Министерство угольной промышленности СССР
Министерство энергетики НРБ

ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ

по расчету вентиляционных сетей с применением аналоговых и цифровых вычислительных машин

Кемерово — 1974

Министерство угольной промышленности СССР
Министерство энергетики НРБ

УТВЕРЖДЕНО
заместителем Министра угольной промышленности СССР
В. ФЕДАНОВЫМ
23 апреля 1974 г.

УТВЕРЖДЕНО
заместителем Министра энергетики НРБ
К. БАНДОВЫМ
25 февраля 1974 г.

ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ

по расчету вентиляционных сетей с применением аналоговых и цифровых вычислительных машин

СОГЛАСОВАНО
с директором ИГД им. А. А. Скочинского
А. ДОКУКИНЫМ
28 февраля 1974 г.

СОГЛАСОВАНО
с ректором ВГГИ
К. ШЕЙРЕТОВЫМ
15 января 1974 г.

СОГЛАСОВАНО
с директором ВостНИИ
Н. ЛИНДЕНАУ
3 января 1974 г.

Кемерово — 1974

УДК 622.4:518.5

АННОТАЦИЯ

Во «Временной инструкции....» излагаются методики расчета шахтных вентиляционных сетей с использованием аналоговых и цифровых вычислительных машин. Рассматривается структура расчетов и приводится классификация вентиляционных задач, излагаются рекомендации по рациональному использованию средств вычислительной техники, исходя из современного уровня организации расчетов. Предлагаются методики получения исходных данных с помощью воздушно-депрессионных съемок и обследования вентиляторных установок, обработки и накопления исходной информации, учета естественной тяги в расчетных схемах; методы решения вентиляционных задач с помощью средств электромоделирования и ЭВМ.

«Временная инструкция...» предназначена для инженерно-технических работников шахт, занимающихся вопросами вентиляции, проектных организаций, служб, специализирующихся по расчету вентиляционных сетей и проведению воздушно-депрессионных съемок и ИВЦ угольных комбинатов.

© Министерство угольной промышленности СССР

Министерство энергетики НРБ,

ВВЕДЕНИЕ

Правильное оперативное управление проветриванием шахт и разработка рекомендаций по созданию необходимого режима вентиляции, решение вопросов проветривания при составлении плана горных работ возможны только после анализа сети с помощью специальных вычислительных устройств.

Упрощенные расчеты вентиляции по направлениям не пригодны для сложных вентиляционных сетей, так как при этом не учитывается ряд факторов, влияющих на режимы и организацию проветривания. К таким факторам относятся взаимное влияние совместно работающих вентиляторов, действие тепловой депрессии, наличие пределов аэродинамического сопротивления регулирующих устройств, ограниченность в количестве и месте их установки и др.

В настоящее время широкое распространение получили расчеты вентиляционных сетей с помощью аналоговых и цифровых вычислительных машин. Используя эти решающие устройства, можно заранее определить эффект мероприятий при реконструкции вентиляции.

Для решения задач вентиляции любым известным методом необходимо иметь достоверные аэродинамические характеристики всех элементов вентиляционной сети. Основным способом их получения являются воздушно-депрессионные (аэродинамические) съемки.

Расчет сети с помощью аналоговых и цифровых машин выполняется по специальным программам и инструкциям. Ему предшествует изучение вентиляционной сети и перспективы развития шахты, составление расчетных схем, определение характеристик элементов сети с помощью аэродинамической съемки и аналитических расчетов. Кроме того, прежде чем рассчитывать сеть, необходимо принять предварительные инженерные решения по вентиляции шахты. Целью расчета обычно является проверка эффективности планируемых мероприятий или вариантов реконструкции вентиляционной

сети. В последнее время практикуется также проверка перспективных планов горных работ по фактору вентиляции и расчет реверсивных режимов проветривания.

Реконструкция и совершенствование проветривания осуществляются проведением по отдельности или в комплексе следующих мероприятий:

— строительства новых вентиляторных установок взамен ликвидируемых в связи с отработкой запасов угля;

— строительства дополнительных вентиляторных установок без ликвидации действующих (при необходимости увеличения подачи воздуха в шахту);

— проведения новых горных выработок для снижения сопротивления общешахтных исходящих и входящих путей;

— перехода на новый способ проветривания;

— улучшения распределения воздуха в сети горных выработок с помощью ограничительных вентиляционных дверей;

— изменения производительности имеющихся вентиляторных установок с помощью изменения угла установки лопаток рабочего колеса (направляющего аппарата) или числа его оборотов;

— улучшения герметизации надшахтных зданий и вентиляционных каналов, а также уменьшения потерь депрессии на местных сопротивлениях.

При современном состоянии теории вентиляционных сетей задача оптимизации топологии и параметров элементов сети с учетом технических и экономических факторов не имеет своего решения. Задачи решаются путем анализа различных вариантов. Число вариантов может быть неограниченным. Тем не менее оно ограничивается по горнотехническим, экономическим и организационным условиям. Задача в таком случае сводится к выбору практически выполнимых вариантов и их сравнению по техническим, экономическим и организационным факторам.

В будущем наиболее эффективным методом управления проветриванием будет автоматический. Это вызовет повышение требований к работникам вентиляционной службы, потребует знания теории и практики расчета вентиляционных сетей.

В разработке «Временной инструкции» принимали участие **А. А. Мясников, Г. С. Евстратенков, В. П. Тюрин, В. Б. Попов, М. У. Диденко** (ВостНИИ, г. Кемерово); **В. К. Вольский, С. Г. Калиев** (КО ВостНИИ, г. Караганда); **Е. Г. Давыдов, А. С. Филоненко** (СШМУ комбината Карагандауголь); **Т. Стефанов, И. Велчев, В. Томов, Г. Христов, Г. Александров** (Болгария, ВГГИ, г. София); **Ф. С. Клебанов, Р. В. Зубов** (ИГД им. А. А. Скочинского, г. Москва).

I. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ И ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

1. 1. Вентиляционные сети и задачи, решаемые при их расчетах

Вентиляционная сеть шахты в совокупности с источниками движения воздуха рассматривается как единая замкнутая через атмосферу система. Элементами вентиляционной системы являются ветви и источники движения воздуха. Ветви относятся к пассивным элементам системы и представляют собой пути движения воздуха: горные выработки, вентиляционные каналы, пути утечек. Источники движения носят название активных элементов системы. К ним относятся вентиляторы и естественная тяга. Соединения ветвей называются узлами и обозначаются арабскими цифрами. Узел соединяет не менее трех ветвей.

Для расчета вентиляционной сети составляется расчетная схема (рис. 1) в виде системы замкнутых контуров. Под контуром понимается такая связь ветвей, при которой они замыкаются. Контуры могут быть сложными и элементарными (независимыми).

Например, контур 2—3—4—5 является элементарным, так как не включает в себя других контуров. Контур 2—3—4—6—5—2 сложный, так как включает в себя два элементарных. Названные контуры замыкаются внутри сети, а контуры 1—11—10—9—2—1 и 1—2—5—6—7—1 — через атмосферу. Однако с точки зрения расчета сети все контуры равнозначны. Связь через атмосферу обозначается штриховой линией, что указывает на нулевое сопротивление этих связей. Точки выхода в атмосферу могут сразу соединяться в один узел. Это значит, что связи I—I не являются ветвями. Все ветви вентиляционной схемы разделяются на смежные и внешние. Смежные ветви характеризуются тем, что они

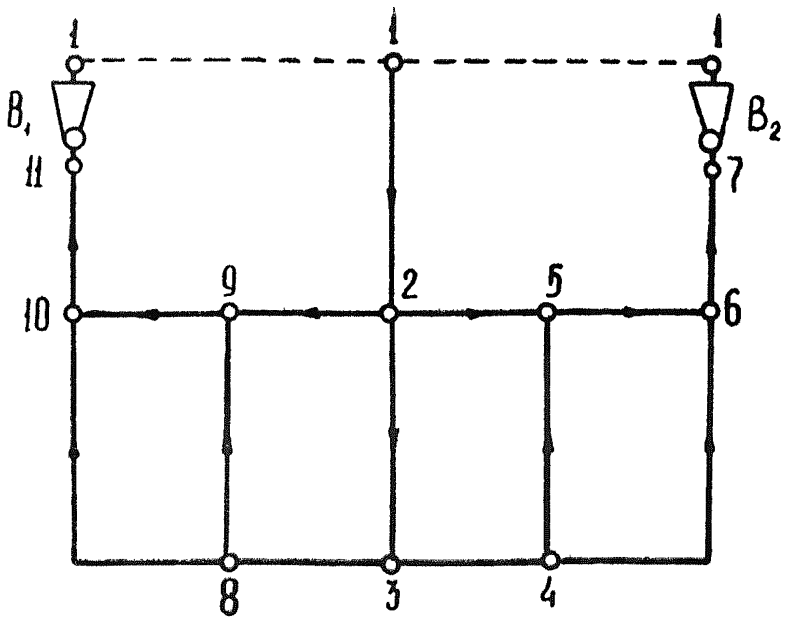

Рис. 1. Пример схематического изображения вентиляционной системы

входят в два смежных контура, например, ветвь 2—3. Внешняя ветвь входит в один контур, например, ветвь 8—10.

Зависимость между числом ветвей L, узлов N и контуров M выражается формулой

$$L=M+N-1. \qquad (1.1).$$

В общем виде напорная характеристика каждого элемента может быть записана как

$$H=f(Q), \qquad (1.2)$$

где H — депрессия, создаваемая активным элементом, $кг/м^2$,
Q — дебит воздуха, $м^3/с$.

Для выработок и местных сопротивлений, составляющих наибольшую часть элементов сети, принимается турбулентный режим движения и напорная характеристика выражается формулой

$$h=RQ^2, \qquad (1.3)$$

где h — депрессия, затрачиваемая в пассивном элементе, $кг/м^2$;
R — аэродинамическое сопротивление, $кμ$

Графически характеристика ветви представляет собой параболу, проходящую через начало координат.

Характеристика вентилятора выражается графически сложной кривой. Аналитически описывается, как правило, только ее рабочая часть. Депрессия естественной тяги выражается как $h=\text{const}$. Графически это линия, параллельная оси Q.

Режим вентиляционной системы определяется следующими параметрами: сопротивлением, дебитом и депрессией в каждой ветви, а также напором H и дебитом Q источника тяги.

Математически режим сети описывается системой независимых уравнений вида

$$\Sigma R_i\ Q^2_i = \Sigma h_{u_i} \tag{1.4}$$

и вида

$$\Sigma Q_i = 0, \tag{1.5}$$

где h_{u_i} — депрессия i — того источника давления.

Уравнения вида (1.4) составляются для каждого независимого контура и их число равно числу таких контуров в сети M. Для рассматриваемого примера (рис. 1) можно составить 6 контурных уравнений. Физический смысл уравнения (1.4) заключается в том, что в каждом контуре алгебраическая сумма депрессий, затрачиваемых на перемещение воздуха в каждой ветви, равна алгебраической сумме давлений, развиваемых источниками, включенными в этот контур.

Для контуров, не имеющих источников давления, уравнение (1.4) имеет вид.

$$\Sigma R_i\ Q^2_i = 0. \tag{1.6}$$

Узловые уравнения вида (1.5) выражают закон: количество воздуха, входящего в узел, равно количеству выходящего из узла, т. е. алгебраическая сумма дебитов равна нулю. Число независимых уравнений (1.5) равно $N-1$. Всего для сети число независимых контурных и узловых уравнений равно

$$K=M+N-1. \tag{1.7}$$

Кроме этих уравнений необходимы уравнения, описывающие характеристики источников тяги $h_u = f(Q)$ или их графики.

Уравнение (1.5) называется первым законом сети, уравнение (1.4) — вторым.

При расчетах конкретной сети могут возникать различные задачи в зависимости от того, какие из параметров h, Q, R, $H_в$, $Q_в$ известны и какие определяются. На практике встречаются задачи, представленные в табл. 1.

1-я задача является наиболее общей и распространенной. На практике она решается в случае, когда необходимо опре-

Таблица 1

Задачи	Известные параметры	Искомые величины
1. Определение свободного распределения воздуха в сети	Характеристики всех элементов сети: R и $h_и = f(Q)$	h, Q, $H_в$, $Q_в$
2. Регулирование необходимого воздухораспределения	R для большинства ветвей и Q для части ветвей, в которых устанавливаются регуляторы, $h_и = f(Q)$ части источников, $H_в$ и $Q_в$ части источников	Q и h всех ветвей, R части ветвей, $H_в$ и $Q_в$ для части источников.
3. Группа задач воздушно-депрессионной съемки	h и Q всех или достаточной части ветвей, $H_в$ и $Q_в$ всех или части вентиляторов	Q и h части ветвей, R всех ветвей, $H_в$ и $Q_в$ части вентиляторов
4. Построение характеристики сети относительно точки включения вентилятора	R всех ветвей и $h_и = f(Q)$ всех источников кроме одного, в точке включения которого определяется характеристика	Последовательный ряд значений Q вентилятора, под который строится характеристика, при различных значениях развиваемой им депрессии H

делить режим проветривания при изменении сети в результате развития горных работ или включения в сеть новых вентиляторов и ветвей. Эта задача решается также для проверки тех или других мероприятий по конкретным предложениям. Она используется и для целей выбора регулирующих средств путем их подбора. Например, если необходимо определенным образом перераспределить воздух между участками или забоями, то ориентировочно подбираются места установки регуляторов и их сопротивления. После внесения их в расчетную схему задача сводится к расчету свободного распределения воздуха. Если в результате расчета окажется, что режим не обеспечивает необходимого воздухораспределения, то рассматривается другой вариант регулирования или уточняется первый и т. д. Однако такой прием не является рациональным. Легче достигнуть необходимого распределения воздуха в сети, решая вторую задачу приведенной классификации.

Задачи третьей группы выполняются обычно при обработке результатов воздушно-депрессионной съемки. С целью сокращения объема работ в шахте параметры h и Q замеряются не во всех ветвях. Незамеренные h и Q определяются при помощи уравнений (1.4) и (1.5). Затем на основании известных значений h и Q всех ветвей определяются их аэродинамические сопротивления.

Четвертая задача может выполняться при выборе вентиляторов и проверке устойчивости режимов их работы. Выбор вентиляторов является частным случаем задачи регулирования воздухораспределения. Проверка устойчивости режимов работы вентиляторов должна производиться во всех случаях проектирования новых или реконструируемых вентиляционных сетей, если в них включаются осевые вентиляторы.

1.2. Этапы расчета вентиляционной сети

Под расчетом вентиляционной сети следует понимать решение комплекса задач на различные периоды развития горных работ, т. е. расчет обычно является многовариантным решением. Весь расчет состоит из двух частей — получения и подготовки исходной информации с учетом ее ввода в машину и непосредственного решения с выдачей, анализом и оформлением его результатов (рис. 2).

Этапы расчета вентиляционной сети проектируемых шахт несколько отличны от приведенной схемы. Это отличие заключается только в первой его части, что объясняется принципиальной разницей получения исходных данных. Если для реконструкции шахт исходные данные для расчета получаются в результате проведения воздушно-депрессионных съемок, то для проектируемых — в основном расчетным путем. Имеется также различие и в том, что для первого типа шахт производится привязка к существующей вентиляционной сети, а для второго — такое условие отсутствует. В итоге для расчетов вентиляционных сетей проектируемых шахт используются только расчетные величины.

После выполнения операций по получению исходных данных производится их подготовка. Подготовка исходных данных включает в себя ряд промежуточных этапов.

Прежде всего составляются расчетные схемы анализируемых вариантов. Принцип составления расчетных схем не зависит от типа шахты. Расчетные схемы составляются на определенные периоды развития горных работ с учетом основных аэродинамических связей и всех вентиляторов главного проветривания.

Обработка результатов воздушно-депрессионной съемки заключается в расчетах узловых депрессий, депрессий ветвей схемы и количеств воздуха в них, депрессии и дебита вентиляторов, аэродинамических сопротивлений ветвей. Обработка состоит из двух частей — предварительной, выполняемой на этапе получения исходных данных, и детальной. Детальная обработка выполняется в организации, производящей расчет с использованием различных вычислительных средств в отличие от первой, выполняемой непосредственно на шахте с

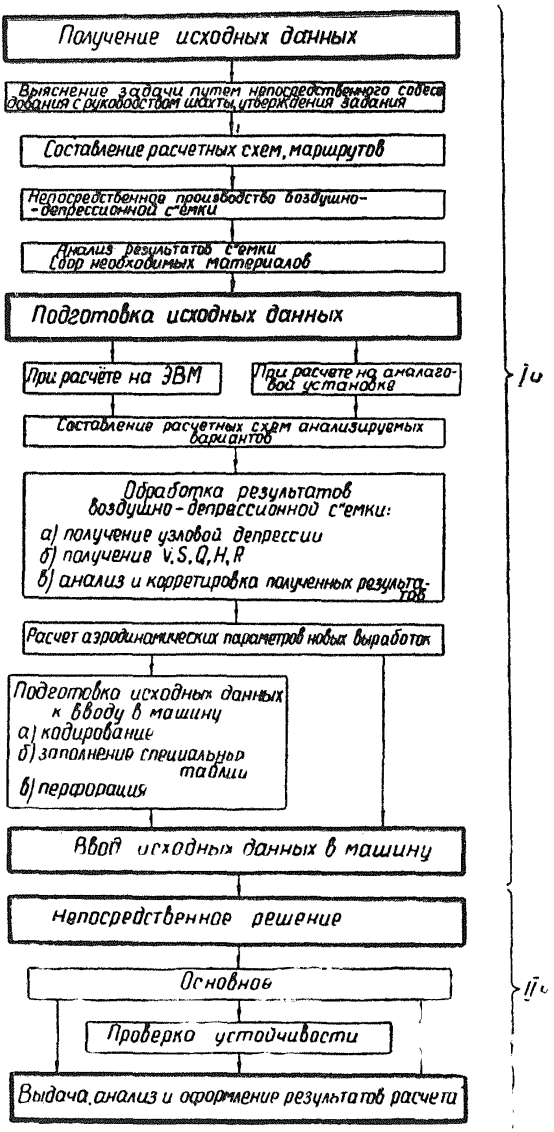

Рис. 2. Этапы расчета вентиляционной сети действующих и подлежащих реконструкции шахт.

использованием ручной обработки и средств малой оргтехники с целью проверки правильности исполнения воздушно-депрессионной съемки. Цель детальной обработки — получение аэродинамических сопротивлений ветвей анализируемых расчетных схем проветривания.

Аэродинамические сопротивления новых выработок рассчитываются на основе коэффициентов аэродинамического трения и геометрических параметров выработок или путем подобия значений аэродинамических сопротивлений ветвей, полученных при обработке результатов воздушно-депрессионной съемки, равных по своей величине ветвям анализируемых расчетных схем. На этом этапе обычно производятся различные упрощения или, наоборот, детализация расчетных схем в зависимости от цели вентиляционного расчета.

В результате выполнения этого этапа вся информация о расчетных схемах анализируемых вариантов при использовании электроаналоговых установок должна быть окончательно подготовлена к вводу в машину. В случае применения метода ЭВМ необходимо выполнение промежуточного этапа по подготовке исходных данных к вводу в машину, включающего кодирование, заполнение специальных таблиц, перфорацию. В результате выполнения этого промежуточного этапа вся информация должна быть окончательно подготовлена к вводу в машину и представлена в виде перфолент, перфокарт или записей на магнитной ленте.

Ввод исходных данных в машину является конечным этапом первой части расчета вентиляционной сети. Использование ЭВМ заключается в выполнении требований инструкции, прилагаемой к программе расчета вентиляционных сетей. При методе электромоделирования этот этап включает операции по подбору аналогов и монтажу схемы вентиляционных соединений. В результате выполнения этапа всю необходимую информацию для рассматриваемого варианта следует ввести в оперативную память машины.

Следующий этап — непосредственное решение — преследует цель анализа предложенных вариантов с привлечением аналоговых и электронных вычислительных машин. Он может быть представлен в виде последовательного решения анализируемых вариантов и затем их анализа или непосредственного участия специалиста в вычислительном процессе с целью корректировки хода решения в соответствии с рассматриваемыми вариантами. Этот этап, независимо от принятой организации выполнения решения, подразделяется на операции по выполнению основного решения и операции по проверке устойчивости режимов работы вентиляторов. Под основным решением следует понимать решения вентиляционных задач первого, второго и третьего типов классификации (табл. 1). Проверка устойчивости режимов работы вен-

тиляторов является специфической вентиляционной задачей и может выполняться без основного решения. Если изменение аэродинамического сопротивления сети незначительно, то этап непосредственного решения выполняется, минуя операции по проверке устойчивости. В этом случае за основу берется результат предыдущей проверки устойчивости режимов работы вентиляторов.

Последним этапом расчета вентиляционной сети являются выдача, анализ и оформление результатов решения. Следует отметить, что выдача окончательных результатов решения в фазе оформления зависит от принятой организации непосредственного решения.

Если в основу организации расчета взято последовательное решение анализируемых вариантов и затем их анализ, то выданные результаты могут оказаться промежуточными. В этом случае цикл расчета вентиляционной сети повторяется, начиная с этапа подготовки исходных данных к вводу в машину. Подобная ситуация в основном характерная для метода ЭВМ. Если в основу взята организация расчета с участием специалиста в вычислительном процессе, то выданные результаты обычно окончательны, так как решение ведется параллельно с анализом.

Окончательные результаты решения позволяют перейти к фазе оформления решения, что осуществляется обычно в виде составления технических отчетов.

Перечисленные этапы производства расчета касаются многовариантного решения. В случае одновариантного решения этапы выполнения расчета аналогичны многовариантному за исключением анализа.

