0,03	-0,06													
6	Вентиляционный штрек оси 56, гор. 433 м	7,6	+4,40	-0,07	-0,29	+4,62													
7	Вентиляционный орт 56 за гезенком гор. 400 м	1,75	+2,62	+0,10	+1,08	+3,80													
8	Вентиляционный квершлаг у южного вентиляционного ствола	1,75	+0,38	+0,10	0	+0,48													
9	Канал вентилятора (начало)	13,6	+31,86	-1,60	-0,54	+29,72													
10	Канал вентилятора у рабоче- го колеса	19,3	+0,21	-0,10	+0,81	+0,92													

5. Общая приведенная поправка на второй станции

$$\Delta P_{об} = \Delta P_H + \Delta P_B + \Delta P_G = -41,83 + (-0,08) + 0,04 = -41,87 \text{ мм рт. ст.};$$

$$P'_2 = P_2 + \Delta P_{об} = 784,93 - 41,87 = 743,06 \text{ мм рт. ст.}$$

При данных условиях величина депрессии $h = P_1 - P'_2 = 743,20 - 743,06 = 0,14 \text{ мм рт. ст.} = 1,6 \text{ мм вод. ст.}$

Определение депрессии (мм вод. ст.) по маршрутам следующее.

Маршрут 1 (через блок № 72):

с поверхности до гор. 475 м	2
квершлаг гор. 475 м	29
штреки гор. 475 до орта 72	15
орт 72, блок № 72 и сборочный штрек до вентиляционного квершлага гор. 433 м	60
вентиляционный квершлаг гор. 433 м и вентиляционные гезенки на гор. 400 м	42
вентиляционный квершлаг гор. 400 м . .	174
вентиляционный ствол шахты «Южная» с гор. 400 м до канала вентилятора . . .	87
канал вентилятора	15
<hr/>	
Всего	424 мм
	вод. ст.
Естественная тяга	31,3
<hr/>	
Итого	393 мм
	вод. ст.

Депресснометр, установленный у вентилятора, показал 410 мм вод. ст. Следовательно, погрешность съемки составила $\Delta h = -17 \text{ мм вод. ст.}$, или 4,2%, что допустимо.

Маршрут 2 (через блок № 12):

с поверхности гор. 475 м	2
с околоствольного двора гор. 475 м до 12-го орта	34
блок № 12	23
вентиляционный квершлаг гор. 433 м и вентиляционные гезенки на гор. 400 м	42
вентиляционный квершлаг гор. 400 м .	174
вентиляционный ствол шахты «Южная» с гор. 400 м до канала вентилятора	87
канал вентилятора	15
<hr/>	
Всего	446
Естественная тяга	31
<hr/>	
Итого	415 мм
	вод. ст.

Погрешность съемки составила $\Delta h = 5$ мм вод. ст., или 1,2%, что допустимо.

Укрупненная депрессионная съемка позволила установить: распределение воздуха по выработкам вентиляционной сети шахт, величины внешних и внутренних утечек, распределение депрессии по выработкам вентиляционной сети, режим работы главной вентиляторной установки:

Недостатком съемки является то, что не определены сопротивления отдельных блоков, а это не позволяет составить мероприятия по перераспределению воздуха между блоками.

Основные выводы по проведенной депрессионной съемке:

1) имеются большие притечки через выработанное пространство, что ведет к перерасходу электроэнергии и уменьшению количества воздуха, поступающего в рабочие блоки;

2) большое сопротивление вентиляционного сборного штрека гор. 433 м затрудняет нормальное проветривание крайних блоков ($R = 19,7 \mu$);

3) недостаточное сечение вентиляционного квершлага гор. 400 м ($v = 15$ м/сек) приводит к расходу электроэнергии для передвижения воздуха по нему 3 060 000 квт в год. Покрытие квершлага полностью винипластом (снижение α приблизительно в 3 раза) дает экономию электроэнергии 2 040 000 квт в год;

4) вентиляторная установка работает на предельном режиме, и поэтому только ликвидация вышеуказанных недостатков позволит значительно увеличить количество воздуха, поступающего в шахту;

5) ликвидация внешних утечек на вентиляторной установке до допустимых норм (+20%) позволит уже сейчас уменьшить годовой расход электроэнергии на вентиляцию на 390 000 квт.