В отдельных случаях расчет вентиляционной сети может быть ограничен выполнением первой части (рис. 2). В этом случае для действующих и реконструируемых шахт расчет заканчивается промежуточным этапом по обработке результатов воздушно-депрессионной съемки, для проектируемых шахт — подсчетом депрессий по маршрутам и т. д.

1.3. Методы и средства расчета вентиляционных сетей

Существующие в настоящее время методы расчета вентиляционных сетей — аналитический, графический, графоаналитический, метод пневмогидро- и электромоделирования и метод ЭВМ базируются на основе использования двух законов сетей (1.4, 1.5).

Первые три метода не нашли широкого применения в расчетах современных сложных вентиляционных сетей ввиду того, что решение системы линейных и квадратичных уравнений, достигающих в некоторых случаях нескольких сотен, практически невозможно. В связи с этим за последние

десятилетия в вентиляционных расчетах наметилось научно обоснованное направление расчета сетей с широким использованием методов моделирования, которое, в свою очередь, распадается на два направления — физическое и математическое моделирование.

При физическом моделировании (пневмомодели, гидроинтеграторы и т. д.) в моделях и натурных установках (объектах), отличающихся между собой только размерами, протекают явления одной и той же физической природы, однако практическая реализация этого метода наталкивается на ряд технических трудностей. Довольно сложно изготовить модели, в которых можно было бы производить быстрое и надежное соединение отдельных элементов друг с другом в необходимых комбинациях, возникают затруднения при производстве измерений в этих устройствах, трудности в создании источников, воспроизводящих напорные характеристики вентиляторов, и т. д. Указанные обстоятельства привели к ограниченному использованию методов физического моделирования в практических вентиляционных расчетах. В последнее время в связи с необходимостью решения проблемы автоматизации управления проветриванием шахты принцип физического моделирования положен в основу оперативного сбора исходной информации путем установки датчиков контроля параметров рудничной атмосферы и создания системы связи в управляемом объекте.

В отличие от физического математическое моделирование любого явления, происходящего в натуре, может быть воспроизведено явлением иной физической природы, если эти явления описываются одним и тем же видом уравнения. Таким образом, для применения метода математического моделирования в основном требуется формальная тождественность уравнений, выражающих явления той или иной физической природы. Из сказанного следует, что математическое моделирование ставит целью только решение уравнений, составляемых на основании тех или иных закономерностей явления.

Современными представителями математического моделирования являются методы электромоделирования и метод ЭВМ.

Возможность электрического моделирования вентиляционных сетей основана на тождественности основных законов вентиляционных сетей для узлов и контуров и законов электрических сетей для узлов и контуров.

В настоящее время расчеты вентиляционных сетей с помощью электрического моделирования проводятся по двум направлениям:

1) изыскание методов формальной тождественности систем уравнений, выражающих вторые законы Кирхгофа;

2) разработка методов полной аналогии вольтамперных характеристик элементов электрических цепей и характеристик вентиляционных сетей.

В соответствии с этими направлениями разработаны и средства расчета вентиляционных сетей. Приборы, основанные на формальной тождественности систем уравнений, моделируют решение вентиляционных задач либо с помощью метода хорд, либо методом касательных (метод Ньютона). Типичными представителями этого направления являются приборы типа ПРВС-2, ЭПМВС. Приборы, характерные для 2-го направления, получены применением нелинейных элементов или принципа линейно-кусочной аппроксимации, который считается наиболее эффективным. К представителям этого направления относятся приборы типа ЭЛМ, ЭМП, ППРВС-ДГИ, ЭМВС, *MWK* и др.

При решении практических вентиляционных задач самое широкое распространение получил прибор ЭМВС-6 ИГД им. А. А. Скочинского, основанный на принципе линейно-кусочной аппроксимации (выпускается в СССР Конотопским электротехническим заводом «Красный металлист»).

При расчетах вентиляционных сетей с помощью электронных вычислительных машин использование двух законов вентиляционных сетей осуществляется в различных формах:

— на основе первого закона составляется приближенное воздухораспределение в расчитываемой вентиляционной системе, которое затем путем последовательных уточнений приводится в соответствие с уравнениями второго закона. Возможен и обратный порядок;

— на основе уравнений обоих законов сетей составляются системы уравнений для всего соединения, которые решаются затем с использованием тех или иных математических способов, упрощающих подсчеты.

В некоторых методах расчета системы уравнений, соответствующие 1 и 2-му законам сетей, дополняются использованием других закономерностей, например, принцип минимизации мощности, согласно которому естественное распределение воздуха в сети соответствует минимальной мощности, затрачиваемой на его передвижение. Тогда система (1.4, 1.5) может быть заменена системой

$$\left.\begin{aligned} &\Sigma N_i = \Sigma h_i Q_i = \Sigma R_i Q^3{}_i \to \min \\ \text{при} \quad &\Sigma Q_i = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (1.8)$$

Для ЭВМ в настоящее время характерно распространение в основном двух методов расчета — с помощью методов линеаризации и методов последовательных приближений. Эффективность применения того или иного алгоритма на ЭВМ зависит от различных факторов: сложности рассматриваемой сети, скорости сходимости процесса вычислений, объема опе-

ративной памяти ЭЦВМ и т. д. Эффективность методов линеаризации заключается в том, что они имеют быструю сходимость по отношению к другим методам, но обладают недостатком — очень сложен алгоритм вычислений, что требует значительного объема оперативной памяти ЭЦВМ под программу.

При изучении существующих методов последовательных приближений расчета сложных вентиляционных сетей оказалось, что они наиболее полно отвечают решению большого комплекса вентиляционных задач. Процесс вычислений по методам последовательных приближений более прост, и хранение промежуточных результатов вычислений занимает меньший объем оперативной памяти по сравнению с методами линеаризации.

Кроме того, находит применение метод минимума мощности, одним из основных преимуществ которого является сравнительно высокая скорость сходимости процесса вычислений.

Для расчетов вентиляционных сетей в настоящее время разработано большое количество программ для различных ЭВМ, в том числе машин серии «Минск» и, в частности, моделей «Минск-22» и «Минск-32». Эти компьютеры средней производительности популярны, главным образом, из-за способности обрабатывать большие массивы информации.

Широкое распространение получили малые электронно-вычислительные машины типа «МИР» и «НАИРИ». Эти машины могут использоваться на этапе подготовки исходных данных для расчетов вентиляционных сетей. Они легко воспринимают задания и поправки по ходу решения, изложенные на привычном для человека языке букв, цифр и математических символов.

В крупнейших вычислительных центрах Советского Союза работают «БЭСМ-6» — универсальные машины с миллионным быстродействием; готовится к выпуску новая серия компьютеров типа «РЯД», которые позволят значительно повысить оперативность расчета вентиляционных сетей.

Таким образом, для расчетов вентиляционных сетей существует множество различных методов и средств, практический выбор которых довольно сложен. При выборе следует руководствоваться оценкой эффективности использования средств вычислительной техники с учетом конкретных обстоятельств.

Следует отметить, что настоящая «Временная инструкция...» преследует цель обобщения практических рекомендаций в привязке к методам математического моделирования. Поэтому в дальнейшем речь будет идти о двух современных представителях этого метода — электромоделирования и ЭВМ.

1.4. Критерии оценки рациональных областей применения средств вычислительной техники

Решение вопроса о рациональных областях применения средств вычислительной техники при решении практических вентиляционных задач следует начинать с общей оценки возможности использования методов моделирования. Критерием выбора служит оценка теоретической возможности решения задач, что в практическом приложении означает возможность применения средств вычислительной техники независимо от эффективности их использования и, таким образом, дает общую оценку областей использования сравниваемых методов.

После такой общей оценки возможен переход к установлению практических границ использования средств вычислительной техники применительно к разработанным в настоящее время методам и средствам с оценкой перспективности заложенного в них принципа расчета. Причем перспективность принципа можно определить путем условного расширения конструктивных рамок вычислительных средств и последующим анализом параллельных решений. Оценка перопективности особенно важна для специалистов, работающих в области создания вычислительных средств для расчетов вентиляционных сетей.

Наиболее широкой по охвату с точки зрения определения практических границ использования средств вычислительной техники и оценки перспективности методов расчета является оценка по временному фактору. Выбор этого критерия не случаен. Необходимость его учета с целью быстрейшего внедрения полученных рекомендаций в жизнь отражена как в директивах XXIV съезда КПСС, так и в последних работах советских и зарубежных ученых. Выбор вычислительного средства для решения практических вентиляционных задач, исходя из временного критерия, позволяет добиться наибольшего экономического эффекта ввиду несоизмеримости экономических затрат на производство расчета вентиляционной сети и экономического эффекта внедренных в производство рекомендаций. Это особенно касается решения практических вентиляционных задач реконструируемых и действующих шахт, где еще накладывается фактор безопасности. Другими словами, от оперативности выхода практических рекомендаций зависит практическая область применения средств вычислительной техники независимо от экономических премуществ сравниваемых методов и средств при производстве расчета.

Этот критерий позволяет:

— оценить долю участия вычислительных средств в общем времени расчета вентиляционных сетей;

— в некоторой степени оценить возможности специализированных вычислительных центров с целью эффективного использования ими средств для расчета вентиляционных сетей;

— определить возможности математического моделирования с точки зрения оперативного управления проветриванием шахт;

— установить перспективность использования вычислительных средств и выявить пути устранения их конструктивных недостатков.

Другим критерием выбора средств вычислительной техники является точность расчета, которая требуется при решении практических задач. Этот критерий позволяет выбрать вычислительное средство, исходя из позиций совместимости требуемой точности расчета вентиляционных сетей и практически достижимой точности решения выбираемого средства.

Таким образом, оценка по трем указанным критериям позволяет наиболее объективно подойти к выбору вычислительного средства для решения практических вентиляционных задач с учетом конкретных обстоятельств: наличия вычислительных средств, организации работ в вычислительных центрах, необходимости соблюдения реального масштаба времени и т. д.

1.5. Области применения средств вычислительной техники

Если расчет вентиляционной сети состоит из двух частей, в этом случае ограничиваются решением первого, второго и четвертого типов задач или их сочетаний с использованием решения третьего типа задач в качестве вспомогательного. Иногда первая часть расчета может иметь самостоятельное значение. В этом случае расчет вентиляционной сети может быть ограничен решением третьего типа задач классификации (группа задач воздушно-депрессионных съемок, подсчет депрессий элементов по направлениям и т. д.).

Характеризуя эти сочетания с точки зрения применяемости для их решения средств вычислительной техники, всегда следует иметь в виду необходимость совмещения средств математического моделирования с ручным методом. Речь может идти либо вообще о возможности такого совмещения и, следовательно, возможности автоматизации счета с помощью вычислительных средств (оценка с позиций критерия теоретической возможности), либо, после такой общей оценки, о временных преимуществах сравниваемых методов в зависимости от доли и эффективности участия их в общем процессе расчета (оценка с позиций временного критерия). Кри-

терий точности может выступать как дополнительный, реже — может иметь самостоятельное значение. Таким образом, выбор вычислительных средств для практических расчетов должен идти в два этапа — начиная с общей оценки возможности применения их для расчета и кончая более конкретным выбором с учетом необходимых преимуществ этих методов.

Оценка средств вычислительной техники с точки зрения теоретической возможности их использования при расчетах вентиляционных сетей

Первая часть, выступающая как самостоятельный расчет вентиляционной сети, может быть решена ручным методом или сочетанием средств математического моделирования с ручным, что характерно только для ЭВМ. Это объясняется узкой специализацией электрических аналоговых установок: они предназначены только для аэродинамической увязки параметров вентиляционной сети, но отнюдь не для обработки данных по получению этих параметров.

Расчет на данном уровне может быть выполнен совмещением методов электромоделирования или ЭВМ с ручным. Такое совмещение, как показывает практика и анализ заложенных в методы математического моделирования принципов решения, позволяет произвести любой практический расчет вентиляционной сети.

Такова общая оценка возможности использования средств вычислительной техники при расчетах вентиляционных сетей. Дальнейший этап выбора вычислительных средств более конкретен и касается расчета вентиляционной сети, состоящей из двух частей. При выборе необходимо учитывать тип шахты, так как расчет вентиляционной сети при этом имеет свои специфические особенности.

Оценка средств вычислительной техники с точки зрения оперативности расчетов вентиляционных сетей

Проектируемые шахты. Первая часть расчета вентиляционных сетей данных шахт охватывает все операции по получению и подготовке исходной информации с учетом ее ввода; вторая — заключается в проведении операций по аэродинамической увязке параметров вентиляционной сети и составляет весьма малую долю затрат времени от общих затрат времени на расчет, исчисляемых месяцами. Основные затраты времени приходятся на выполнение первой части расчета, где возможно самое широкое применение метода ЭВМ.

Например, трудоемкость расчетов депрессии и определения сечений горных выработок в среднем по шахте равна: при методе ЭВМ («Минск-22») 2,5 маш. часа, при ручном 60—80 чел. час. Следовательно, при выборе вычислительных средств для расчетов вентиляционных сетей проектируемых шахт в случае полной автоматизации первой и второй частей расчета предпочтение следует отдать методу ЭВМ. В случае ручной обработки первой части расчета оба метода следует считать равноценными. Здесь решающей может оказаться оценка по критерию точности в пользу метода ЭВМ.

Реконструируемые шахты. Расчет вентиляционных сетей несколько отличен от расчетов сетей проектируемых шахт. В настоящее время возможность автоматизации по получению исходной информации, т. е. выполнение первой части расчета, невелика. Эта проблема решается в двух направлениях — либо путем использования сети шахты в качестве готовой физической модели и установки в ней соответствующей аппаратуры сбора исходной информации с созданием систем связи, либо путем автоматизации обработки результатов воздушно-депрессионных съемок и подготовки этих данных к производству расчета. Однако второй путь далеко не решает проблемы автоматизации первой части расчета ввиду значительных затрат времени на производство воздушно-депрессионных съемок.

Вторая часть расчета так же, как и для проектируемых шахт, не будет определяющей при выборе вычислительных средств. Действительно, если весь расчет вентиляционной сети средней шахты занимает почти два месяца, то на выполнение этапа непосредственного решения приходится 3 рабочих смены, причем разница в затратах времени на его производство при применении различных средств вычислительной техники по отношению к общим затратам времени на выполнение расчета сравнительно невелика.

Таким образом, средства электромоделирования и ЭВМ следует считать практически равноценными с точки зрения оперативного их использования при расчетах вентиляционных сетей реконструируемых шахт.

Безусловно, перспективность применения метода ЭВМ очевидна, так как он имеет преимущества в приеме информации с объекта расчета, ее обработке, подготовке к расчету и т. д.

Действующие шахты. Необходимость выбора вычислительных средств по временному критерию для расчетов вентиляционных сетей действующих шахт с целью их наиболее оперативного расчета очевидна. Это связано с ликвидацией аварий, возникших в результате взрыва, пожара, различных нарушений проветривания и т. д.

Исследования, проведенные в ВостНИИ, позволили определить зависимости изменения затрат времени на расчет вентиляционной сети от количества и соотношения составляющих ее элементов с учетом конкретных ситуаций. Эти зависимости (рис. 3, 4)получены путем анализа хронометражных данных параллельных расчетов вентиляционных сетей методом последовательных приближений (ЭВМ типа «Минск-22») и методом электрического моделирования (модель типа ЭМВС-6) при условии одновариантного решения. Этап непосредственного решения рассматривался состоящим либо из основного решения и расчета по проверке устойчивости режимов работы вентиляторов, либо только из основного. Одно- и многовариантность решения определились числом основных решений.

Зависимости 1—1 (рис. 3) выражают затраты времени на выполнение основного одновариантного решения при условии наличия исходной информации в оперативной памяти машин. Следует отметить, что зависимость 1 для электроаналоговых установок в случае смоделированных аэродинамических характеристик вентиляторов будет выражена прямой, параллельной оси абсцисс и проходящей в непосредственной от нее близости; зависимости II—II (рис. 3) — затраты времени на выполнение основного одновариантного решения с учетом ввода исходной информации в оперативную память машины; зависимости III—III (рис. 4) — затраты времени на выполнение основного одновариантного решения с учетом проверки устойчивости режимов работы вентиляторов и ввода исходной информации в оперативную память машины.

Необходимо отметить, что все зависимости для электроаналоговых установок получены с учетом последовательного вывода режимных точек вентиляторов на их аэродинамические характеристики, т. е. без их предварительного моделирования.

Ориентируясь на эти зависимости, можно представить тот выигрыш по времени, который может быть получен в результате выбора того или иного вычислительного средства с учетом конкретных обстоятельств.

При многовариантном решении использование этих зависимостей дает возможность оценки эффекта выигрыша во времени, который заключается в разнице затрат времени на производство одновариантного решения плюс разница суммарных затрат времени на производство основных решений и зависит, как и при одновариантном решении, от числа и соотношения составляющих вентиляционную сеть элементов.

На практике, однако, окончательному выбору варианта, кроме рассмотрения основных, часто предшествует рас-

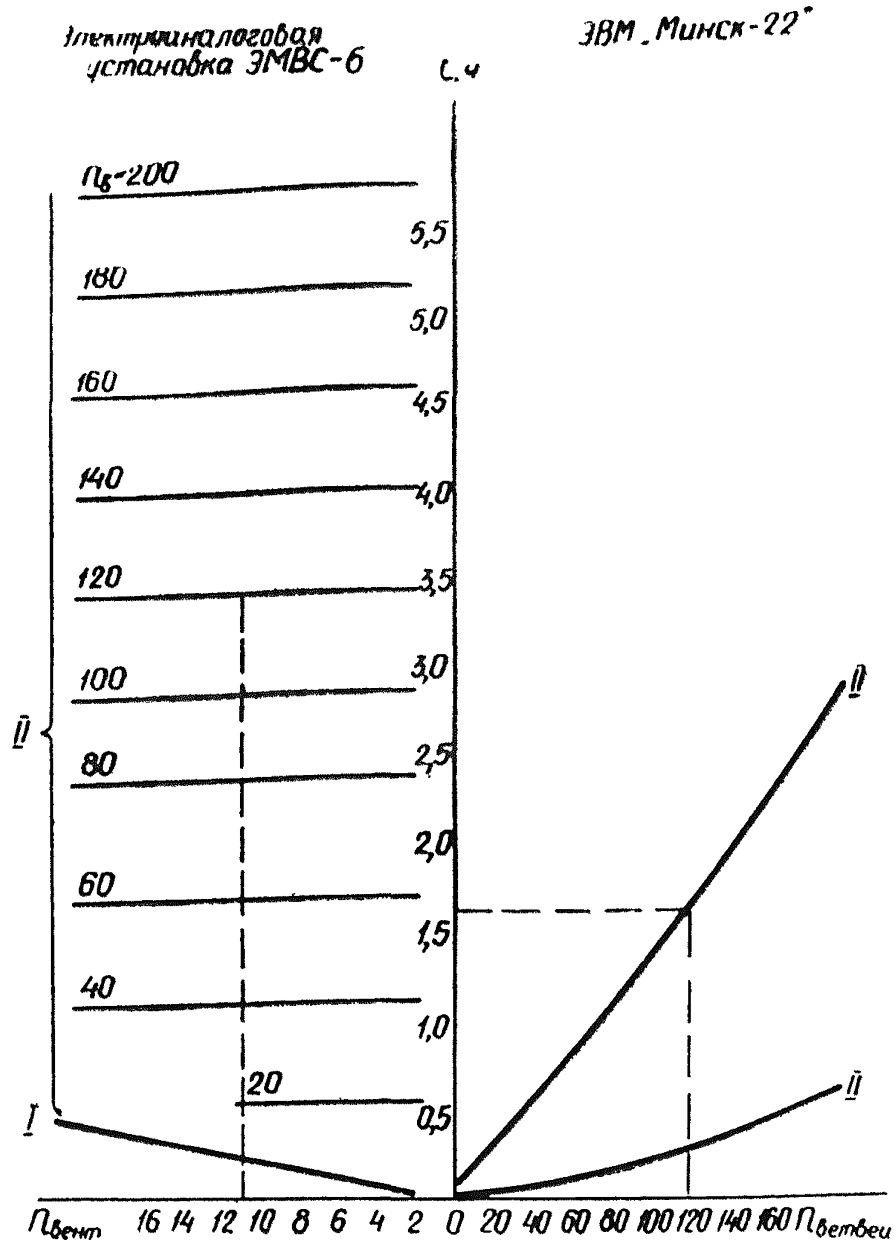

Рис. 3. Зависимость изменения затрат времени на расчет сети от числа и соотношения составляющих ее элементов без учета проверки устойчивости.

смотрение промежуточных вариантов, для которых характерно незначительное изменение аэродинамического сопротивления сети. В связи с этим при производстве многовариантного решения на аналоговых установках нет необходимости каждый раз выводить режимные точки вентиляторов

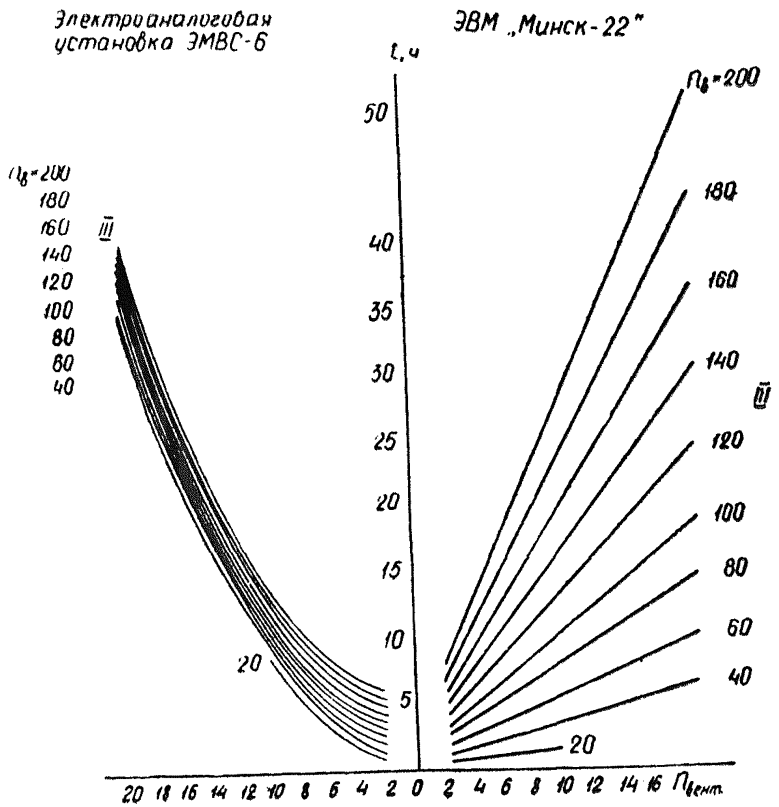

Рис. 4. Зависимость изменения затрат времени на расчет сети от числа и соотношения составляющих ее элементов с учетом проверки устойчивости.

на соответствующие им аэродинамические характеристики. Анализ такого промежуточного варианта производится по основным направлениям вентиляционных струй, и затраты времени на его производство исчисляются несколькими минутами. Это — значительное преимущество метода электрического моделирования даже над быстродействующими ЭВМ (здесь сказывается отрицательное качество ЭВМ —наличие итерационного процесса счета в отличие от мгновенного счета при методе электромоделирования).

Данное обстоятельство приводит к тому, что в настоящее время при многовариантных расчетах вентиляционных сетей предпочтение либо вообще отдается аналоговым установкам, либо с их помощью выбирают близкий к оптимальному варианту, который в дальнейшем при необходимости

можно детализировать с помощью метода ЭВМ. Приведенные зависимости не учитывают затраты времени на производство промежуточных вариантов, так как их число диктуется конкретными ситуациями, интуицией специалистов и в силу этого не поддается учету.

Естественно, что выбор вычислительных средств для расчетов вентиляционных сетей проектируемых, реконструируемых и действующих шахт не может быть ограничен только с помощью оценки по вышеуказанным критериям. Необходимо учитывать наличие этих средств, квалификацию кадров, организационные факторы, которые иногда оказываются решающими в выборе методов и средств расчета. Под организационными факторами здесь следует понимать возможность оперативного включения расчетов вентиляционных сетей в общий вычислительный цикл специализированных организаций.

Приведенные зависимости достаточно убедительно отражают недостатки и преимущества методов математического моделирования: оперативность непосредственного решения с помощью электроаналоговых установок (особенно в случае моделирования аэродинамических характеристик вентиляторов) по сравнению с наличием итерационного процесса счета у метода ЭВМ, оперативность ввода исходной информации для ЭВМ по сравнению с методом электромоделирования и т. д. Эти обстоятельства позволяют сделать вывод в пользу комбинации моделирующих и цифровых машин для решения вопросов управления проветриванием. Одним из рациональных вариантов будущего вычислительного устройства для расчета вентиляционных сетей является аналоговая машина, управляемая через цифровую. Это позволяет автоматизировать ввод исходных данных, управлять процессом расчета и получения результатов.

Естественно, решение проблемы автоматизации получения исходной информации для расчета является также задачей первостепенной важности.

II. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

К исходным данным относятся прежде всего расчетные схемы вентиляционных сетей и аэродинамические характеристики отдельных их элементов. При решении задач по регулированию к исходным данным относятся также расчетные количества воздуха. Аэродинамические характеристики существующих элементов сети определяются при проведении воздушно-депрессионных (аэродинамических)

съемок. Поэтому съемки следует рассматривать прежде всего как способ получения исходных данных для расчета вентиляционных сетей. По их результатам рассчитываются аэродинамические сопротивления отдельных ветвей расчетной схемы. При съемках обследуются вентиляторные установки, определяется естественная тяга.

Аэродинамические съемки по степени охвата ими вентиляционной сети разделяются на полные и частичные.

При полных съемках учитывается действие всех вентиляторов общешахтного проветривания. При этом вся вентиляционная система (совокупность сети и источников тяги) рассматривается как единое целое.

Частичные съемки охватывают только часть вентиляционной сети. Примером может служить съемка крыла шахты или маршрутная, когда замеряется падение депрессии по отдельному маршруту или направлению.

Для расчета общешахтного проветривания необходима полная съемка, хотя степень ее детальности может быть различной.

II. 1. Составление расчетных схем аэродинамических съемок

Степень детализации съемки определяется расчетной схемой. Вентиляционные сети шахт характеризуются большой разветвленностью. При определении депрессии и дебита для каждой из ветвей требуется много времени. Еще более трудоемок расчет с предельной степенью детализации. Поэтому при проведении съемок составляются расчетные схемы, являющиеся, как правило, упрощенным условным плоскостным изображением путей движения воздуха совместно с источниками давления. Не имеет смысла начинать съемку без предварительно составленной и тщательно продуманной расчетной схемы, основой для которой является схема проветривания.

Пути утечек через герметизирующие устройства устьев стволов, вентиляционные шлюзы и двери в горных выработках, а также пути утечек через обрушенные породы изображаются на расчетных схемах отдельными ветвями. Сопротивления этих ветвей определяются, исходя из закона движения воздуха. Для герметизирующих устройств, а также горных выработок он принимается квадратичным, для слежавшихся обрушенных пород — линейным. Местные сопротивления рассчитываются по квадратичному закону.

Поверхностные и подземные вспомогательные вентиляторы наносятся на расчетные схемы с прилегающими к ним воздуховодами и путями утечек. Для всех вентиляторов, нане-

сенных на расчетную схему, должны быть известны напорные характеристики.

Степень детализации съемки определяется конкретной задачей. Расчетная схема вентиляционной сети одной и той же шахты при проведении съемки для решения различных задач может иметь различный вид. Рассмотрим для примера составление расчетных схем по схеме вентиляции, представленной на рис. 5 при различных задачах. Если необходимо определить изменение распределения воздуха по отдельным участкам шахты после ввода в действие новых выработок или установки дополнительных вентиляторов, то воздушно-депрессионная съемка должна проводиться с такой детализацией, когда каждый участок горных работ выделяется в самостоятельную ветвь. Расчетная схема для такой съемки изображена на рис. 6, *а*. Она получена следующим образом. На схеме вентиляции (рис. 5) проставляют и нумеруют точки в местах разветвления воздушных струй. Точки 1 и 2 не обозначают собой узел и поставлены для разделения линии всасывания и линии нагнетания. Все точки, проставленные в узлах схемы вентиляции, переносятся повторно на отдельный лист. Их взаимное расположение при этом может приниматься произвольным, но порядок соединения линиями (ветвями) должен строго соответствовать связям на схеме вентиляции.

По условиям поставленной задачи требуется выделить в отдельные ветви совокупности выработок каждого участка, поэтому разветвления внутри участков не нумеруются. Достаточно поставить точки, обозначающие узлы, в местах ответвлений на участки (например, точки 9,16 и др.).

Подобное упрощение возможно потому, что система выработок участка имеет общее сопротивление, если на участок воздух поступает из одной точки, например, через ходок и бремсберг, пройденные рядом.

Если воздушно-депрессионная съемка проводится по схеме вентиляции, изображенной на рис. 5 с целью получения исходных данных для выбора нового вентилятора взамен установленного, то достаточно определить сопротивления: общее для сети всей шахты, поверхностных утечек и вентиляционных каналов. Схема будет иметь вид, показанный на рис. 6, *б*. Линией 3—0 изображается общее сопротивление вентиляционной сети шахты, линией $3—0^1$ — сопротивление поверхностных утечек, линией 2—3 — сопротивление вентиляционного канала на стороне нагнетания, линией 0—1 — сопротивление калорифера и калориферного канала.

При расчетах распределения воздуха между отдельными группами участков с северного и южного квершлагов схема будет выглядеть как на рис. 6, *в*. Депрессионные съемки по схемам 6, *б*, *в* являются укрупненными.

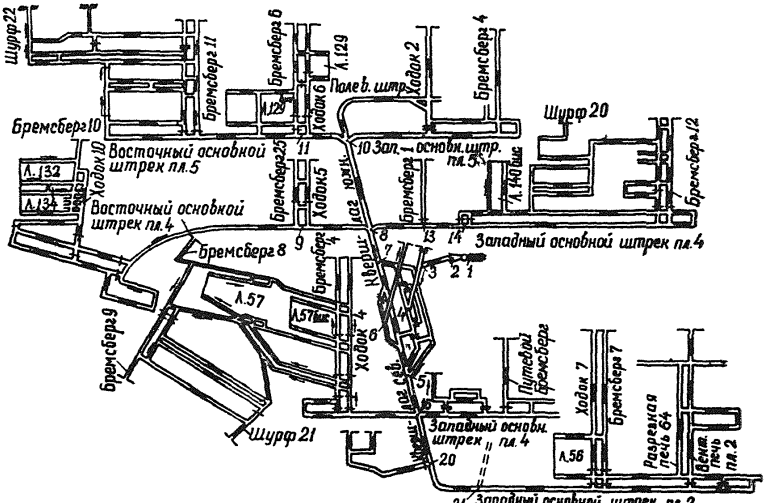

Рис. 5. Схема проветривания шахты.

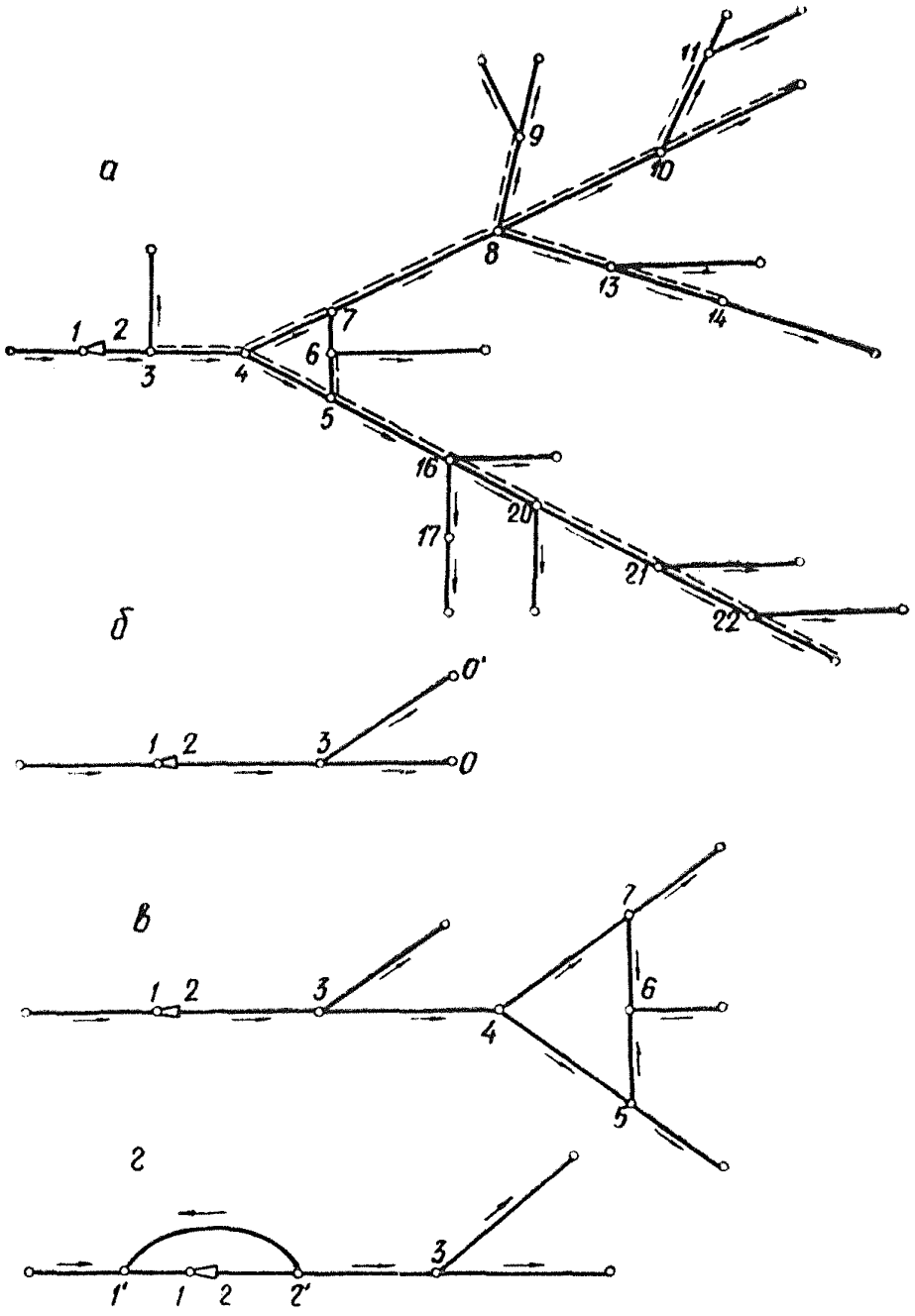

Рис. 6. Расчетные схемы вентиляционной сети при различной степени детализации депрессионных съемок.

Подобные упрощения невозможны при работе нескольких параллельно установленных вентиляторов на сложную вентиляционную сеть (рис. 7).

В данном случае нельзя выделить обособленных вентиляционных направлений, в которых можно определить общее аэродинамическое сопротивление. Расчетную схему (рис. 8), составленную по схеме вентиляции (рис. 7), дальше упростить нельзя. Поэтому для решения задач по выбору вентиляторов и регулированию распределения воздуха необходимо проводить съемку в объеме, определяемом расчетной схемой после указанных упрощений.

При проведении съемок необходимо учитывать потери в линии всасывания нагнетательных вентиляторов. Линия всасывания представлена калориферным каналом и калорифером, а также поворотом к вентилятору. На шахтах Кузбасса нагнетательные вентиляторы, как показали обследования, теряют 20—80 $кГ/м^2$ развиваемого ими давления на преодоление указанных сопротивлений. Поэтому при составлении расчетных схем линия всасывания нагнетательного вентилятора должна обозначаться отдельной ветвью.

В некоторых случаях величины утечек через элементы вентиляторной установки (обводные каналы, ляды, шибера и т. д.) могут быть значительными. При таких условиях приводить все утечки к устью ствола нельзя. Для повышения точности расчетов и выявления потерь энергии необходимо утечки через устье ствола изобразить отдельно от утечек через другие устройства. Например, если утечки через обводной канал и канал резервного вентилятора значительны, то их следует изобразить отдельной ветвью $2^1—1^1$ (рис. 6, г). Через эту ветвь происходит рециркуляция воздуха. Утечки через устье ствола изображены отдельной ветвью.

Таким образом, при составлении расчетных схем необходимо учитывать исходные данные, которые требуются при решении поставленной задачи по расчету вентиляционной сети шахты, с их учетом по возможности упростить схему.

II.2. Приборы для депрессионных съемок

При проведении воздушно-депрессионных съемок с помощью микроманометров замеряют депрессии выработок и вентиляторов, средние скорости воздуха и сечения выработок.

Съемки микробарометрами требуют замеров температуры, изменения атмосферного давления во времени, абсолютного или относительного давления в сети горных выработок и вентиляционных каналах, а в отдельных случаях — относительной влажности воздуха в вертикальных и наклонных выработках.

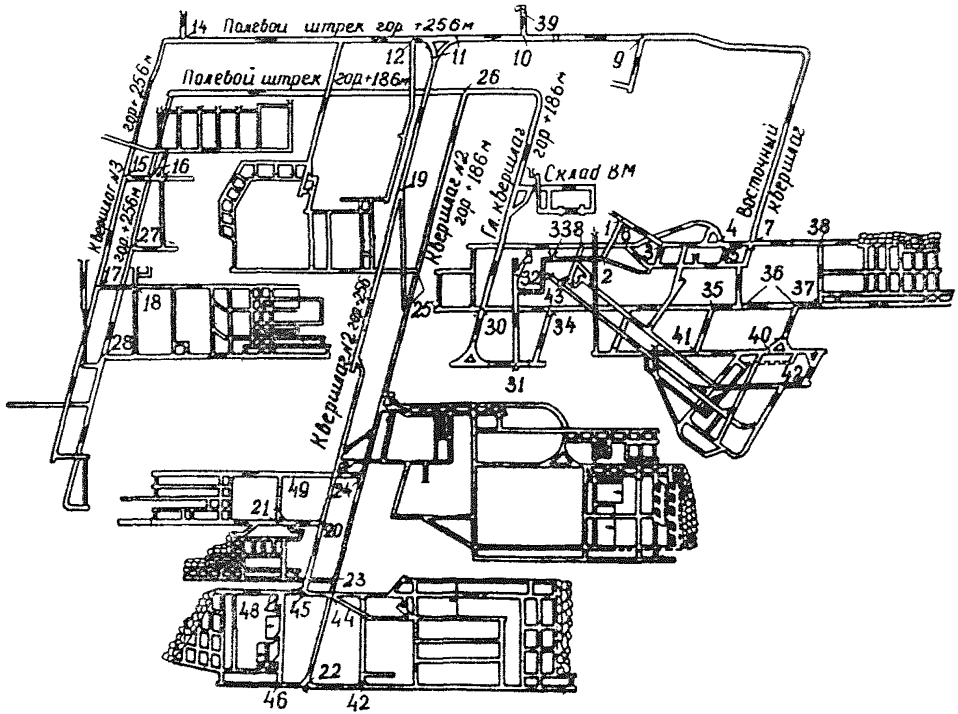

Рис. 7. Схема проветривания шахты.

При использовании микроманометра депрессию выработки замеряют непосредственно. Этот прибор является самым надежным, однако съемки с его помощью трудоемки. Используя приборы, замеряющие относительное или абсолютное давление в точке, можно значительно уменьшить объем работ при съемках. Некоторые приборы (депримометры, ДВС-У, баронивелир БН-4 и др.) устарели и не обеспечивают достаточную точность, надежность и удобство в работе. Барометры-анероиды, шкала которых проградуирована в *мм рт. ст.*, требуют большого времени выдержки прибора на точке замера (30 *мин*) и специальной тарировки. Их следует применять только в крайних случаях. Лучшими приборами, замеряющими давление в точке, являются микробаронивелир МБНП и микробарометр МБ-63-II, выпускаемые московским заводом «Гидрометприбор». Они отличаются большой точностью замеров, удобны и надежны в работе. Их конструкция соответствует работе в шахтных условиях. Эти приборы выпускаются для геодезических съемок методом барометрического нивелирования, однако практика показала, что их можно успешно применять для депрессионных съемок.

При геодезических съемках с помощью МБНП перевод делений шкалы прибора в единицы давления производится по формуле

$$B-B_0=\alpha[1-0{,}00022\,(t-t_{\text{исл}})]\,(S-S_0)+\beta(S-S_0)^2+\Delta P_t, \quad \text{(II.1)}.$$

где B — абсолютное давление;
B_0 — давление, соответствующее отсчету;
α и β — постоянные коэффициенты, данные в аттестате, характеризующие цену деления шкалы;
t — температура в точке замера;
$t_{\text{исл}}$ — температура, при которой определялись α и β, $t_{\text{исл}}=20°$;
S — отсчет по прибору, приведенный к единому штриху;
S_0 — некоторый начальный отсчет;
ΔP_t — поправка на изменение температуры прибора;

$$\Delta P_t=-K_t\cdot\Delta t,$$

где K_t — температурный коэффициент;
Δt — разность показаний термометра прибора при тарировке и в точке замера.

При проведении депрессионных съемок пользоваться приведенной выше формулой нет смысла, так как ряд поправок имеет высокую точность, которая не требуется при депрессионных съемках. Так, например, при замере перепада давления в 100 *кГ/м²* и разности температуры в 10°С поправка,

учитываемая выражением в квадратных скобках, составляет 0,2 *мм вод. ст.* Вполне понятно, что ошибка из-за неучета поправки будет очень малой.

Величина выражения $\beta\ (S-S_0)$ тоже незначительна, так как порядок величины β находится в пределах 0,0001—0,00015 и при разнице отсчетов, встречающейся в практике, поправка не имеет практического значения. Поправку ΔP_t при работе в шахте можно не учитывать; она имеет значение только зимой при переходе из шахты на поверхность.

Для практических целей перепад давления с достаточной точностью можно определить по формуле

$$\Delta B = \alpha (S_1 - S_2), \qquad (II.2)$$

где ΔB — разность давлений между двумя точками замера, *кГ/м²*;

α — цена деления шкалы прибора, *кГ/м²*;

S_1 и S_2 — отсчеты по прибору в первой и второй точках, приведенные к единому штриху.

Следует отметить, что цена деления шкалы меняется при регулировке диапазона шкалы, т. е. при изменении базы прибора (барометрического давления, соответствующего нулевому отсчету по прибору). Поэтому при изменении базы необходимо вновь тарировать прибор. Тарировка прибора (определение α) осуществляется с помощью контрольного прибора (микроманометра), который подсоединяется параллельно с микробаронивелиром к резиновой груше, с помощью которой меняется давление. После каждого изменения давления берутся отсчеты по микроманометру и микробаронивелиру, а также регистрируется изменение атмосферного давления. Цена деления для каждого интервала давления определится

$$\alpha = \frac{\Delta h}{(S_1 - S_2) + \Delta P} \quad кГ/м^2,$$

где Δh — разность показаний микроманометра при двух отсчетах;

S_1 и S_2 — показания микробаронивелира при тех же положениях груши;

ΔP — изменение давления за время между двумя отсчетами, определяемое по второму микробаронивелиру, *кГ/м²*.

При одной и той же базе прибора цена деления в разных диапазонах шкалы меняется незначительно, поэтому определяется ее среднее значение.