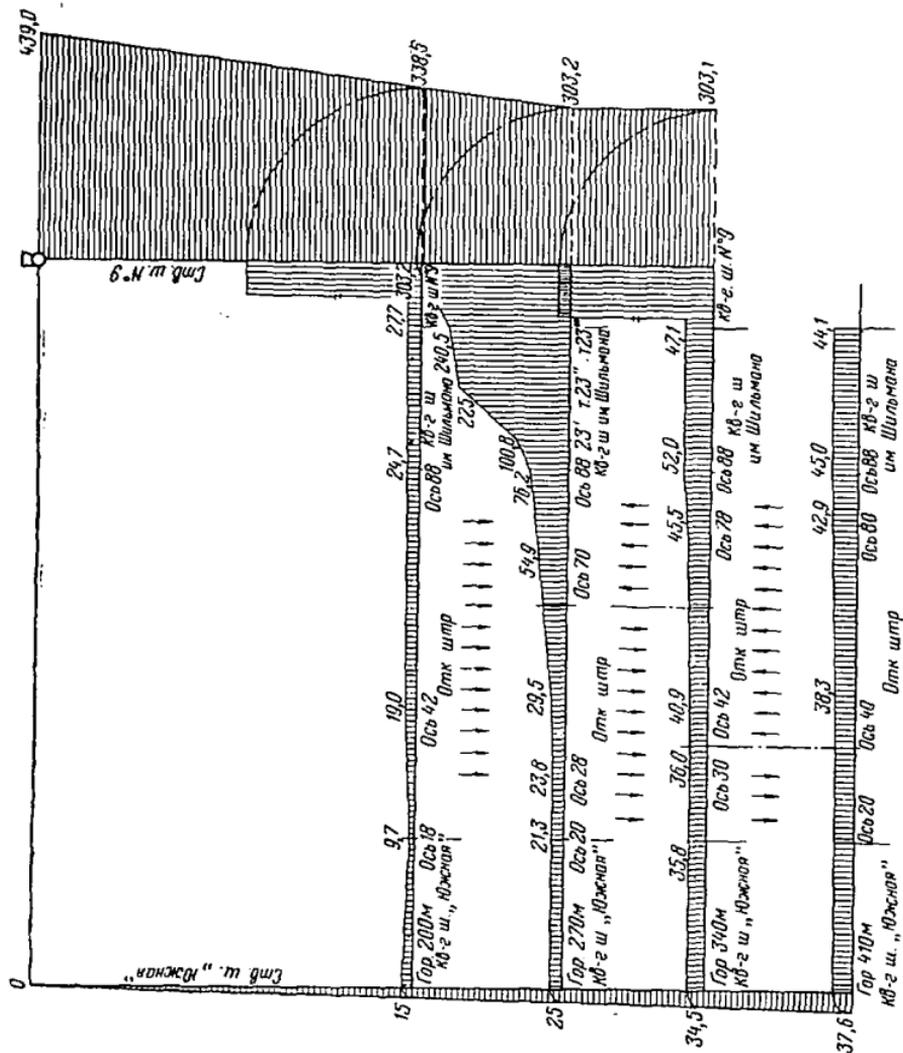
При обработке материалов депрессионной съемки, проведенной одновременно на нескольких горизонтах, наглядную картину дает диаграмма распределения депрессии по горизонтам.

Пусть на шахте (рис. 44) эксплуатируются четыре горизонта: 200, 270, 340 и 410 м. Из них два первых служат вентиляционными. В начале гор. 270 м, недалеко от квершлага, имелось несколько рабочих забоев по погашению целиков. Депрессионную съемку проводили в течение 3—4 ч одновременно по всем горизонтам в нерабочую смену при выключенных блоковых вентиляторах. Бригады замерщиков на каждом горизонте состояли из двух-трех человек и были снабжены приборами для замера давления: МБ-1 — гор. 200 и 270 м, МБНП-1 — гор. 340 и 400 м.

Все горизонты между собой были связаны неоднократными замерами давления по стволу шахты «Южная».

На основе полученных данных по разным точкам

Рис. 44. Диаграмма распределения депрессии одновременной съемки по горизонтам на шахте «Южная» рудоуправления им. Кирова



шахтной вентиляционной сети составлены диаграммы распределения депрессии. Все замерные величины давления приведены к одной условной точке — устью ствола шахты «Южная».

Построение диаграммы распределения депрессии по выработкам основных горизонтов шахты «Южная» (см. рис. 44) производилось следующим образом: в масштабе 1:1000 по вертикальной оси отложена длина стволов шахт «Южная» и № 9, а в масштабе 1:4000 по горизонтальной оси отложена длина квершлагов и штреков по основным горизонтам. Затем в каждой точке, где производились замеры давления во время съемки, были отложены в принятом масштабе величины депрессии (разность статистических давлений в устье ствола шахты «Южная» и в рассматриваемой точке). Изменение депрессии между смежными точками каждого горизонта принято линейным, так как замеры производились довольно часто и в первом приближении можно считать удельное сопротивление выработки на участке между ними постоянным.