Абсолютное барометрическое давление в точке находится по формуле

$$B = \frac{Б + S \cdot \alpha}{13{,}6} \quad мм\ рт.\ ст.,$$

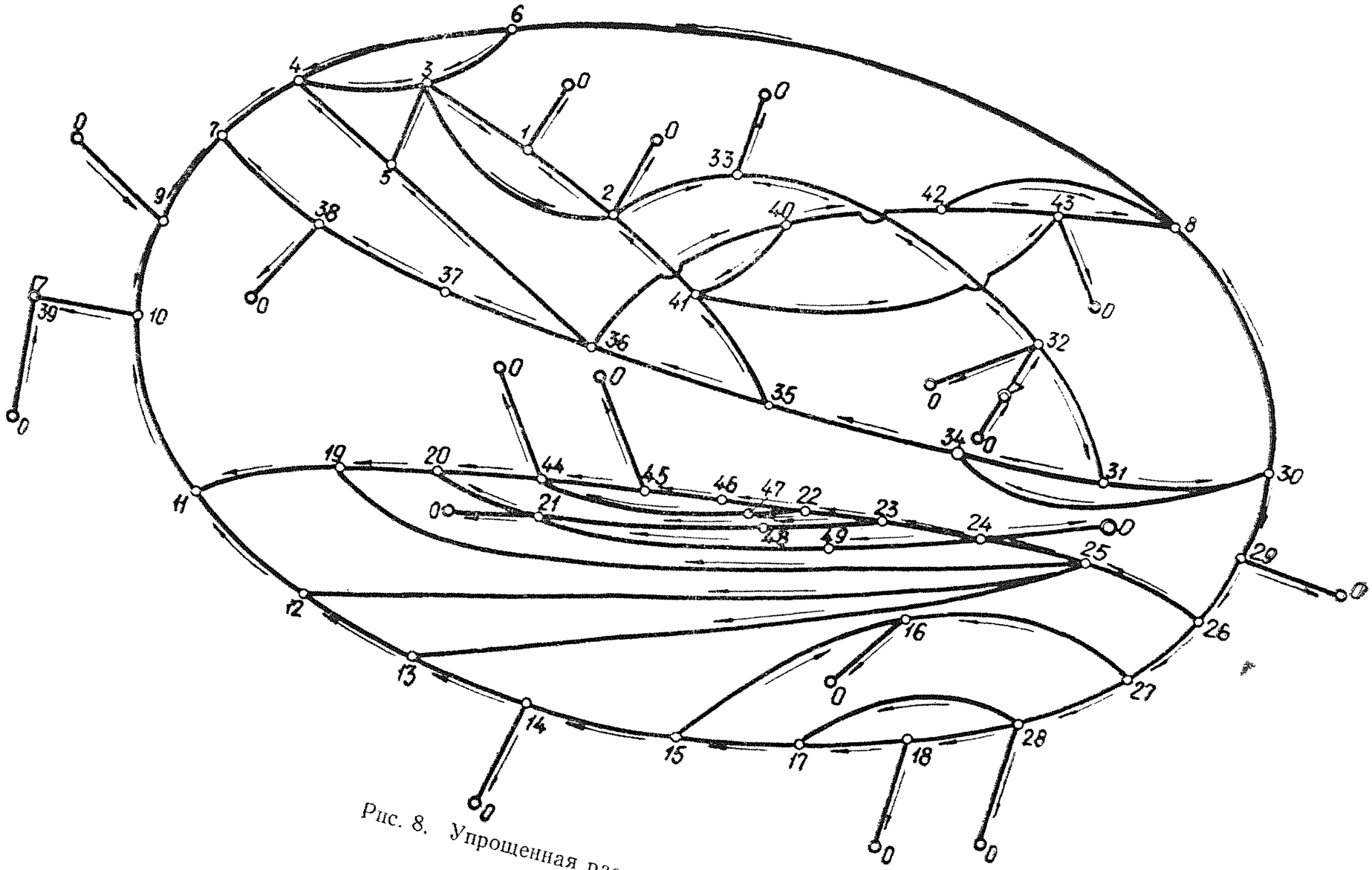

Рис. 8. Упрощенная расчетная схема вентиляционной сети.

где Б — база прибора (определяется при тарировке), *кГ/м*^{2}.

Микробарометр МБ-63-II, выпускаемый заводом, не соответствует требованиям искробезопасности. Однако его легко сделать искробезопасным. В лаборатории расчетов и исследований вентиляционных сетей (ВостНИИ) это достигнуто заменой ламп подсвета шкалы типа Р-3, 5 *В*, 260 *мА* на лампы типа МН-1в, 75 *мА*; осуществлением питания прибора от двух элементов «Марс»; введением ограничительного сопротивления в цепь питания ламп подсвета.

Лаборатория искробезопасности разрешила использовать образцы прибора в новом использовании для замеров в шахте.

Для измерения скоростей движения воздуха наша промышленность выпускает крыльчатые и чашечные анемометры: первые используются для замера скоростей до 5 *м/с*; вторые — в пределах 5—20 *м/с*.

Таким образом, для проведения воздушно-депрессионных съемок необходим определенный комплект приборов. Если съемка проводится с непосредственным замером депрессии, то каждая бригада должна иметь следующие приборы: микроманометр (депрессиометр), пневмометрическую трубку, резиновый шланг (100—150 *м*), крыльчатый анемометр, чашечный анемометр, рулетку, секундомер.

Если воздух не приводится к нормальным условиям, замер параметров, определяющих физическое состояние воздуха, не требуется.

При определении депрессии как разности давлений, замеренных в отдельных точках сети, требуется следующий комплект приборов: два микробаронивелира МБНП или два микробарометра МБ-63, термометр, психрометр, часы (по числу замерщиков), крыльчатый анемометр, чашечный анемометр, секундомер, рулетка, резиновый шланг.

II.3. Методы и способы проведения депрессионных съемок

Существует три метода проведения депрессионных съемок, отличающихся один от другого по принципу определения перепада вентиляционного давления:

1) непосредственное определение перепада давления между двумя точками с помощью микроманометра или депрессиометра и резиновой трубки;

2) вычисление перепада давления между двумя точками по измеренным в них абсолютным давлениям и вводимым поправкам;

3) измерение разности между каким-либо постоянным давлением в сосуде и давлением воздуха в последовательном ряде точек маршрута.

Последний метод не нашел практического применения.

При втором методе съемку можно вести двумя способами, различающимися порядком замеров давления во времени: одновременным замером давления в двух или более точках и последовательным замером давления.

Воздушная съемка должна соответствовать во времени депрессионной.

Все методы и способы проведения воздушно-депрессионных съемок имеют свои достоинства и недостатки. Поэтому при выборе их необходимо учитывать конкретные условия. Особое внимание следует уделять характеру колебаний депрессии и дебита. Ввести поправки на изменение вентиляционного давления путем его регистрации в одной из точек сети нельзя, так как в разных точках сети характер и величина колебаний различны.

Наблюдения показали, что вентиляционное давление сильно колеблется на шахтах с участковыми фланговыми схемами проветривания при параллельном подключении вентиляторов. При спуске леса по шурфам и бремсбергам закорачиваются воздушные струи через устья этих выработок, в результате чего происходят частые перераспределения дебита и депрессии выработок сети. Колебания вентиляционного давления в отдельных точках сети шахт с шурфовым проветриванием достигают 15—20 $кГ/м^2$. В шахтах с небольшим числом вентиляторов режим более устойчив.

Аэродинамическое сопротивление ветвей вентиляционной схемы можно определить с большой точностью только при условии, что в какой-то момент времени будет замерена депрессия ветви и соответствующий этому же моменту дебит воздуха.

В практике проведения воздушно-депрессионных съемок встречаются два рода ошибок. Во-первых, в силу многих причин невозможно точно определить депрессию и дебит выработки. Во-вторых, депрессия выработки и ее дебит замеряются в большинстве случаев в различные моменты времени, следовательно, могут значительно не соответствовать друг другу. Даже при способе одновременных отсчетов нет полного соответствия между дебитом и депрессией выработки, так как замеры скорости воздушной струи и давлений производятся в различные интервалы времени.

Изменение параметров воздушной струи во времени вносит обычно более значительные погрешности в определение аэродинамических сопротивлений, чем ошибки приборов. Особенно большие ошибки возможны при проведении депрессионной съемки методом последовательных отсчетов микробарометрами и микробаронивелирами. В данном случае за промежуток времени между замерами давлений в узловых точках, ограничивающих ветвь, вентиляционное давле-

ние может изменяться на величину большую, чем фактическая депрессия ветви. Вычисленная по таким замерам депрессия ветви будет иметь отрицательный знак. При проведении съемки микроманометром ошибка не может достигать такой величины, так как при сохранении направления движения воздуха в ветви замеренная депрессия будет всегда иметь положительный знак.

Перед проведением воздушно-депрессионной съемки следует с помощью микробаронивелиров, установленных в характерных точках сети, ознакомиться с характером колебаний давления в подземных выработках. Одновременно необходимо регистрировать изменение атмосферного давления на поверхности.

Депрессионная съемка по способу последовательных отсчетов обеспечит необходимую точность только в том случае, если будет соблюдаться условие

$$\frac{\Delta P \cdot 100}{h} \ll C,$$

где ΔP — величина изменения давления в точке за интервал времени между замерами давления, $кГ/м^2$;

h — депрессия выработки, $кГ/м^2$;

C — допустимая ошибка в расчетах, %.

Чем больше депрессия ветви и устойчивей давление, тем меньше относительная погрешность, и наоборот. Так как колебания вентиляционного давления в короткие промежутки времени обусловлены работой шахты, то съемки следует делать в выходные дни, когда не работает транспорт и не открываются вентиляционные двери и ляды.

Более точные результаты можно получить, применяя способ одновременных отсчетов. При этом необходимо, чтобы замер количества воздуха производился по возможности одновременно с взятием отсчетов по замеру давления. Для большей точности следует брать несколько отсчетов в течение времени замера воздуха.

Несмотря на меньшую погрешность метода непосредственных замеров депрессии, его применение при полных съемках в протяженных вентиляционных сетях нерационально из-за большой затраты времени.

До последнего времени считалось, что непосредственные замеры депрессии можно делать только микроманометром или депрессиометром, с помощью же барометров замер полной естественной тяги в движущемся потоке воздуха невозможен. Однако и микроманометры, и микробаронивелиры можно использовать для непосредственного замера перепада вентиляционного давления как в горизонтальных, так и в вертикальных выработках. Такой способ замера был ис-

пытан в ВостНИИ. Падение вентиляционного давления в вертикальной или наклонной выработке равно разности давлений неподвижного и движущегося столбов воздуха. Следовательно, достаточно замерить микробаронивелиром давление, передаваемое прибору через резиновую трубку, проложенную по выработке в нижней точке выработки, и давление, передаваемое через открытый штуцер.

Разность этих давлений будет равна депрессии выработки. Но этот способ замера имеет недостаток: за время между отсчетами с трубкой и без нее давление в точке может измениться.

Наиболее точно можно определить депрессию ветви с помощью микроманометра, однако на длинных маршрутах эта работа трудоемка. Поэтому микроманометры следует использовать только для получения данных высокой точности или при отсутствии других приборов.

Метод съемки микроманометром, основанный на непосредственном измерении депрессии между двумя пунктами, состоит в следующем. Резиновый шланг, проложенный по выработке, соединяется с одним из штуцеров микроманометра. Ко второму штуцеру присоединяется короткий резиновый шланг (1—2 *м*). Свободные концы шлангов соединяются с пневмометрической трубкой. Если ход по замеру депрессии проводится по одной и той же выработке постоянного сечения, то пневмометрические трубки можно подсоединять как на замер статического давления, так и на замер полного (разность скоростного напора равна нулю). Так как при замере статического давления неточность угла установки трубки меньше отражается на показаниях микроманометра, в данном случае лучше использовать первый вариант подсоединения приемников давления.

Если ход по замеру депрессии проводится по выработке с различным дебитом и сечением, то пневмометрическая трубка подсоединяется на полное давление, чтобы не вводить поправку на скоростное.

Предпочтительная длина большой трубки 100 *м*, короткой — 2 *м*.

Если пневмометрическая трубка находится в точке с большим давлением, то резиновый шланг, соединенный с ней, должен вторым концом соединяться со штуцером микроманометра, имеющим знак (+). Второй шланг подсоединяется к штуцеру со знаком (—). С одного стана можно замерить перепад давления двух участков выработки по 100 *м*, т. е. всего 200 *м*. После этого микроманометр переносится на новый стан. Таким образом, расстояние между станами при стометровом шланге равно 200 *м*. При снятии показаний необходимо, чтобы микроманометр был установлен горизонтально по уровню.

В ветвях, представленных выработками большой протяженности, депрессия определяется как сумма депрессий отдельных замеров.

Когда выработки длинные, и ход по одной ветви занимает много времени, замер воздуха следует повторять несколько раз и брать среднее значение дебита. Разделять воздушную и депрессионную съемки во времени не следует из-за изменений в вентиляционном режиме.

Расчетные схемы вентиляционных сетей часто содержат большое число ветвей, представляющих наклонные и горизонтальные выработки значительной протяженности. Если замерять депрессию каждой ветви, то общий объем работы будет чрезвычайно велик. Для сокращения объема работ следует использовать способ определения вентиляционных давлений (узловых депрессий) в узлах. В этом случае достаточно проложить депрессионные ходы так, чтобы они проходили через все узлы. Например, для определения сопротивлений всех ветвей схемы, изображенной на рис. 6,*а*, достаточно проложить ходы с микроманометром по ветвям, отмеченным параллельно штриховыми линиями. Для этой схемы удобнее выбрать два подземных маршрута: один, включающий узлы 3—4—5—16—20—21—22—0, с ответвлением в точку 6; второй — по узлам 7—8—10—0, с ответвлениями в точки 9, 13, 14. Замеры депрессии ветвей 22—0 и 10—0 делаются для контроля правильности съемки. В ветвях 6—0, 9—0, 20—0 и т. д. депрессия определяется как вентиляционное давление соответственно в точках 6; 9; 20.

Вентиляционное давление в узле может определяться суммированием депрессий выработок. Например, вентиляционное давление в точке 20 будет равно

$$h_{20}=h_{0\text{-}22}+h_{22\text{-}21}+h_{21\text{-}20} \quad кГ/м^2.$$

Если же его определять от точки 3, в которой действует компрессия вентилятора, развиваемая им на шахту $h_ш$, то оно выразится

$$h_{20}=h_ш-(h_{3\text{-}4}+h_{4\text{-}5}+h_{5\text{-}16}+h_{16\text{-}20}) \quad кГ/м^2.$$

При отсутствии депрессии естественной тяги в рассматриваемом контуре вентиляционное давление в точке 20 в обоих случаях получится одно и то же.

В таком порядке рассчитываются давления во всех узлах. Депрессия ветвей, не вошедших в депрессионные ходы, определяется как разность вентиляционных давлений в ограничивающих узлах

$$h_i=h'-h'', \qquad (II.3)$$

где h_i — депрессия i-той ветви;

h' — вентиляционное давление в узле, из которого выходит воздушный поток ветви;

h'' — вентиляционное давление в узле, в который входит воздушный поток ветви.

Например, депрессия ветви 6—7 (рис. 6, *а*) будет равна $h_{6\text{-}7}=h_6-h_7$; депрессия ветви 20—0 $h_{20\text{-}0}=h_{20}-h_0=h_{20}$.

При съемках микробарометрами и микробаронивелирами необходимо замерять давление во всех узлах.

Депрессия ветвей может определяться как разность вентиляционных давлений в точках или как разность абсолютных давлений с учетом поправок на превышение и изменение барометрического давления.

Преимуществом съемок с замерами давлений в узловых точках является сравнительно короткий срок их выполнения и малая трудоемкость. К недостаткам метода относятся: сложность обработки первичных материалов, обусловленная необходимостью вводить поправки; влияние изменения вентиляционного режима на результаты съемки во время перехода из одной замерной станции в другую.

При способе последовательных отсчетов замеры давления производятся одним или несколькими приборами в любой последовательности (обычно исходя из наименьшей протяженности маршрутов). В этом случае замеры количества воздуха и депрессии не могут соответствовать во времени, поэтому необходимо регистрировать изменение атмосферного давления для внесения поправок.

Атмосферное давление может регистрироваться микробарографами или с помощью тех же приборов, которыми проводится депрессионная съемка.

При одновременном снятии отсчетов атмосферное давление можно не регистрировать. Однако осуществить этот метод практически трудно: он требует высокой организации труда и больших затрат времени.

При одновременном замере давления съемка ведется в следующем порядке: один человек с микробаронивелиром или микробарометром находится в начале выработки, второй — в ее конце. В условное время они берут отсчеты по приборам. В это же самое время замеряется скорость движения воздушной струи в выработке. После проведения замеров все переходят в конечную точку.

При воздушно-депрессионных съемках способом одновременных отсчетов необходима предварительная рекогносцировка в горных выработках, так как данный способ предусматривает одновременное снятие отсчетов, следовательно, нужно заранее знать место нахождения замерных станций и приблизительно время следования до них.

Для замера скорости воздуха и сечений лучше выделять специальных людей. Маршруты при съемке можно проходить как по ходу струи, так и против нее. Начальной точкой следует принимать устья стволов или бремсбергов.

На каждой станции по замеру давлений, кроме отсчетов по микробарометру или микробаронивелиру, делается замер температуры воздуха для определения γ. Кроме того, записывается время замеров. Для каждой станции по замеру давления должна быть известна высотная отметка для внесения поправки на превышение.

При замере давления микробарометрами МБ-63-П обработка результатов сводится к следующему. В первую очередь определяется истинное значение давлений на замерных станциях, для чего в произведенные замеры вводятся поправки, которые даются в прилагаемой к каждому прибору инструкции.

Депрессия ветви, представляющей наклонную выработку с малым превышением, определяется по формуле

$$h_{1\text{-}2} = 13{,}6P_1 - (13{,}6P_2 \pm \Delta P_{\text{пр}}) \pm \Delta P_{\text{ат}} \qquad \text{(П.4)}$$

где P_1 и P_2 — давления в двух соседних замерных станциях с учетом четырех поправок (определяется по инструкции);

$\Delta P_{\text{пр}}$ — поправка на превышение, $кГ/м^2$,

$$\Delta P_{\text{пр}} = (H_1 - H_2) \cdot \gamma_{\text{ср}},$$

где H_1 и H_2 — высотные отметки замерных станций, $м$;

$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$ — средний удельный вес воздуха, $кГ/м^2$;

γ_1 и γ_2 — удельный вес воздуха в замерных станциях, $кГ/м^3$,

$$\gamma = 0{,}465 \frac{P}{T}$$

P — давление на замерной станции с учетом введенных поправок, $кГ/м^2$;

T — абсолютная температура в замерной станции, $°K$;

$\Delta P_{\text{ат}}$ — поправка на изменение атмосферного давления, $кГ/м^2$.

Эта поправка вводится при способе последовательных отсчетов

$$\Delta P_{\text{ат}} = B'_к - B''_к \, кГ/м^2 \qquad \text{(II.5)}$$

где $B'_к$ — показание контрольного прибора во время снятия отсчета в первой точке;

$B''_к$ — показание контрольного прибора при снятии отсчета во второй точке.

При работе с микробаронивелиром МБНП депрессия отдельной ветви определяется по формуле

$$h_{1\text{-}2}=S_1\cdot\alpha-(S_2\cdot\alpha\pm\Delta P_{\text{пр}})\pm P_{\text{ат}} \qquad (11.6)$$

где S_1 и S_2 — отсчеты по микробаронивелиру, в делениях шкалы;

α — цена деления шкалы, $кГ/м^2$.

Пример. Давление замеряется микробаронивелиром МБНП методом последовательных отсчетов в узловых точках по расчетной схеме, изображенной на рис. 6, *а*. Замеры давлений производятся с целью определения депрессий отдельных ветвей. Рассмотрим порядок определения депрессии в ветви 8—9. Отсчеты по шкале прибора в точках 8 и 9 соответственно равны 96—3—25 и 95—3—15, температура воздуха в выработке +15°С, превышение точки 9 над точкой 8 равно 2,5 *м*. Изменение атмосферного давления по контрольному прибору МБНП, установленному на поверхности, за время между замерами в точках 8 и 9 составляет $+1{,}7$ $кГ/м^2$.

Отсчеты по шкале пересчитываются по формуле, приведенной в инструкции

$$S=A+\frac{4{,}00-m}{n}$$

где A — номер штриха шкалы микробаронивелира;

m — отсчет по барабану микрометра;

n — коэффициент перевода делений шкалы микрометра в деления подвижной шкалы микробаронивелира (дается в аттестате прибора).

1. В точке 8 $\quad S=96+\dfrac{4{,}00-3{,}25}{1{,}16}=96{,}64$

2. В точке 9 $\quad S=95+\dfrac{4{,}00-3{,}15}{1{,}16}=95{,}75$

Для определения депрессии предварительно подсчитываются поправки $\Delta P_{\text{пр}}$ и $\Delta P_{\text{ат}}$.

Для определения поправки на превышение определяется средний удельный вес воздуха в выработке.

В связи с тем, что температура в точках 8 и 9 одинакова, а превышение незначительно, удельный вес воздуха в них можно считать одинаковым. Для его определения рассчитываем давление в точке 8

$$B=\frac{Б+S\cdot\alpha}{13{,}6}=\frac{9615+96{,}64\cdot 7}{13{,}6}=759{,}04\ мм\ рт.\ ст.$$

Значения базы прибора и цены деления шкалы, взятые в данном расчете, действительны только для данного прибора.

Удельный вес воздуха в точке 8 будет равен

$$\gamma = 0{,}455 \cdot \frac{P}{T} = 0{,}455 \cdot \frac{759{,}04}{273+15} = 1{,}20.$$

Поправка на превышение равна

$$\Delta P_{\text{пр}} = 2{,}5 \cdot 1{,}2 = 3 \ \kappa\Gamma/м^2.$$

Потеря депрессии в ветви 8—9

$$h_{8\text{-}9} = 7 \cdot 96{,}64 - (7 \cdot 95{,}73 + 3) + 1{,}63 = 5 \ \kappa\Gamma/м^2.$$

Поправка на превышение берется со знаком (+), потому что в точке 9 давление уменьшается не только за счет потери депрессии на трение, но и за счет изменения высоты. Результаты замеров и расчетов сведены в табл. 2.

При действии в контурах сети депрессий естественной тяги вентиляционное давление в узлах условно. Оно зависит от выбора точки отсчета. Например, вентиляционное давление в точке 20 при определении его по направлениям 0, 22, 21, 20 и 0, 3, 4, 5, 16, 20 будет иметь различную величину, если в контуре 0, 3, 4, 5, 16, 20, 21, 22, 0 действует депрессия естественной тяги. Разность этих величин равна естественной депрессии названного контура.

В таком случае депрессия ветви, представляющей выход на поверхность, не может определяться как действующий напор в точке. При проведении съемки микроманометром депрессия h_i такой ветви определяется по формуле

$$h_i = h_n \pm h_{\text{ек}}, \qquad (II.7)$$

где h_n — условное вентиляционное давление;

$h_{\text{ек}}$ — депрессия тяги в рассматриваемом контуре.

Если условное вентиляционное давление в точке 20 определялось по ходу 0, 22, 21, 20, то естественная тяга рассматривается в контуре 0, 22, 21, 20, 0. Она берется со знаком (+), если действует в направлении от выхода на поверхность, взятого за отсчет вентиляционного давления, на выход, депрессия которого рассчитывается. При обратном направлении ее действия она вычитается из условного вентиляционного давления. Если ветвь, в которой не проложен депрессионный ход, находится внутри сети, то ее депрессия определяется по формуле

$$h_i = (h_n - h_{n-1}) \pm h_{\text{ек}} \qquad (II.8)$$

где h_n и h_{n-1} — условные вентиляционные давления в узлах, ограничивающих ветвь.

Таблица 2.

Маршрут № « » 197 г.

Номер замерной станции	Время замера, *час, мин.*	Температура воздуха, *град.*	Высотная отметка, *м*	Превышение, *м*	Замер микробаронивелиром №			Удельный вес воздуха, *кГ/м³.*		Поправка на превышение, *кГ/м²*	Поправка на изменение атмосферного давления, *кГ/м²*	Депрессия ветви, *кГ/м²*	Примечание
					отсчет по шкале	приведенный отсчет	абсолютное давление *мм рт. ст*	в замерной станции	средний в выработке				
8	11—20	+15	263,2		96-3-25	96,64	759,04	1,20					
				2,5					1,20	3	1,63	5	
9	11—40	+15	265,7		95-3-15	95,73		1,20					

Естественная тяга определяется в контуре, образованном ветвями, депрессии которых суммируются при определении вентиляционных давлений. Например, если в точке 6 вентиляционное давление определено как сумма депрессий ветвей по ходу 0, 22, 21, 20, 16, 56, а в точке 7 — по ходу 0, 10, 8, 7, то депрессия естественной тяги определяется в контуре 0, 22, 21, 20, 16, 5, 6, 7, 8, 10, 0. Ее следует определять термодинамическим способом по известным геодезическим отметкам и абсолютным температурам в них.

Маршруты планируются так, чтобы не прокладывать депрессионные ходы по ветвям, представляющим горизонтальные выработки большой протяженности и наклонные, в которых замер депрессии представляет большую трудность.

Если съемка проводится микробарометрами, то естественная тяга учитывается внесением поправок на превышение.

При измерении депрессии глубоких воздухоподающих стволов, где процессы влагообмена и теплообмена носят неустойчивый и сложный характер, подсчет γ следует делать с учетом влажности воздуха. Поэтому необходимо измерять давление и температуру по сухому и влажному термометрам в ряде точек ствола (через 25—50 *м*), а средний удельный вес определять как средневзвешенный

$$\gamma_{ср} = \frac{\Sigma \gamma_i l_i}{\Sigma l_i} \kappa Г/м^2,$$

где γ_i — объемный вес воздуха на i-ом участке;

l_i — расстояние между замерными пунктами i-го участка.

Объемный вес воздуха в каждом отдельном случае необходимо определять с учетом влажности

$$\gamma_i = 0{,}465 \frac{P}{T}\left(1 - 0{,}378 \frac{\varphi_в \cdot P_{нас}}{P}\right) \kappa Г/м^2,$$

где $\varphi_в$ — относительная влажность в долях единицы;

$P_{нас}$ — давление насыщенных паров.

Вычисление следует вести с точностью до третьего знака.

II. 4. Обследование вентиляторных установок

Обследование вентиляторных установок представляет собой часть воздушно-депрессионной съемки. Кроме режима работы вентилятора при обследовании определяются также данные для расчета аэродинамических сопротивлений возду-

ходов, примыкающих к вентилятору, и сопротивлений путей утечек.

При определении режима работы вентилятора замеряются давление и дебит вентилятора, устанавливаются число оборотов колеса вентилятора $n_в$ и угол установки лопаток Θ.

Для подсчета сопротивлений путей утечек необходимо определить их величину $Q_у$ и депрессию, затраченную на их пути.

Обследование вентиляторных установок при воздушно-депрессионных съемках следует отличать от шахтных испытаний вентиляторов, при которых не ставится задача определить аэродинамические сопротивления вентиляционных каналов и путей утечек.

В технической литературе по рудничной вентиляции не всегда четко разграничиваются понятия «статическое давление вентилятора» и «статическое давление потока»; «динамическое давление потока» в канале и «динамическое давление вентилятора». Это приводит к неправильным рекомендациям по замеру давлений вентилятора.

В воздушном потоке различаются статическое, динамическое и полное давления. Статическое давление $P_{ст}$ есть абсолютное давление воздуха на стенки трубопровода. Динамическое давление потока h_g представляет собой давление движущегося воздуха на единицу площади поверхности, фронтальной потоку

$$h_д = \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma,$$

где V — скорость движения воздуха, *м/с*;

γ — удельный вес воздуха, *кГ/м*^{3};

g — ускорение свободного падения, *м/с*^{2}.

Полное давление потока равно сумме статического и динамического

$$P = P_{ст} + h_g . \qquad \text{(II. 9)}$$

Абсолютное давление потока (замеренное относительно вакуума) следует отличать от избыточного (вентиляционного) давления потока h, которое замеряется относительно атмосферного давления. На рис. 9 изображены эпюры статических и полных вентиляционных давлений в нагнетательном и всасывающем трубопроводах.

Вентиляционное давление относительно линии атмосферного давления $P_а$ обозначено h.

В линии всасывания статическое вентиляционное давление имеет знак (—), а в линии нагнетания знак (+). Ди-

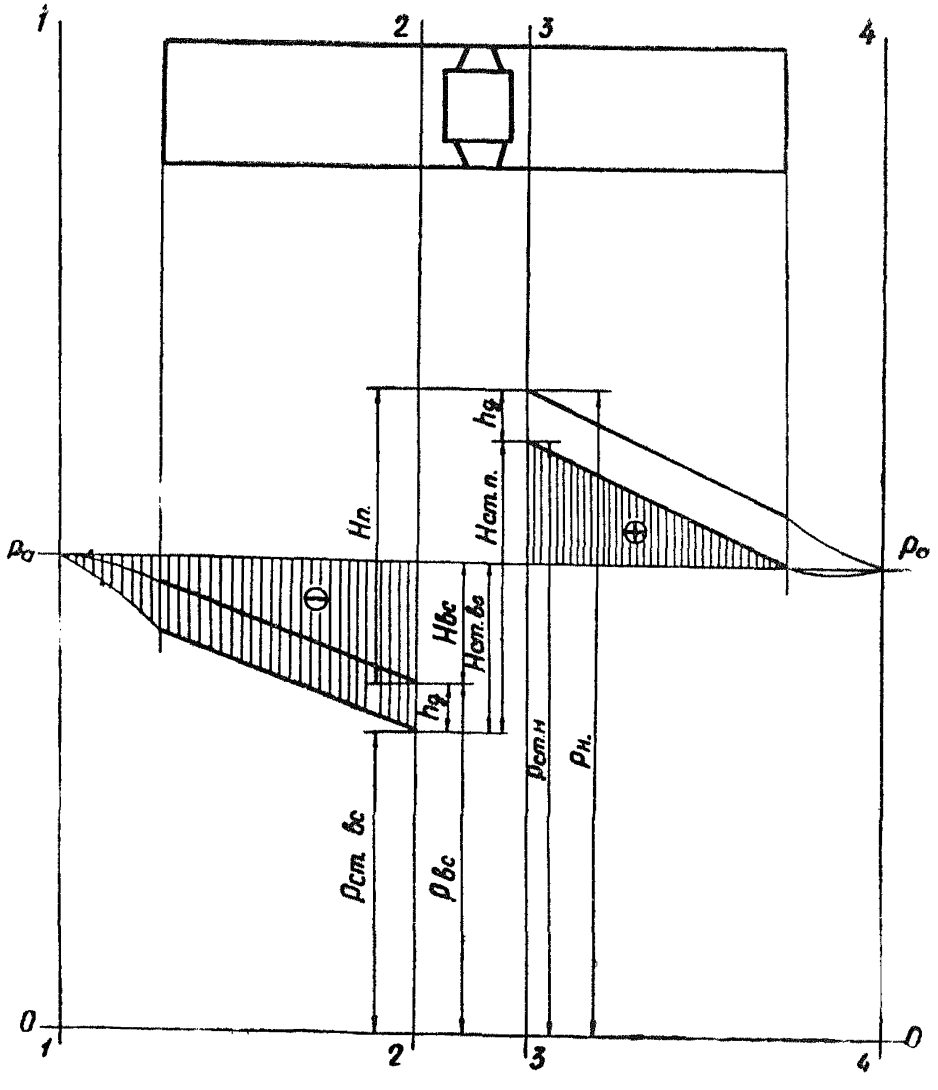

Рис. 9. Эпюры давлений в линиях всасывания и нагнетания.

намический напор всегда имеет знак (+). Для линии всасывания существует зависимость

$$h = -h_{ст} + h_д \qquad \text{(II. 10)}$$

для линии нагнетания

$$h = h_{ст} + h_д. \qquad \text{(II. 11)}$$

В дальнейшем выражение «вентиляционное давление» будет сокращенно обозначаться словом «давление». В том случае, когда речь пойдет об абсолютном давлении в потоке, это будет уточняться.

Индексом P обозначаются абсолютные давления (относительно линии вакуума 0—0).

Из эпюры давлений видно, что абсолютное полное давление потока ($P_{вс} = P_{ст_{вс}} + h_д$ и $P_н = P_{ст_н} + h_д$) всегда больше абсолютного статического давления ($P_{ст_в}$ и $P_{стн}$)

Если же рассматривать вентиляционное давление (относительно линии $P_а$), то во всасывающем трубопроводе полное вентиляционное давление меньше статического вентиляционного. Это обстоятельство необходимо помнить при обследовании давления в калориферном канале нагнетательного вентилятора и вентиляционном канале всасывающего вентилятора.

Для определения сопротивления линии всасывания необходимо замерять полное давление. Если замерять давление статической трубкой и не вводить поправку на скоростной напор, то депрессия линии всасывания будет завышенной.

В нагнетательном трубопроводе полное вентиляционное давление больше статического.

Разность полных абсолютных давлений в нагнетательном и всасывающем трубопроводах составляет полное вентиляционное давление, развиваемое вентилятором на сеть. Эта разность в литературе по аэродинамике вентиляторов называется полным давлением вентилятора $H_в$.

$$H_в = P_н - P_{вс}. \qquad \text{(II. 12)}$$

Полное давление вентилятора можно определить так же как сумму абсолютных величин (без учета знака) полных вентиляционных давлений в нагнетательном и всасывающем трубопроводах или как алгебраическую разность этих величин

$$H_в = [H_{ст_н}] + [H_{ст_{вс}}] + \left(\frac{V^2_н}{2g} \cdot \gamma_н - \frac{V^2_{вс}}{2g} \cdot \gamma_{вс}\right), \qquad \text{(II. 13)}$$

где $H_{ст_н}$ — статическое вентиляционное давление в нагнетательном трубопроводе у вентилятора, *кГ/м²*;

$H_{ст_{вс}}$ — статическое вентиляционное давление во всасывающем трубопроводе у вентилятора, *кГ/м²*;

$V_н$ и $V_{вс}$ — соответственно скорости потока в нагнетательном и всасывающем трубопроводах, *м/с*.

При одинаковом сечении трубопроводов перед вентилятором и за ним $V_н = V_{вс}$ выражение в скобках равно нулю.

Полное давление вентилятора тратится на преодоление сопротивления нагнетательного трубопровода, к которому относится также сопротивление выхода в атмосферу, и на преодоление сопротивления всасывающего трубопровода. Сопротивление входа в трубопровод относится к всасывающему трубопроводу.

У всасывающего вентилятора полное давление состоит из давления, затраченного на преодоление сопротивления сети, и динамического давления потока, выходящего из вентилятора.

Та часть давления, которая тратится на преодоление сопротивления сети, в литературе по аэродинамике вентиляторов называется «статическим давлением вентилятора», $H_{ст_в}$. По нему в большинстве случаев строятся напорные характеристики вентиляторов; в литературе они называются «статическими». Кроме них иногда строятся характеристики по полному давлению вентилятора.

Термин «статическое давление вентилятора» носит условное значение. У всасывающих вентиляторов «статическое давление вентилятора» равно полному давлению потока перед вентилятором.

Динамическое давление потока на выходе из вентилятора в аэродинамике вентиляторов носит название «динамическое давление вентилятора» $H_д$. Его следует отличать от динамического давления потока в канале.

У вентиляторов, имеющих линию всасывания и линию нагнетания, «статическое давление вентилятора» является расчетной величиной, равной разности между полным и динамическим давлением вентилятора.

$$H_{ст_в} = H_в - H_д.$$

В том случае, когда рассматривается напорная характеристика вентиляторной установки, следует иметь в виду, что она строится с учетом потерь давления в ее элементах. Часть давления, затрачиваемая на сопротивление сети, называется «статическим давлением вентиляторной установки», под которым понимается полное вентиляционное давление потока в канале у вентилятора. У таких характеристик на оси ординат, по которой откладывается давление, дается обозначение $H_{ст}$. Однако следует помнить, что под $H_{ст}$ вентиляторной установки подразумевается полное давление потока, затрачиваемое на сопротивление сети. Разность полных абсолютных или полных вентиляционных давлений между двумя точками в вентиляционной сети называется падением давления или депрессией выработки.

$$\Delta h_{ст} = P_1 - P_2 = h_1 - h_2.$$

Обследование вентиляторной установки при воздушно-депрессионных съемках следует начинать с изучения их схем для выяснения места расположения ляд, шиберов, обводных каналов, лебедок, лазов, всасывающих будок, путей утечек воздуха и т. д. В соответствии со схемой установки выбираются места замера дебита, давления и пути прохода к ним.

Если лица, проводящие обследование, не являются работниками вентиляционного надзора этой шахты, то они должны работать в сопровождении лица, хорошо знающего обследуемую установку.

При обследовании всасывающих вентиляторов определяются следующие величины:

1) полное давление потока в канале вблизи рабочего колеса вентилятора $H_в$ («статическое давление вентилятора»);

2) количество воздуха, проходящего через вентилятор $Q_в$;

3) полное давление потока в месте сопряжения вентиляционного канала со стволом $h_ш$;

4) количество воздуха, поступающего из шахты $Q_ш$;

5) количество воздуха, поступающего через устье ствола, $Q_у$; определяется как разность $Q_в - Q_ш$;

6) угол установки лопаток Θ и угол наклона направляющего аппарата у центробежных вентиляторов;

7) число оборотов вентилятора.

Полное давление потока («статическое давление вентилятора или вентиляторной установки») при всасывающем способе проветривания можно замерить микроманометром, депрессиометром, микробарометром и микробаронивелиром. Один из этих приборов устанавливается на поверхности и соединяется с резиновой трубкой, протянутой через лаз к рабочему колесу вентилятора.

Следует помнить, что на преодоление сопротивления линии всасывания тратится полное вентиляционное давление потока, которое меньше статического на величину скоростного потока.

При обследовании всасывающих вентиляторов (вентиляторных установок) полное давление потока в линии всасывания определяется следующим образом. Замеряется статическое давление потока у вентилятора $h_{ст}$ с помощью пневмометрической трубки, подсоединенной к шлангу штуцером со знаком (—). Из замеренного статического давления вычитается скоростное давление, рассчитанное по средней скорости в месте замера давления. Этот способ определения неудобен: он требует дополнительного замера сечения, так как место замера количества воздуха в большинстве случаев не совпадает с местом замера давления.

Проще непосредственно замерять полное давление потока, подсоединив резиновый шланг к штуцеру пневмометрической трубки со знаком (+). Для определения величины полного давления следует замерить его в нескольких точках. При замере давления микроманометром (депрессиометром) его штуцер со знаком (+) остается свободным (соединенным с атмосферой). При замере полного давления по-

тока микробаронивелиром резиновая трубка, идущая к месту замера, подсоединяется к штуцеру, от которого отсоединяется осушитель. После взятия отсчета по замеру давления в канале вентилятора резиновый шланг отсоединяется и сразу же берется отсчет при штуцере, сообщенном со свободной атмосферой. При подсоединении пневмометрической трубки через штуцер (+) давление потока определяется по формуле

$$H_{ст_в} = (S_1 - S_2)\alpha + \Delta P_t \ ,$$

где S_1 — отсчет, приведенный к среднему штриху при замере давления в канале вентилятора;

S_2 — отсчет при замере давления в атмосфере;

α — цена деления шкалы прибора;

ΔP_t — температурная поправка.

При подсоединении шланга к знаку (—) по этой формуле определится статическое давление потока. По такому же принципу делается замер и микробарометром МБ-63.

Для замера $Q_в$ выбирается ровный участок канала перед вентилятором. Количество воздуха определяется по средней скорости воздушного потока и сечению канала в месте замера скорости. Скорость воздушной струи в канале может быть определена чашечным анемометром или пневмометрической трубкой. При замере скорости воздушного потока пневмометрической трубкой следует учитывать неравномерность поля скоростей потока. Для осреднения скорости следует замерять динамическое давление в нескольких точках и рассчитать его среднюю величину. При определении динамического давления потока штуцер пневмометрической трубки со знаком (—) соединяется со штуцером микроманометра, имеющим тот же знак, и, соответственно, штуцер трубки со знаком (+) соединяется со штуцером микроманометра того же знака.

Средняя скорость движения воздуха рассчитывается по формуле

$$V_{ср} = \sqrt{\frac{h_{дср} \cdot 2g}{\gamma}} \quad м/с.$$

При $\gamma = 1{,}22$ скорость можно определить по более простой формуле

$$V_{ср} = 4 \cdot \sqrt{h_{дср}} \quad м/с.$$

Полное вентиляционное давление потока в сопряжении вентиляционного канала с шахтой $h_ш$ замеряется так же, как и у вентилятора.

При замере $h_ш$ резиновый шланг, соединенный с прибором, протягивается через ляды людского ходка в стволе.

Если ствол является только вентиляционным и устье его перекрыто наглухо, замер можно сделать, протолкнув шланг без пневмометрической трубки в щели.

Количество воздуха, поступающего из шахты $Q_ш$, замеряют под стволом в горизонтальных выработках, из которых воздух поступает в ствол. В штольнях $Q_ш$ замеряется за путями поверхностных утечек (подсосов).

Подсосы воздуха через устье ствола определяются как разность между $Q_в$ вентилятора и $Q_ш$ шахты; число оборотов вентилятора — по технической характеристике приводного электродвигателя или с помощью тахометра.

Угол установки лопаток рабочего колеса вентилятора Θ проверяют по их положению относительно конкретных точек при открытых люках кожуха вентилятора.

На основании полученных замеров у всасывающих вентиляторных установок определяется сопротивление вентиляционного канала ($R_к$), сопротивление путей подсосов ($R_у$) и наносится точка режима работы вентилятора на его напорную характеристику, которая называется в литературе статической.

Сопротивление канала определяется по формуле

$$R_к = \frac{h_к}{Q^2_к},$$

где $h_к$ — падение давления в канале; оно определяется как разность между полным давлением потока у вентилятора («статическим давлением у вентилятора» и вентиляционным давлением на сопряжении канала с шахтой ($h_к = H_в - h_ш$);

$Q_к$ — количество воздуха, проходящее через канал, принимается равным $Q_в$, $м^3/с$.

Сопротивление путей подсосов определится по формуле

$$R_у = \frac{h_ш}{Q^2_у} кμ,$$

В том случае, когда имеется напорная характеристика вентилятора, а не установки в целом, при обследовании вентиляторной установки следует дополнительно замерить давление, затрачиваемое на преодоление сопротивления глушителя, выводного канала и выхода в атмосферу. Полное давление вентилятора тогда будет равно сумме потери давления в линии всасывания и в линии нагнетания. Точка режима работы вентилятора в этом случае наносится на его характеристику, построенную по полному давлению.

При пользовании характеристикой всей вентиляторной установки потери давления в выводном канале и глушителе

не замеряются, так как они не входят в характеристику установки.

При обследовании нагнетательной вентиляторной установки в отличие от обследования всасывающей установки замеряется полное вентиляционное давление потока перед вентилятором и за ним, т. е. в линии всасывания и в линии нагнетания. Линией всасывания нагнетательного вентилятора является калорифер, калориферный канал и поворотное колено к вентилятору. Хотя сопротивление линии всасывания незначительно, но, ввиду того, что количество воздуха вентилятора обычно велико, падение давления на стороне всасывания составляет 20—80 *кГ/м*^{2}.