При построении эпюр длина главных квершлагов на каждом горизонте принята условно одинаковой для того, чтобы одноименные оси каждого горизонта располагались на одной вертикальной линии. Такое расположение осей на диаграмме позволяет определить направление движения воздуха между точками разных горизонтов, расположенных на одной вертикальной линии.

Воздух будет двигаться из точки с меньшей депрессией в точку с большей, так как давление в первой точке, приведенное к условиям поверхности (устье ствола), будет больше давления во второй точке, приведенной к тем же условиям. На диаграмме штрихпунктирными линиями соединены точки смежных горизонтов с одинаковыми величинами депрессии (между этими точками движения воздуха нет). Стрелками показано направление движения воздуха между горизонтами.

Таким образом, на диаграмме сразу видны все «узкие места» вентиляционной сети шахты: участки горизонтальных выработок с большим сопротивлением, характеризующиеся большим наклоном эпюра депрессии; плохо проветриваемые очистные забон (блоки); направление утечек и т. д.

На представленной диаграмме распределения депрессии хорошо видно, что приточка воздуха через карьер и зону обрушения с поверхности доходила через рабочие блоки на нижние горизонты (до 410 м), что явно нарушало нормальный режим проветривания. На гор. 340 м примерно с оси 62 воздух двигался в нормальном направлении (снизу вверх), а на гор. 410 м только с оси 36.

Следовательно, для обеспечения нормальной вентиляции нижних горизонтов необходимо провести работы, требующие больших капитальных затрат, — засыпать выработанное пространство карьера или изменить схему вентиляции, а как временное средство — установить блоковые вентиляторы. Из диаграммы можно найти величину минимальной депрессии, которую должен обеспечить установленный вспомогательный вентилятор, чтобы противодействовать движению воздуха сверху вниз. Кроме того, из диаграммы видно, что одним из «узких мест» вентиляционной сети являются квершлагаи шахт им. Шильмана и № 9 гор. 270 м, где наклон эпюры депрессии резко возрастает. Величина депрессии на этих квершлагах равна 227 мм вод. ст., или 51,7% общей депрессии вентилятора, а затраты на электроэнергию, расходуемую за год на продвижение воздуха по квершлагам, составили 61 300 руб. Следовательно, необходимы меры по снижению аэродинамического сопротивления квершлага.

Применение комбинированного способа проведения депрессионной съемки и составление диаграммы распределения депрессии облегчает решение ряда вопросов, в том числе и одного из трудных вопросов вентиляции рудных шахт, а именно: уточнение параметров вспомогательных вентиляторов для обеспечения заданного распределения воздуха в вентиляционной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ф. А., Булькач С. Н., Милетич А. Ф. Депрессионная съемка шахты № 133 «Кочегарка» треста Артем-уголь.— «Сборник трудов ДГИ», вып. II. М., Гостоптехиздат, 1940.
2. Абрамов Ф. А., Бойко В. А., Долинский В. А. Лабораторный практикум по рудничной вентиляции. М., «Недра», 1966.
3. Расчет сложных вентиляционных сетей на ЭЦВМ.— «Горный журнал», 1964, № 11, Авт.: Ф. А. Абрамов, В. А. Бойко, Р. Б. Тяп, Г. А. Швец.
4. Абрамов Ф. А., Тяп Р. Б. Применение расчета вентиляционных сетей и управление проветриванием шахт.— В сб.: «Математические методы и вычислительная техника в горном деле», вып. I. М., «Недра», 1966.
5. Абрамов Ф. А. и др. Расчет распределения и регулирования расхода воздуха в шахтных вентиляционных сетях с помощью ЭЦВМ. М., «Недра», 1968.
6. Абрамов Ф. А., Бойко В. А., Фролов Н. А. Моделирование вентиляционных сетей шахт. М., Госгортехиздат, 1961.
7. Абрамов Ф. А. и др. Аэродинамические расчеты труднопроветриваемых шахт с помощью электронно-вычислительных машин. — В сб.: «Совершенствование проветривания шахт». М., «Недра», 1964.
8. Багриновский А. Д. Электрическое моделирование рудничных вентиляционных сетей. М., Изд-во АН СССР, 1957.
9. Багриновский А. Д. Геометрическая теория шахтных вентиляционных сетей. М., «Недра», 1963. («Труды ИГД им. Скопинского», т. XXII).
10. Белянин И. Е., Соболевский В. В., Стрейманн В. Э. Новый способ замера площади поперечного сечения горных выработок.— «Металлургическая и горнорудная промышленность», 1963, № 2.
11. Берт К. Теория графов и ее применение. М., изд. ИЛ, 1962.
12. Волков А. А. Синтез оптимального управления проветривания шахт. Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук. Киев, ИК АН УССР, 1968.
13. Ермолаев Ю. М., Мельник И. М. Экстремальные задачи на графах. Киев, «Наукова думка», 1968.
14. Жоховский М. К. Тектоника измерения давления и разрежения. М., Машгиз, 1952.