Сопротивление линии всасывания нагнетательного вентилятора определяется по формуле

$$R_{к_{вс}} = \frac{H_{вс}}{Q_в^2} кμ,$$

где $H_{вс}$ — полное вентиляционное давление потока перед вентилятором в линии всасывания, *кГ/м*^{2}.

На практике часто допускается ошибка, когда вместо полного давления замеряется статическое. В результате замеренное падение давления в линии всасывания и сопротивление всаса получаются значительно завышенными.

Полное вентиляционное давление, затрачиваемое на преодоление сопротивления линии нагнетания $H_н$, замеряется у диффузора вентилятора. Полное давление нагнетательного вентилятора H равно сумме полных давлений, затраченных на преодоление сопротивлений линии нагнетания и линии всасывания.

$$H = H_н + H_{вс}.$$

Дебит нагнетательного вентилятора замеряется перед вентилятором в линии всасывания перед поворотным коленом. Участок канала в месте замера должен быть равным. Если такого участка нет, дебит вентилятора можно определить как сумму количества воздуха в вентиляционном канале и утечек через обводной канал и резервный вентилятор.

Точка режима работы нагнетательного вентилятора должна лежать в этом случае на его напорной характеристике, построенной с учетом динамического давления, так как «динамическое давление вентилятора» тратится на преодоление сопротивления сети.

Сопротивление выхода струи в атмосферу из горных выработок следует относить к сопротивлению сети. Если имеется характеристика вентилятора по «статическому давлению», ее можно пересчитать на характеристику по «полному давлению» прибавлением к ней кривой динамического давления вентилятора.

При наличии характеристики всей нагнетательной вентиляторной установки следует замерить полное вентиляционное давление, затрачиваемое только на стороне нагнетания. Сопротивление линии всасывания в этом случае в расчетную схему не вводится. Однако следует иметь в виду, что геометрические параметры фактической вентиляторной установки иные, чем у типовой, и поэтому потери давления в шахтной установке также не соответствуют потерям, учитываемым при построении характеристики. Точнее будет пользоваться характеристикой вентилятора, построенной по полному давлению, и учитывать все конкретные сопротивления воздуховодов.

По дебиту вентилятора $Q_в$ и его давлению $H_в$ наносится точка режима работы вентилятора на его характеристику.

Если точка значительно отстоит от линии характеристики (более 10% по Q и H), то следует проверить замеры и расчеты. Если ошибок в замерах и расчетах не будет, следует снять фактическую характеристику вентилятора и пользоваться ею при расчетах вентиляционной сети.

При обследовании всасывающих вентиляторов точки режима их работы наносятся на характеристику, построенную по давлению, затрачиваемому только на сеть без учета потерь на выходе в атмосферу. Сопротивление вентиляционного канала и путей утечек у нагнетательных вентиляторов определяется так же, как и у всасывающих.

II. 5. Оформление результатов воздушно-депрессионной съемки

При проведении депрессионной съемки микробарометром результаты замеров и расчетов сводятся в табл. 2, а при непосредственных замерах депрессии микроманометром в табл. 3.

Таблица 3.

« » 197 г.

Номер стана	Наименование выработки	Отсчет по микроманометру	Разность отсчетов	Коэффициент на угол установки шкалы	Депрессия	Примечание

Окончательные результаты съемки сводятся в табл. 4.

Таблица 4.

№№ п-п	Ветви расчетной схемы	Депрессия ветви, $кГ/м^2$	Количество воздуха ветви, Q, $м^3/с$	Аэродинамическое сопротивление ветви, $кμ$

Сопротивление отдельных ветвей расчетной схемы определяется по формуле

$$R = \frac{h}{Q^2} \kappa\mu, \qquad \text{(II. 14)}.$$

где h — депрессия ветви, $кГ/м^2$;

Q — дебит ветви, $м^3/с$.

Значение аэродинамических сопротивлений ветвей можно также записать непосредственно на расчетной схеме.

Результаты обследования вентиляторов сводятся в табл. 5.

Таблица 5

№№ п-п	Тип вентилятора	Место установки	$n_в$	Θ	$Q_в$	$H_в$	$Q_ш$	$H_ш$	$R_к$	$R_у$

Напорные характеристики вентиляторов следует начертить на миллиметровой бумаге и нанести точки режимов работы вентиляторов. На этом заканчивается оформление результатов съемки.

II. 6. Составление расчетных схем, анализируемых вариантов проветривания

Расчетные схемы принятых к расчету вариантов осуществляются на основании схемы воздушно-депрессионной съемки внесением в нее новых и исключением ликвидируемых элементов (ветвей, источников движения воздуха).

Расчетная схема определенного варианта должна отражать все предполагаемые изменения в топологии и характеристиках элементов сети.

Сопротивления горных выработок и тех участков существующей вентиляционной сети, которые сохраняются на расчетный период, принимаются по данным воздушно-депрессионной съемки; сопротивления проектируемых выработок — по аналогии с существующими на данной шахте пропорционально длине при одинаковых сечениях и видах крепи.

При отсутствии аналогии сопротивления одиночных выработок могут быть подсчитаны по коэффициентам трения, приводимым в справочниках.

Эквивалентные сопротивления выемочных полей и участков должны приниматься равными сопротивлению приблизительно таких же участков, существующих на момент воздушно-депрессионной съемки. Обязательно одинаковыми должны быть системы разработки, число очистных и обособленно проветриваемых подготовительных забоев, количество

бремсбергов (уклонов) в выемочном поле и их сечение. Длины выработок могут несколько отличаться друг от друга. При отсутствии достаточно близкой аналогии необходимо составить расчетную схему будущего выемочного поля или участка, определить один из вышеизложенных способов сопротивления входящих в эту схему ветвей, а затем с помощью электромодели сопротивление всего участка. Коэффициенты трения для участковых выработок необходимо определять с учетом размещаемого в них оборудования.

Сопротивления вентиляционных сооружений принимаются в соответствии с нормами утечек через них, приведенными в методике расчета количества воздуха.

Если сопротивления вентиляционных сооружений, полученные по данным воздушно-депрессионной съемки, оказались ниже требуемых для обеспечения норм утечек, необходимо провести работу по ремонту и уплотнению имеющихся шлюзов.

Расчет распределения воздуха производится по заводским инструкциям, прилагаемым к электромоделирующим установкам.

В первую очередь рассчитываются схемы проветривания, составленные для наиболее труднопроветриваемых периодов. В результате расчета должны быть определены требуемые режимы работы проектируемых вентиляторов и соответствующие им режимы сохраняемых существующих вентиляторов. При этом определяются места установки и необходимое число ограничительных вентиляционных шлюзов, с помощью которых достигается требуемое распределение воздуха, под которым понимается поступление ко всем рабочим местам шахты не менее расчетного количества воздуха.

В тех случаях, когда сохраняемые вентиляторы снижают свою производительность ниже требуемой, необходимо предусмотреть меры по увеличению их дебита (увеличение числа оборотов или угла установки лопаток рабочего колеса). При невозможности регулирования производится замена существующих вентиляторов на более мощные.

По полученным в результате расчета требуемым режимам работы (количество воздуха Q и депрессия H) производится выбор новых вентиляторов или проверяется соответствие принятых к строительству вентиляторов, если они уже были выбраны ранее. После этого производится проверочный расчет на момент пуска в эксплуатацию выбранных новых вентиляторов и вентиляционных стволов (уклонов).

При необходимости рассчитывается реверсивный режим проветривания с обязательным учетом влияния естественной тяги.

Расчеты рабочих режимов проветривания также производятся с учетом депрессий естественных тяг на время их

максимальных значений. Пренебрегать действием естественной тяги можно только в случаях, когда очевидно, что во всех контурах естественные депрессии составят менее 6% от депрессий контура.

Внесение в расчетные схемы источников давления, моделирующих депрессии естественной тяги, имеет свои особенности и закономерности.

II. 7. Обработка и накопление информации для расчета вентиляционных сетей на ЭВМ

При существующей методике производства депрессионных съемок большую важность представляют работы по обработке информации, поступающей в ходе съемок. Требования, предъявляемые к любому способу обработки информации, следующие: быстрота, точность счета и удобство пользования.

Для выполнения этих требований необходимо использовать современную вычислительную технику. Рассмотрим способ обработки информации с использованием ЭВМ «Минск-22».

В основу способа положена схема:

1) заполнение документов;
2) расчет по элементарным формулам;
3) накопление необходимой информации.

Первый этап выполняется непосредственно в шахте. Данные замеров записываются в журналы (табл. 6; 7), форма которых очень удобна, так как позволяет использовать данные журналы при подготовке информации к виду, удобному для ввода в машину.

Всего имеется шесть массивов информации. Первый массив содержит код сети и число оборотов анемометра.

Пример 3000) — 1,2
3001) — 1,821
3002) — 1,3
3003) — 4,672
3004) — 4,432

В данном примере число со знаком (—) — закодированный элемент, соединяющий узлы сети 1 и 2, причем, воздух движется от левого индекса к правому. Цифра 1, приписываемая справа, обозначает номер анемометра, которым производился замер. На элементе 1,3 производилось два замера числа оборотов анемометра № 2. Максимальное число анемометров, предусмотренных программой, равно четырем, соответственно которым приписываются признаки: 1, 2, 3 и 4.

Второй массив содержит параметры, характеризующие поперечное сечение выработки в свету:

$в$ — ширина выработки или средняя линия;

$h_в$ — высота выработки;

Таблица 6

Шахта ——

„——" ——— 197 г. Исполнитель: ———

МС ① $V=a\times n+b$					АСО ② $V=a\times n+b$				
⌂ ① арочное		⌂ ② сводчатое			⌂ ③ трапеция		⊕ ④ круглое		
Адрес	код сети		1-й отсчет	2-й отсчет	Разность отсчетов	Адрес	$\frac{h}{b}$	Тип сечения	Примечание
	$n_{ср}$ об/с	тип анемометра							
3000)	-1,2		1345	1547	202	5500	3,25	1	
3001)	2,0	2	1547	1745	198	5501	4,12		
3002)	-2,3		4720	5965	1245	5502	2,43	3	В сечении привод $S=0,4\cdot0,6$
3003)	12,4	1	5965	7200	1235	5503	3,05		

Таблица 7

Шахта

„——" ——— 197 г. Исполнитель: ———

Код сети	Адрес	h элемента	K	Верхний отсчет	Нижний отсчет	Δh отсчет	Адрес	L, м	Наименование выработки
1,2	14000)	0,5	0,2	22	20	0,4	17000)	70	2 западный откаточный штрек
			0,3	20	18	0,6			
2,3	14001)	395	0,2	40	20	4,0	17001)	100	Квершлаг 2 гор
			0,3	31	18	3,9			

d —диаметр для круглого сечения.

Сечение выработок определяется по формулам:

(1) $S=0{,}87 x в x h_в$ — для арочного вида крепи;

(2) $S=0{,}66 x в x h_в + S_0$ —для сводчатого вида крепи;

(3) $S=в x h_в$ — для трапециевидной и прямоугольной крепи;

(4) $S = \frac{\pi d^2}{4}$ —для круглого сечения.

$S_0 = в_0 \times h_{во}$ — площадь прямоугольной части сводчатого сечения.

Пример: 5500) 5,26
5501) 3,1
5502) 1,893
5503) 1,85
5504) 2,14
5505) 1

В данном примере в первую ячейку массива записана величина *в*; справа к ней приписывается цифра, определяющая формулу, по которой вычисляется сечение: цифре 1 соответствует вычисление по формуле (1), цифре 2 — по формуле (2) и т. д. В следующей ячейке записывается величина $h_в$. Затем следует пара величин *в* и $h_в$ следующего замера. Если сечение круглое, то в первой ячейке записана величина диаметра с признаком 4, в следующей ячейке записывается 1.

Третий массив содержит величины депрессий элементов в мм вод. ст.

Пример: 14000) 1,2
14001) 2,3

В четвертый массив входят величины длин элементов в метрах

Пример: 17000) 100
17001) 200

Пятый массив содержит величины коэффициентов анемометров.

Известно, что характеристика анемометра определяется выражением

$$V = a \cdot n + в,$$

где *а* и *в* — коэффициенты анемометров.

Пример: 1750) 0,97
1751) 0,4
1752) 0,33
1753) 0,3

Если числу оборотов был приписан признак I, то вычисление скорости производится по формуле

$$V = 0{,}97n + 0{,}4,$$

где n — число оборотов анемометра № 1.

Шестой массив исходных данных содержит величины добавочных сечений

Пример: в 10-м замере сечения необходимо вычесть площадь, занимаемую вагонеткой (1 м^2).

11010) +1

Распределение памяти ЭВМ «Минск-22» для исходной информации

Первый массив	занимает	3000 ÷ 5477	ячеек МОЗУ
Второй	—»—	5500 ÷ 7777	—»—
Третий	—»—	14000 ÷ 14777	—»—
Четвертый	—»—	17000 ÷ 17777	—»—
Пятый	—»—	1750 ÷ 1757	—»—
Шестой	—»—	11000 ÷ 11777	—»—

Свободные ячейки используются для формирования массивов, выдаваемых на АЦПУ.

Таблица 8.

№№ п-п	Код сети	Наименование выработки	Q, $м^3/с$	Q, $м^3/мин$	H, мм вод. ст.	$A=\frac{1}{\sqrt{R}}$	R, кη	$R_{уд}$ кη	L, м

Получаемая информация представлена в табл. 8. Блок-схема программы изображена на рис. 10. Программа—приложение 1.

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ОПЕРАТОРА

1. Ввести в МОЗУ исходные данные, за исключением массива величин коэффициентов анемометра.
2. Ввести в МОЗУ программу первичной обработки замеров.
3. Ввести в МОЗУ коэффициенты анемометров. Включить БМП, АЦПУ.
4. Сделать общее гашение, занести в СЧАК — 2000.
5. Перейти в режим «Автомат». Пуск.
6. Идет выдача на БМП исходной информации. Останов в СЧАК-2072.
7. Включить клавишу «Блокировка переполнения».
8. Пуск с предыдущего останова.
9. Идет счет и выдача результатов на БМП и АЦПУ. Останов в СчАК-410.
10. При необходимости выдачи 2-го экземпляра решения занести в СЧАК-1772. Пуск. Останов—410.
11. Для получения результатов счета с наименованиями выработок записать в ячейку 1764 ноль после выполнения пункта 3; включить фотоввод; поставить на фотоввод ленту с названиями выработок; выполнить пункты 4-10.

2. Способ обработки информации с использованием ЭВМ «НАИРИ-2»

Обработка состоит из двух частей:

1 часть. Конечная цель — получение значений узловых депрессий.

2 часть. Конечная цель — получение значений депрессий

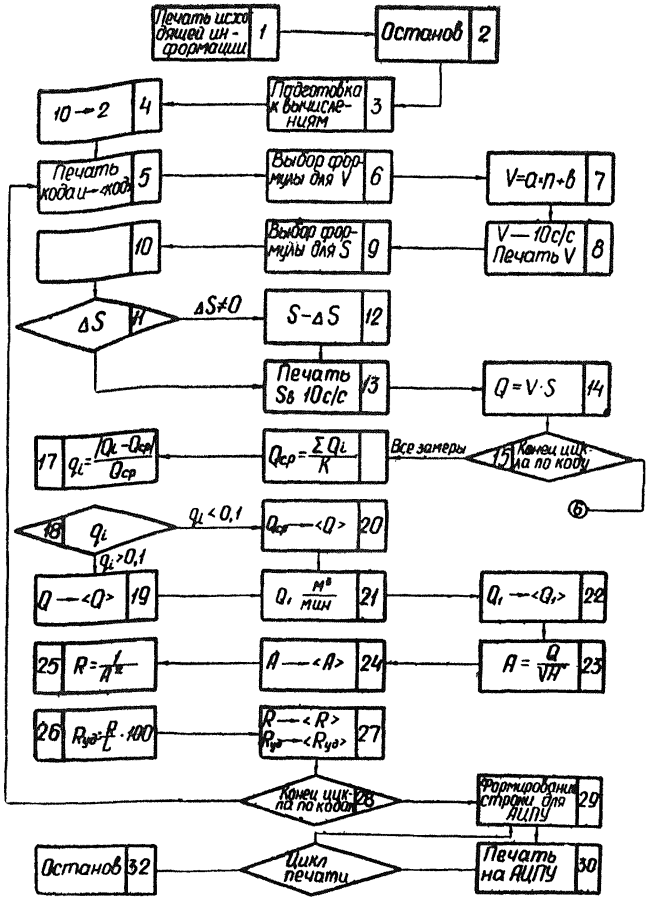

Рис. 10. Блок-схема программы обработки и накопления информации.

элементов, скорости движения воздуха, сечений выработок, дебитов воздуха, аэродинамических сопротивлений ветвей; и предполагает прохождение двух этапов:

— заполнение документов;

— подготовку к обработке, непосредственную обработку с выдачей результатов.

Первый этап выполняется непосредственно в шахте, данные замеров записываются по форме, представленной в табл. 9 (I часть) и табл. 10 (II часть). Запись по предлагае-

Шахта _____ Дата _____

№№ п-п	Номера точек	Отсчеты давления по приборам в точках N_j	Поправки на температуру прибора, кг/м² ΔN_j	Отсчеты давления по прибору, регистрирующему изменение атмосферного давления a_j	Геодезические отметки точек, м M_j	Усредненное значение удельного веса воздуха, кг/м³ $\gamma_{ср}$	Количество узлов вентиляционной сети A_j
	адрес	500 599	600— 699	700— 799	800— 899	365	390
1	2	3	4	5	6	7	8

Примечание: МБ 61 — № 1
МБ143 — № 2
МБ148 — № 3
МБ155 — № 4
МБ169 — № 5

Шахта _____ Дата _____

№№ п-п	Элементы	Узловые депрессии элементов H_i		Отсчеты по анемометру n_i		Номера анемометров, которыми производится замер κ_j	Замер сечения S_i		
		начало	конец	первый	второй		$в_i$, м	$h_{в_i}$, м	номера формул P
		100÷ 299	300÷ 499	500÷ 699	700÷ 899	900÷ 1099	1100÷ 1299	1300÷ 1499	1500÷ 1699
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

мой форме удобна при подготовке информации по вводу в машину.

Таблица 9.

Номер прибора, которым производятся замеры в шахте n_l	Номер прибора, которым производится регистрация изменения атмосферного давления n_e	Минимальное значение, атмосферного давления относительно которого определяется поправка, $кг/м^2$ Q	Геодезическая отметка «нулевой» точки, $м$ $к$	Величина давления в «нулевой» точке, $кГ/м^2$ $Г$	Величина узловой депрессии	Примечание
391	397	398	399	475		
9	10	11	12	13	14	15

Таблица 10.

Номера анемометров и их характеристики				Число элементов в сети, А	Вычисленные геометрические аэродинамические параметры элемента				
$а_к$	$в_к$	$с_к$	номера анемометров		депрессия, H_i, $мм$ $вод.$ $ст.$	скорость движения воздуха $\mathbf{V}_i$, $м/с$	сечение S_i, $м^2$	дебит Q_i, $м^3/с$	аэродинамическое сопротивление $\mathbf{R}_i$ $кμ$
40÷54	55÷69	70÷84	85÷99	39					
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

I часть. Алгоритм предусматривает получение узловых депрессий относительно одной точки («нулевой»), взятой на поверхности или в шахте при депрессионных съемках отечественными приборами типа МБ-63-II. В общем виде вычисление узловых депрессий производится по формуле

$$H_j = P_{\text{пр}_j} + Q_j \pm \Delta h_j\gamma \pm \Delta N_j - \text{Т } кг/м^2, \quad (\text{П. 15}).$$

где H_j — величина определяемой узловой депрессии, $кГ/м^2$;

$P_{\text{пр}_j}$ — вычисленный отсчет замеренного давления в точ- без поправок, $кГ/м^2$;

Q_j — поправка на изменение атмосферного давления, $кГ/м^2$;

$\Delta h_j\gamma$ — поправка на превышение, $кГ/м^2$;

ΔN_j — поправка на температуру прибора, $кГ/м^2$;

Т — вычисленный отсчет давления в «нулевой» точке, $кГ/м^2$.

Всего имеется 11 массивов информации. Первый массив содержит отсчеты давления по приборам в точках замера.

Пример: 500 п
90,63 95,17 100,17 ...ш

Второй массив ΔN_j содержит поправки на температуру прибора, которые определяются по графикам, прилагаемым к приборам.

Пример: 600 п
0,1 0,2 0,1 1,0 ...ш

Третий массив a_j содержит отсчеты давления по прибору, регистрирующему изменение атмосферного давления.

Пример: 700 п
100,28 103,14 102,30 ...ш

Четвертый массив M_j содержит геодезические отметки, точек, *м*.

Пример: 800 п
128,0 135,6 147,1 ...ш

Пятый массив γ состоит из усредненного значения удельного веса воздуха.

Пример:
365 п
1,2 ш

Шестой массив A_i состоит из указания количества узлов в вентиляционной сети.

Пример:
390 m
47 ш

Седьмой массив n_l содержит номер прибора, которым производятся замеры в шахте.

Пример:

391 m
2 ш

Восьмой массив n_e содержит номер прибора, которым производится регистрация изменения атмосферного давления.

Пример:

397 m
3 ш

Девятый массив Q содержит минимальное значение атмосферного давления, относительно которого определяется поправка, *кГ/м²*.

Пример;

398 п
9926,7 ш

Десятый массив K содержит геодезическую отметку «нулевой точки, *м*.

Пример:

399 п
228,3 ш

Одиннадцатый массив T содержит величину давления в «нулевой» точке, *кГ/м²*.

Пример;

475 п
9987,4 ш

Распределение памяти ЭВМ «Наири-2» для исходной информации:

Первый массив занимает	500 ÷ 599	ячеек ОЗУ
Второй —»—	600 ÷ 699	—»—
Третий —»—	700 ÷ 799	—»—
Четвертый —»—	800 ÷ 899	—»—
Пятый —»—	365	ячейку ОЗУ
Шестой —»—	390	—»—
Седьмой —»—	391	—»—
Восьмой —»—	397	—»—
Девятый —»—	398	—»—
Десятый —»—	399	—»—
Одиннадцатый —»—	475	—»—

Получаемая информация выводится на узкую ленту и заносится в графу 14 табл. 9. Блок-схема программы изображена на рис. 11.

Программа — приложение 2.

Программа составлена для микробарометров, имеющих определенные тарировочные графики, и рассчитана на 5 приборов с регистрацией у каждого из них Ск (цен деления, *мм вод. ст.*) и Рк (значений давлений *мм вод. ст.*), начиная с интервала 65.

Прибор № 1

Ск — 300÷312 ячеек ОЗУ
Рк — 400÷412 —»—

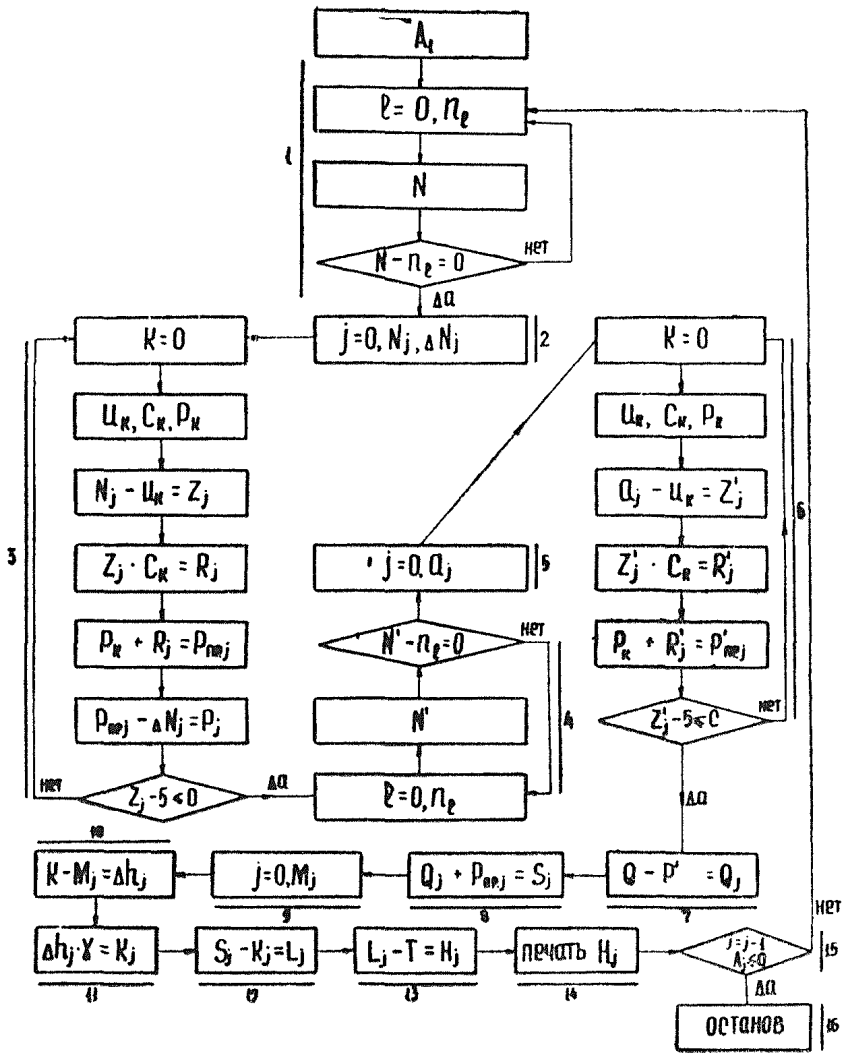

Рис. 11. Блок-схема программы обработки результатов воздушно-депрессионной съемки (1 часть).

Прибор № 2

Ск — 313÷325 ячеек ОЗУ

Рк — 413÷425 —»—

Прибор № 3

Ск — 326÷338 ячеек ОЗУ

Рк — 426÷438 ячеек ОЗУ

Прибор № 4
Ск — 339÷351 ячеек ОЗУ
Рк — 439÷451 —»—
Прибор № 5
Ск — 352÷364 ячеек ОЗУ
Рк — 452÷464 —»—

В случае применения микробарометров с другими тарировочными графиками необходимо в программе заменить содержимое указанных ячеек в соответствии с тарировочными графиками применяемых приборов.

Инструкция для оператора

1. Ввести в ОЗУ программу, для чего:
— вставить перфоленту в перфоратор;
— нажать клавишу «ПУСК-1»;.
— нажать клавишу «ФСМ».
2. Ввести в ОЗУ исходные данные, для чего:
— нажать клавишу «ПУСК-1»;
— ввести исходные данные в ОЗУ в соответствии с адресами массивов.
3. Отбить 1200 И.
4. Нажать клавишу «ПУСК».

II часть

Всего имеется 6 массивов информации.

Первый массив H_i содержит значения узловых депрессий элементов в местах их сопряжения. Вначале вносятся все значения, соответствующие началу элементов, затем — значения, соответствующие месту входа элемента в узел.

Пример:

100п
—15,2 14,0 76,2 —120,7 ...ш
300 п
—17,6 157,3 —18,9 ...ш

Второй массив n_i содержит отсчеты по анемометру. Вначале вносятся все первоначальные отсчеты в соответствии с порядком записи элементов в таблицу. Затем вторые отсчеты в том же порядке.

Пример

500 п
120 176 63 ...ш
700 п
140 201 75 130 ...ш

Третий массив K_j содержит номера анемометров, которыми производятся замеры.

Пример

900 m
4 2 3 5 2 ...Ш

Четвертый массив S_i характеризует сечение выработок, которое определяется по формулам:

(1) $S=0{,}87 \times в \times h_в - 0{,}4$ — для арочного вида крепи;
(2) $S=0{,}785 \times в \times h_в - 0{,}4$ — для коробового свода;
(3) $S=в \times h_в - 0{,}4$ — для трапециевидного, прямоугольного;

(4) $S=\frac{\pi в^2}{4} - 0{,}4$ — для круглого,

где $в$ — ширина выработки или средняя линия, *м*;
$h_в$ — высота выработки, *м*.

Вначале в соответствии с порядком записи элементов сети в таблицу вносятся все значения $в_i$ затем $h_{в_i}$ и в последнюю очередь номера формул P_n, по которым необходимо производить расчет сечения.

Пример

1100 п
2,7 3,1 4,0 3,9 ...ш
1300 п.
2,5 2,0 3,2 2,7 ...ш
1500 m
1 2 3 4 ...ш

Пятый массив содержит номера анемометров B_j и их характеристики $a_к$, $в_к$, $c_к$ (рис. 12).

Пример

40 п
2,7 3,6 4,5 ...ш
55 п
1,2 0,8 1,4 ...ш
70 п
3,2 1,8 0,9 ...ш
85 m
1 2 3 4 5 ...ш

Шестой массив A содержит число рассчитываемых элементов.

Пример

39 m
76 ш

Распределение памяти ЭВМ «Наири-2» для исходной информации

Первый массив	занимает	100÷299, 300÷499 ячеек
Второй	—»—	500÷699, 700÷899 ячеек
Третий	—»—	900÷1099 ячеек
Четвертый	—»—	1100÷1299, 1300÷1499, 1500÷1699

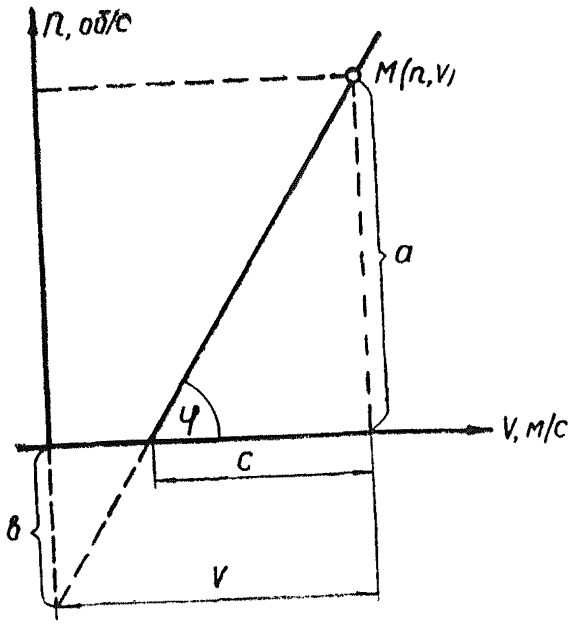

Рис. 12. К заданию характеристики анемометра.

Четвертый —»— 1100÷1299 1300÷1499 1500÷1699
Пятый —»— 40+54; 55+69; 70+84; 85+99 ячеек
Шестой —»— 39 ячейку

Получаемая информация выводится на узкую ленту и заносится в графы 16—20 табл. 10. Блок-схема программы изображена на рис. 13. Программа — приложение 2.

Инструкция для оператора

1. Ввести в ОЗУ программу, для чего:
— вставить перфоленту в перфоратор;
— нажать клавишу «ПУСК-1»;
— нажать клавишу «ФСМ»;
2. Ввести в ОЗУ исходные данные, для чего:
— нажать клавишу «ПУСК-1»;
— ввести исходные данные в ОЗУ в соответствии с адресами массивов.
3. Отбить 1700 И.
4. Нажать клавишу «ПУСК».

II. 8. Внесение естественной тяги в расчетные схемы комбинациями условных вентиляторов

Всякую вентиляционную сеть можно рассматривать как систему, состоящую из замкнутых контуров.

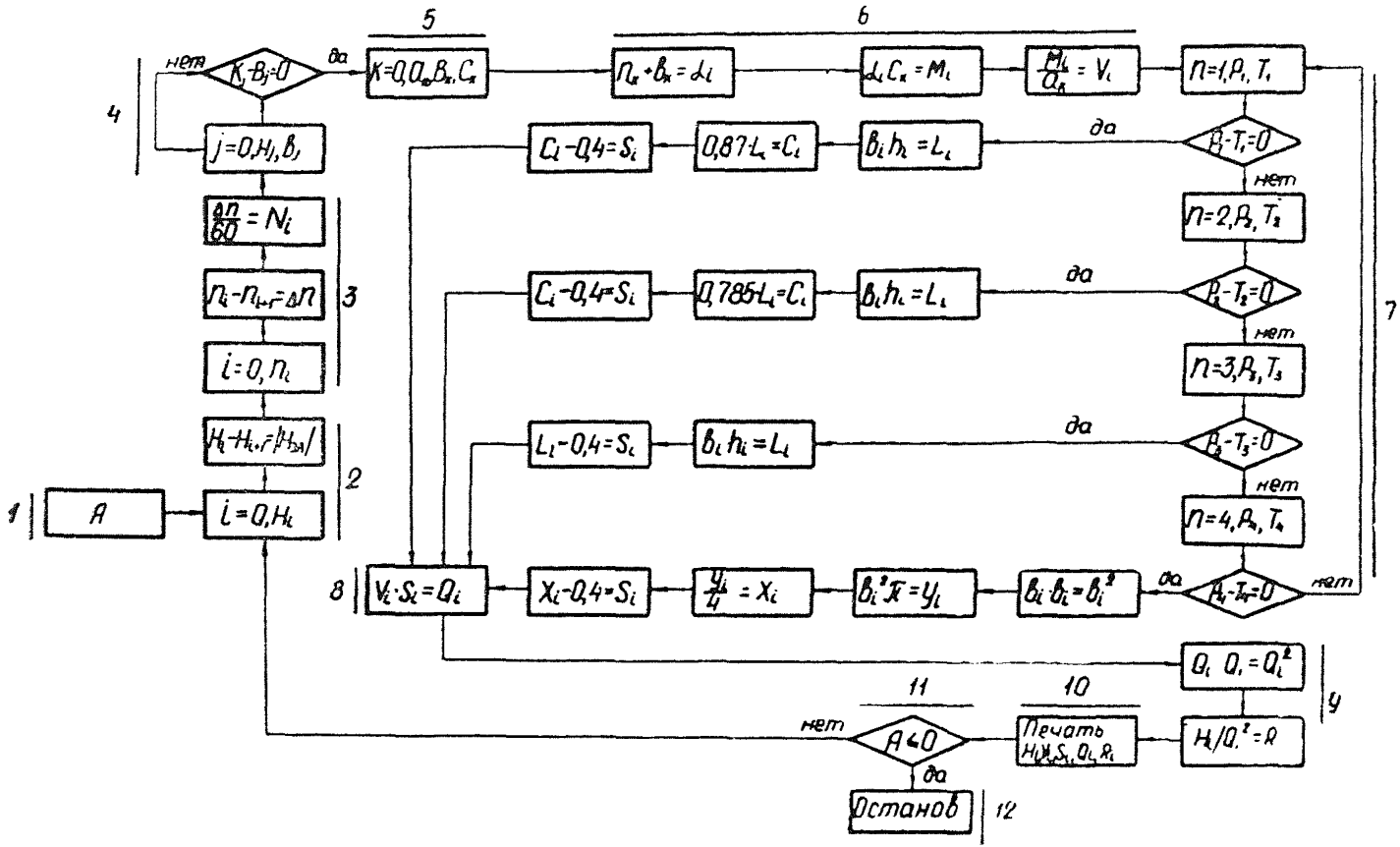

Рис. 13. Блок-схема программы обработки результатов воздушно-депрессионной съемки (II часть).

При плоскостном изображении сети следует разделять элементарные и сложные контуры. Первые не содержат внутри себя ветвей или других контуров, вторые — содержат. На рис. 14 контуры 0-1-3-0, 1-2-5-4-3-1 будут элементарными, контур 0-1-2-5-4-0 — сложным и т. д. Элементарные контуры в расчетной схеме разделяются на внутренние и внешние. У внутренних контуров все ветви смежные, у внешних — одна или несколько ветвей внешние.

В вентиляционной сети все контуры аэродинамически связаны между собой. Всякий источник депрессии, включенный в одну из ветвей, действует во всех контурах. Суммарный режим движения воздуха в сети определяется совокупным действием различных источников. Депрессии, обусловленные гравитационными силами воздуха, также взаимосвязаны. Вследствие этого естественная депрессия одного направления (контура) не характеризует совокупного действия в сети всех гравитационных сил воздуха. Для правильного учета депрессий естественной тяги их следует рассматривать в каждом элементарном контуре сети $h_{ск}$. Естественные депрессии, обусловленные гравитационными силами воздуха, являются рассредоточенными источниками давления. При расчете же вентиляционных сетей любой источник депрессии должен представляться в расчетной схеме как сосредоточенный, имеющий определенное место приложения и характеристику.

Энергия вентиляторов и энергия естественной тяги одинаково тратится на преодоление сил трения воздуха в ветвях. На этом основании рассредоточенные источники могут заменяться сосредоточенными, подобными вентиляторам с характеристикой $h=\text{const}$. Число условных вентиляторов, величина депрессий и место приложения должны определяться со строгим учетом определенных правил. Одна и та же естественная тяга в сети может быть выражена различными комбинациями условных вентиляторов. Знание величин и направлений действия естественных депрессий контуров еще не дает общей модели естественной тяги.

Наличие смежных ветвей приводит к тому, что один и тот же условный вентилятор действует в двух элементарных контурах. При наличии внутренних контуров невозможно внести условные вентиляторы, так, чтобы в каждом элементарном контуре естественная депрессия выражалась только одним источником.

Для правильного учета действия тепловой депрессии должно выполняться следующее условие: в каждом контуре алгебраическая сумма депрессий вводимых источников должна равняться по величине естественной тяге этого контура и действовать в том же направлении, т. е.

$$\Sigma h_{м} = h_{ск}\ , \qquad \text{(II. 16)}.$$

где $\Sigma h_м$ — алгебраическая сумма депрессий условных вентиляторов в замкнутом контуре;

$h_{ек}$ — естественная депрессия контура.

При рассмотрении очередного элементарного контура в нем уже могут иметься условные вентиляторы, вошедшие из смежных контуров. Выражение, приведенное выше, в таком случае запишется

$$\Sigma h_{см} \pm h_м = h_{ек} , \qquad (II. 17)$$

где $\Sigma h_{см}$ — алгебраическая сумма депрессий условных вентиляторов, вошедших в рассматриваемый контур из смежных контуров;

$h_м$ — депрессия источника давления, вводимого в рассматриваемый контур.

Абсолютная величина депрессии условного вентилятора, вводимого в очередной контур, определяется по формуле

$$h_м = h_{ек} \pm \Sigma h_{см}$$

Знак (+) перед вторым слагаемым ставится, если $\Sigma h_{см}$ действует встречно $h_{ек}$ и наоборот. Если величина $h_м$ получается отрицательной, то условный вентилятор включается в расчетную схему встречно $h_{ек}$.

Моделирование может начинаться с любого элементарного контура.

В первом контуре $h_м = h_{ек}$ и источник с такой депрессией может включаться в любую его ветвь. Для последующих контуров на выбор ветвей, в которые вводится $h_м$, накладывается следующее ограничение: источник $h_м$ не должен включаться в ветви, входящие в контуры, в которых естественная тяга уже смоделирована, и в контуры с $h_{ек} = 0$.

Пример: Имеется вентиляционная сеть (рис. 14). Давления воздушных столбов единичного сечения и аэродинамические сопротивления ветвей представлены в табл. 11.

Таблица 11.

Ветви	Вес единичного столба воздуха, $кГ/м^2$	Сопротивление, $кμ$	Дебит, $м^3/с$
0—1	30	0,0075	20
0—2—5	35	0,0247	18
1—3	0	0,75	2
0—3	55	0,04	5
3—4	0	0,0425	7
0—4	70	0,0102	14
4—5	30	0,0425	7
5—6—0	100	0,033	11
—	20	—	—
—	30	—	—
—	20	—	—

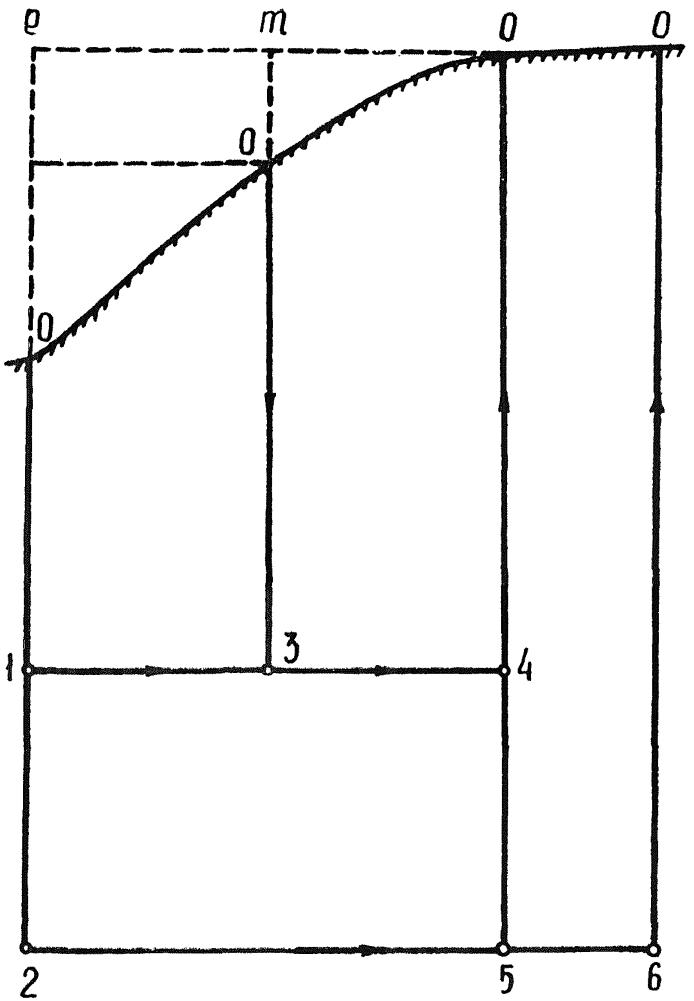

Рис. 14. Схема к определению естественных депрессий.

Расчетная схема изображается в виде замкнутых контуров (рис. 15). Величины естественных депрессий в элементарных контурах определяются с учетом веса столбов воздуха в свободной атмосфере.