15. Кирсанов В. Я. Отклик на статью Н. Ф. Чухонцева.— «Уголь», 1962, № 3.
16. Ксенофонтова А. И. Депрессионные съемки на шахтах. М.—Л., ОНТИ НКТП СССР, 1938.
17. Клепиков Б. А. Временное практическое руководство по расчету вентиляционных сетей шахт на приборе ПРВС-2. Макеевка, изд. МакНИИ, 1957.
18. Лозинская А. М. Струнный микробарометр.— «Прикладная геофизика», 1962, вып. 34.
19. Милетич А. Ф. Контроль проветривания шахт. М., Углетехиздат, 1958.
20. Прихода А. Г. Барометрическое нивелирование. М., «Недра», 1964.
21. Скочинский А. А., Комаров В. Б. Рудничная вентиляция. М., Углетехиздат, 1959.
22. Фельдгейм П. З., Титова А. Г. Измерение скорости и депрессии в рудничных условиях. Тр. ЦНИГРИ, вып. 42, 1961.
23. Форд Л., Фалкерсон Д. Поток в сетях. М., 1966.
24. Цой С. В., Рогов Е. И. Основы теории вентиляционных сетей. Алма-Ата, «Наука», 1965.
25. Цой С. В., Цхай С. М. Синтез параметров вентиляционных сетей.— В сб.: «Кибернетика в горном деле». Алма-Ата, «Наука», 1966.
26. Ярцев В. А. Депрессионная съемка с остановками вентилятора. — Изв. вузов, «Горный журнал», 1962, № 4.
27. Аврамчук Р. Н., Корольский В. В., Тянь Р. Б., Потемкин В. П., Сапончик С. В. Автоматизированная система обработки материалов воздушно-депрессионных съемок на ЭЦВМ «Минск-22». «Горный журнал», 1972, № 12.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Инструментальные средства для депрессионных съемок шахт	4
1. Понятие о депрессионной съемке шахты	4
2. Способы депрессионных съемок	5
3. Приборы для депрессионных съемок	10
Глава II. Депрессионные съемки	47
1. Организация работ	47
2. Выбор оптимальных маршрутов	51
3. Проведение депрессионной съемки	60
Глава III. Обработка материалов депрессионной съемки	73
1. Обработка замеров воздуха	73
2. Определение депрессии между замерными станциями	75
3. Определение естественной тяги	96
4. Определение точности депрессионной съемки аналитическим путем	97
Глава IV. Использование результатов депрессионной съемки для улучшения проветривания шахт	107
1. Разработка рекомендаций с привлечением электрического моделирования	107
2. Разработка мероприятий по улучшению проветривания шахты с помощью ЭЦВМ	119
3. Пример описания депрессионной съемки шахты	130
Список литературы	141

ФЕДОР АЛЕКСЕЕВИЧ АБРАМОВ
АНТОН ФЕДОРОВИЧ МИЛЕТИЧ
ВОЛЬДЕМАР ЭДУАРДОВИЧ
СТРЕЙМАНН

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ
СРЕДСТВА И МЕТОДЫ
ДЕПРЕССИОННЫХ СЪЕМОК
ШАХТ

Редактор издательства *И. В. Коваль*
Обложка художника *А. Е. Григорьева*
Технический редактор *Л. Г. Лаврентьева*
Корректоры *А. А. Передерникова,*
Л. В. Сметанина

Сдано в набор 3/XII 1973 г. Подписано
в печать 19/II 1974 г. Т-04612
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 1. Печ л. 4,5.
Усл. п. л. 7,56. Уч.-изд. л. 7,7.
Тираж 2 000 экз. Заказ № 1804/4440—10
Цена 42 коп.

Издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский
проезд, 1/19.
Московская типография № 32
«Союзполиграфпрома» при Государствен-
ном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книж-
ной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

xp-3
gu5

50223

Д4

29919