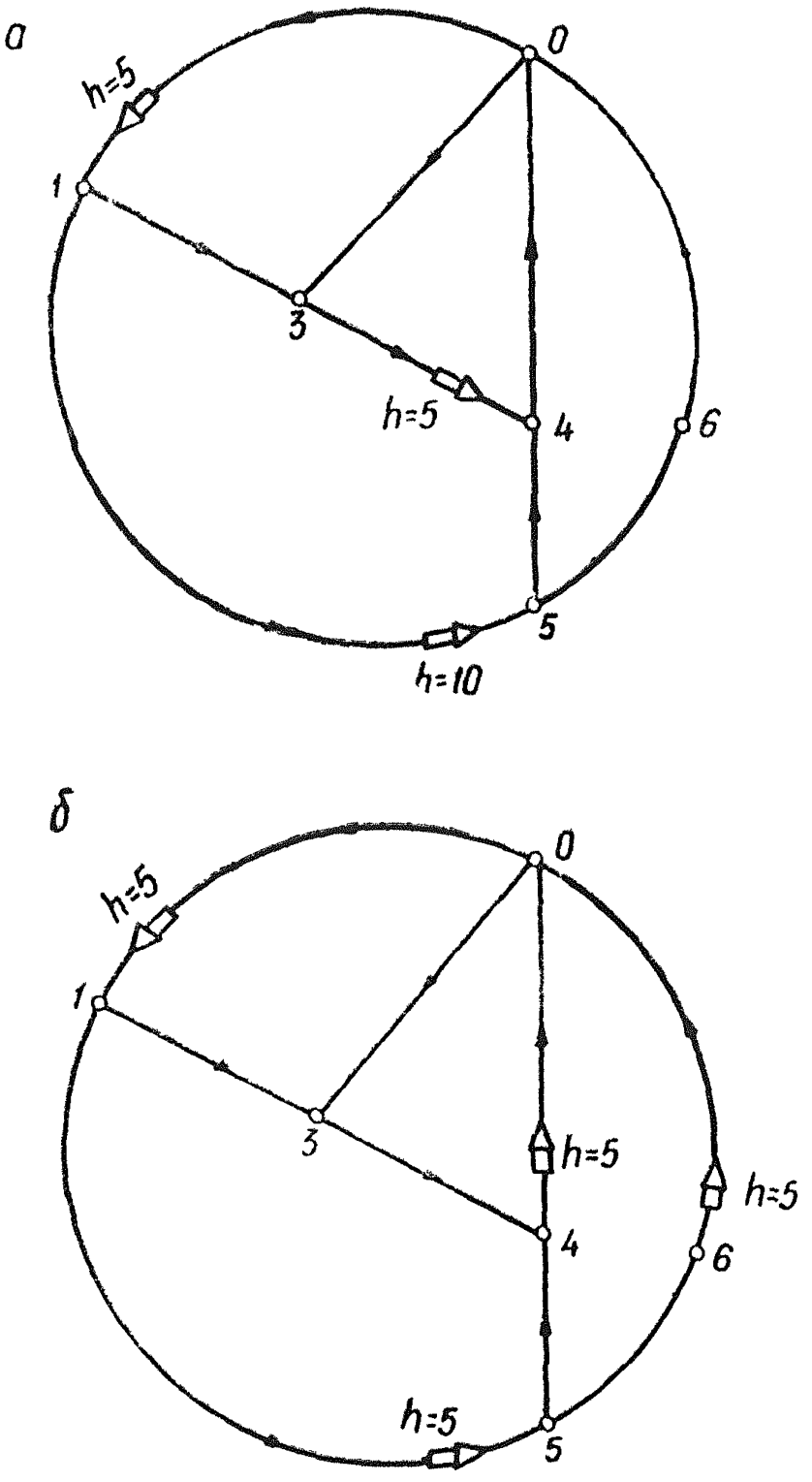

Рис. 15. Расчетные схемы вентиляционной сети с различными комбинациями источников давления, моделирующих естественную тягу.

Контур 0-1-3-0. $h_{ек} = P_{п-о} + P_{о-1} - P_{о-3} = 30 + 30 - 55 - 5$; $h_{см} = 0$; $h_{м} = 5 \pm 0 = 5$. Условный вентилятор с депрессией $h_{м}$ включается в ветвь 0-1 (рис. 15, *а*) в направлении действия $h_{ек}$.

Контур 0-3-4-0. $h_{ек} = 20 + 55 - 70 = 5$; $h_{см} = 0$; $h_{м2} = 5 \pm 0 = 5$. Условный вентилятор с $h_{м2}$ включается в ветвь 3—4, так как ветвь 0-3 входит в рассмотренный контур, а ветвь 0-4 в контур с $h_{ек} = 0$.

Контур 1-5-4-3-1. $h_{ек} = 35 - 30 = 5$; $h_{см} = +5$; $h_{м3} = 5 + 5 = 10$, вводится в ветвь 1-5.

Контур 0-4-5-6-0. $h_{ек} = 70 + 30 - 100 = 0$; $h_{см} = 0$; $h_{м} = 0$.

При изменении порядка рассмотрения контуров и выбора ветвей для включения $h_{м}$ естественная тяга выражается другой комбинацией условных вентиляторов. Один из вариантов представлен на рис. 15, б. В нем $h_{м}$ введен в контур 0-4-5-6-0, в результате чего естественная тяга задана четырьмя условными вентиляторами вместо трех.

В рассмотренной схеме (рис. 14) все контуры лежат в одной вертикальной плоскости. Реальные сети являются объемными, в них контуры находятся в разных плоскостях. При составлении расчетной схемы объемная сеть изображается в виде плоскостной. Элементарные контуры объемной сети при плоскостном изображении могут стать сложными и наоборот. Одной объемной схеме соответствует несколько вариантов плоскостного изображения. В каждом из вариантов элементарные контуры и их комбинации различны.

Для правильного моделирования естественной тяги достаточно принять за расчетную схему один из вариантов плоскостного изображения сети, определить в его элементарных контурах величины $h_{ек}$ и по изложенной выше методике внести условные вентиляторы.

Величины естественных депрессий элементарных контуров определяются, исходя из реальных или прогнозируемых тепловых условий с использованием термодинамического или гидростатического метода, как показано на примере.

II. 9. Задачи, при решении которых необходимо учитывать естественные депрессии

Естественные депрессии в отдельных случаях могут оказывать большое влияние на режим движения воздуха в ветвях сети, даже определять направление струй. В других случаях это влияние не имеет существенного значения. Влияние естественных депрессий на режимы проветривания определяется не только их абсолютной величиной, но и местом действия.

Степень влияния естественных депрессий в контурах сети определяется отношением $h_{ек}/h_{тр}$, где $h_{тр}$ — величина депрессии затрачиваемой в ветвях контура с движением воздуха в сторону действия $h_{ек}$. Действием естественной тяги можно пренебречь, если в анализируемой сети выполняется условие

$$\frac{h_{ек} \cdot 100}{h_{тр}} < C \quad \%$$

где C — допустимая погрешность в расчете по депрессии, %.

Это условие не выполняется при всех способах и режимах проветривания в шахтах, вскрытых штольнями, в шахтах с нагнетательным проветриванием без вентиляционного горизонта, когда устья отдельных выходов на поверхность имеют превышения между собой более 10—15 м. При реверсивных режимах проветривания депрессии вентиляторов резко снижаются и депрессии естественной тяги составляют значительную часть в балансе депрессий отдельных контуров.

Естественные депрессии необходимо учитывать:

— при расчете распределения воздуха в шахтах, проветриваемых через штольни;

— при расчете реверсивных режимов проветривания всех шахт;

— при расчете проектируемых рабочих режимов вентиляции шахт с нагнетательным способом проветривания для проверки устойчивости направлений струй на отдельных шурфах или бремсбергах;

— при выборе главных вентиляторов для глубоких шахт и шахт, проветриваемых через штольни;

— при анализе режимов проветривания, когда действие естественной тяги неизвестно.

II. 10. Методы учета естественных депрессий при выборе вентиляторов

Существующие рекомендации по расчету естественной тяги при выборе вентилятора заключается в том, что ее депрессия, подсчитанная для различных времен года, прибавляется к депрессии шахты или отнимается (в зависимости от ее направления) · Вентилятор выбирается на депрессию $h_в = h_ш \pm h_е$. Эквивалентное отверстие шахты с учетом $h_е$ определяется по формуле

$$A = \frac{0{,}38Q}{\sqrt{h_ш \pm h_е}}$$

Такой метод учета естественной тяги приемлем при действии в сети одной естественной депрессии. В общем случае, когда в сети действуют совместно несколько вентиляторов и естественных депрессий, такой подход неприемлем. Величина h_e любого направления (контура) не характеризует общего действия естественной тяги. В связи с этим в сетях с несколькими источниками депрессии нельзя определить и эквивалентное отверстие. Эквивалентное отверстие выработки или системы выработок является единицей их аэродинамического сопротивления. Соотношение между эквивалентным отверстием A и сопротивлением, выраженным в килюморгах R, определяется формулой

$$A = \frac{0{,}38}{\sqrt{R}}$$

или

$$R = \frac{0{,}144}{A^2}$$

Следовательно, по величине эквивалентного отверстия ветви можно построить ее аэродинамическую характеристику в виде параболы.

При действии в сети нескольких источников депрессии суммарная характеристика относительно любой точки будет активизирована. Например, при параллельной работе двух фланговых вентиляторов характеристика относительно точки подключения любого вентилятора будет иметь вид сложной кривой, не проходящей через начало координат. Если на этой кривой брать различные точки и по их координатам H, Q определять сопротивление в эквивалентных отверстиях или моргах, то его величины будут различны. Это означает, что активизированная характеристика сети не выражается величиной эквивалентного отверстия. Такая характеристика складывается не только из характеристик отдельных ветвей, являющихся параболами, но также и из характеристик активных элементов сети. Следовательно, понятие эквивалентного отверстия для всей сети при наличии в ней нескольких источников депрессий в его обычном значении не применимо. Можно лишь условно определять величину эквивалентного отверстия, на которое работает каждый вентилятор при каком-то конкретном режиме. При изменении режима работы хотя бы одного вентилятора эквивалентные отверстия для всех вентиляторов изменяются.

При анализе влияния естественных депрессий на режим работы выбираемого вентилятора следует учитывать суммарное действие всех источников депрессии в сети. Этого можно достигнуть путем определения изменения результи-

рующих характеристик сети под действием естественных депрессий.

Моделирование естественных депрессий комбинациями условных вентиляторов дает возможность построить характеристики сети с учетом естественной тяги. После внесения в схему условных вентиляторов становится определенным место приложения и характеристики всех элементов сети. Имея характеристики отдельных элементов сети, можно построить ее результирующую характеристику.

Для построения результирующих (суммарных) характеристик сети могут использоваться методы: графо-аналитический, графический и электромоделирования. Графо-аналитический метод имеет только теоретическое значение. Графический метод применим только для сетей с параллельно-последовательным соединением ветвей при незначительном их числе. При наличии диагоналей этот метод не применим без специальных упрощений. Для определения наличия диагоналей в сети следует использовать приведенный ниже критерий. Сеть не содержит диагоналей, если в результате ее упрощений путем сложения характеристик отдельных элементов все элементарные контуры можно представить состоящими не более чем из двух ветвей. Если же после всех возможных упрощений хотя бы один контур будет состоять более чем из двух ветвей, следовательно, сеть содержит диагонали. При использовании этого критерия достаточно проследить мысленно возможный порядок упрощений.

В одной и той же сети могут выбираться вентиляторы для различных мест их установки. Характеристики при этом будут различными. Следует уточнить существующее положение, что число характеристик сети равно числу выходов на поверхность. Действительно, относительно каждого выхода на поверхность можно построить характеристику. Однако число характеристик сети этим не исчерпывается. Фактически характеристики строятся не относительно точек, а относительно ветвей. При включении вентилятора в любую точку одной и той же ветви характеристика сети не меняется. Вентилятор может устанавливаться и в подземных выработках и на поверхности. Поэтому для каждой сети можно построить столько результирующих характеристик, сколько ветвей она имеет.

Методика построения результирующих характеристик сети с учетом естественных депрессий заключается в следующем. Составляется расчетная схема вентиляционной сети. В элементарных контурах определяются величины $h_{ек}$, а по описанной выше методике — комбинация условных вентиляторов. Вносятся другие вентиляторы, которые будут работать совместно с подбираемым. На электромодели набирается

электрическая схема, аналогичная расчетной вентиляционной. Характеристики аналогов элементов сети соответствуют их аэродинамическим характеристикам. В ветвь, для которой подбирается вентилятор, включается дополнительный источник, вольтамперной характеристике которого дается несколько положений изменением ЭДС или внутреннего сопротивления. При каждом новом положении характеристики источника замеряются его дебит и депрессия Q и H. По Q и H наносятся точки характеристики. Необязательно, чтобы вольтамперные характеристики источников тока моделировали напорные характеристики вентиляторов. Достаточно при каждом изменении характеристики регулируемого источника режимы работы всех остальных источников выводить на их характеристики. Аналоги вентиляторов моделируют характеристики в первом квадранте. Аналоги естественной тяги моделируют характеристику в первом и втором квадрантах. Это позволяет строить характеристики сети независимо от направления движения тока через аналоги.

III. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ И АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ

III.1. Принцип электрического моделирования вентиляционных сетей

При решении вентиляционных задач методом электрической аналогии исходят из условий, что законам Кирхгофа подчиняются как электрические сети, так и сети с газами и жидкостями.

Если составить электрическую цепь, распределение токов по которой будет описываться системой уравнений, аналогичной системе (1.4, 1.5), то, измеряя токи и напряжения в различных местах электрической сети, можно определить расходы и напоры воздуха в соответствующих местах вентиляционной сети.

Чтобы электрическая цепь удовлетворяла таким условиям, необходимо:

$$\left.\begin{aligned} U_i &= k_i I^2_i \\ U_i &= r_i I_i \\ U_i &= k_{ni} I^{n}_i \\ U_{в_i} &= f(I_{в_i}) \\ \sum I_i &= 0 \\ \sum U_i &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III.1)}$$

Электрическая модель должна иметь линейные сопротивления, подчиняющиеся закону Ома $U=rI$; сопротивления с параболической вольтамперной характеристикой $U=kI^2$ и $U=k_n I^n$; источники тока, в которых зависимость между электрическими величинами описывается заданным уравнением $U_в=f(I_в)$.

Нетрудно видеть, что система уравнений (1.4, 1.5) аналогична системе уравнений (III.1) и между величинами h_i,

Q_i, R_i, R^1_i, R_{n_i}, и U_i, I_i, k_i, r_i, k_{n_i} наблюдаются соотношения:

$$\left.\begin{aligned} h_i &= m_h\ U_i \\ Q_i &= m_g\ I_i \\ R_i &= m_R\ k_i \\ R^1_i &= m^1{}_R\ r_i \\ R_n &= m_{R_n} k_{ni} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III.2)}$$

где m_h, m_g, m_R, $m^1{}_R$, m_{R_n} — масштабы между соответствующими вентиляционными и электрическими величинами.

После подстановки системы уравнений из (III.2) значений h_i, Q_i, R_{n_i} (1.4, 1.5) и их сравнения с уравнениями системы (III.1) получены соотношения, которым должны удовлетворять масштабы электрической аналогии:

$$\left.\begin{aligned} m_h &= m_R\ m_q \\ m_h &= m^1{}_R\, m_{q_n} \\ m_h &= m_{R_n}\ m^n{}_q \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III.3)}$$

В общем случае при электромоделировании вентиляционных сетей должны выполняться следующие условия:

1. Необходимо соблюдать геометрическое подобие между сетью и ее моделью; под геометрическим подобием в данном случае понимается одинаковый порядок соединения элементов в сети и модели, т. е. любая ветвь модели должна соединяться с узлами, сходственными узлам сети, при этом следует выдерживать и направление ветвей. В пространстве элементы модели могут быть расположены иначе, чем сходственные элементы натуры.

2. Необходимо, чтобы элементы модели — электрические аналоги — имели вольтамперные характеристики, достаточно точно совпадающие с напорными характеристиками элементов сети (выработок, путей утечек, вентиляторов, естественной тяги и т. п.).

3. Необходимо, чтобы отношения сопротивлений всех ветвей к сопротивлению одной из ветвей модели были равны отношению сопротивлений ветвей реальной сети к сходственной ветви вентиляционной сети.

$$\frac{\kappa_i}{\kappa_1} = \frac{R_i}{R_1} \qquad \text{(III.4)}$$

Таким образом, в электрической цепи, составленной по изложенным выше правилам, сила тока в любой ветви будет пропорциональна расходу воздуха в сходственной ветви вентиляционной сети, напряжение между любыми двумя точками модели будет пропорционально потерям напора между сходственными точками сети и сопротивления ветвей модели будут пропорциональны сопротивлениям сходственных ветвей вентиляционной сети.

III.2 Основные требования к приборам электрической аналогии для расчета шахтных вентиляционных сетей Краткая техническая характеристика электромодели ЭМВС-6

За последние два десятилетия разработано много электромоделирующих устройств для расчетов вентиляции шахт, принципиально отличающихся друг от друга элементами, воспроизводящими участки вентиляционных сетей. В качестве этих элементов могут применяться лампы накаливания, линейные сопротивления, радиолампы, полупроводники и др.

Однако, независимо от типа конструкции и принципов воспроизведения характеристик моделируемых участков вентиляционной сети все они должны отвечать следующим требованиям:

1. Элементы модели — аналоги вентиляционных сопротивлений и источники тока, моделирующие характеристики вентиляторов, — должны воспроизводить характеристики вентиляторов и участки сети с погрешностью не более 3—5% при отношении максимального рабочего напряжения к минимальному не менее 10.

2. Все элементы модели должны быть достаточно стабильны, выдерживать многократные перегрузки, их характеристики не должны зависеть от температуры.

3. Все элементы модели должны иметь проградуированные шкалы для упрощения их настройки на получение необходимых характеристик без применения электроизмерительных приборов.

4. Характеристики моделей выработок не должны зависеть от полярности входного напряжения.

5. Конструкция модели должна обеспечить быструю сборку модели рассчитываемой сети, включающей не менее 90—100 участков с 5—8 вентиляторами. Должна быть предусмотрена возможность простого подключения второй установки для расчета сетей, состоящих из 160—200 участков с 10—15 вентиляторами.

6. Устройство и изготовление модели должно быть простым. Установка должна иметь небольшие габаритные размеры, минимальный вес и стоимость.

7. Электроизмерительные приборы модели должны иметь несколько пределов измерений, класс точности 0,5—1 и не вносить заметных искажений при включении их в модель.

8. Все электрические соединения модели должны иметь надежные контакты.

9. Должна быть предусмотрена возможность удобного осмотра и ремонта отдельных узлов установки.

10. Модель должна быть рассчитана на круглосуточную работу при нормальных атмосферных условиях (при температуре 10—30° и влажности до 70—80%).

11. Напряжения источников тока, моделирующих вентиляторы, должны быть безопасны для обслуживающего персонала.

12. С помощью электрической модели вентиляционной сети должен решаться весь круг задач, встречающихся в практике проектирования и реконструкции проветривания шахт, изложенных в главе 1 настоящего руководства.

Наиболее полно этим требованиям отвечает разработанная ИГД им. А. А. Скочинского электроаналоговая установка ЭМВС-6, серийно выпускаемая с 1964 г. Конотопским заводом «Красный металлист». Более чем 10-летний опыт эксплуатации модели показал ее высокую эффективность и достаточную для инженерных расчетов точность в решении вентиляционных задач. Внедрение разработанных с помощью модели рекомендаций по улучшению проветривания шахт дало весьма положительные результаты.

В связи с этим электроаналоговая установка ЭМВС-6 получила в настоящее время наибольшее распространение при расчетах проветривания проектируемых и реконструируемых шахт. Ниже приводится ее краткая техническая характеристика.

Модель имеет: аналоги горных выработок с электрическими характеристиками вида $U=rI^2$; аналоги участков сети с ламинарным режимом движения воздуха и характеристиками вида $U=rI$; источники тока со специальными вольтамперными характеристиками $U=f(I)$, воспроизводящими рабочие ветви характеристик вентиляторов: источники, ток которых не зависит от сопротивления нагрузки ($I=\text{const}$) и может регулироваться оператором (применяются для установления заданных расходов в определенных ветвях, в ряде случаев могут с достаточной точностью воспроизводить напорные характеристики вентиляторов местного проветривания с трубопроводами); источники тока — стабилизаторы напряжения ($U=\text{const}$), которые дают возможность регулировать напряжение в широких пределах (применяются для воспроизведения естественной тяги, а также для введения заданных напоров в определяемых ветвях).

Моделирование на ЭМВС-6 производится на постоянном токе, благодаря чему по показаниям приборов можно определить направление тока в ветви модели. Для измерения тока (расхода) в различных элементах модели установлен многопредельный миллиамперметр, шкала которого отградуирована в $м^3/с$; для измерения напряжения (напора) — катодный вольтметр, шкала которого отградуирована в $кГ/м^2$.

Для реализации аналога горной выработки с вольтамперной характеристикой ($U=rI^2$) в модели использован метод линейно-кусочный аппроксимации с помощью диодно-функциональных преобразователей. Применение семиконтурных аналогов горных выработок позволяет во всех случаях получать погрешность в расчете не более 5%, что вполне допустимо для практических целей.

Моделирование вентиляторов с характеристикой $H=f(Q)$ в ЭМВС-6 осуществляется регулируемыми источниками тока, состоящими из автотрансформаторов с выпрямителями и фильтрами, а также омических реостатов. Схема модели вентилятора дает возможность получать рабочую часть напорных характеристик вентиляторов различных типов.

Аналог постоянных расходов ($Q=\text{const}$) представляет собой регулируемый стабилизатор тока, который может работать как в генераторном режиме, так и в режиме сопротивления.

В данном случае моделируется автоматический регулятор, поддерживающий расход воздуха в некоторой ветви неизменным.

Аналог естественной тяги ($H=\text{const}$), представляющий собой регулируемый стабилизатор напряжения, служит для введения в модель рассчитываемой сети естественной тяги или заданных напоров в каких-либо ветвях.

Аналоги путей утечек ($H=m^1Q$) представляют собой обычные линейные переменные сопротивления.

Количество элементов и их характеристика приведены в табл. 12.

Таблица 12

Элементы	Количество, штук	Депрессия, $кг/м^2$	Расход воздуха, $м^3/с$	Сопротивление мюрг
Вентилятор	6	0—500	0—500	—
Естественная тяга	8	0—100	0—500	—
Горные выработки	100	1—320	—	2÷2000
Постоянные расходы	40	±200	1—100	—
Утечки	40	0—500	0—450	—

III.3. Методика решения вентиляционных задач с использованием электроаналоговых установок

В связи с тем, что наибольшее распространение при расчетах шахтных вентиляционных сетей получила в настоящее время электроаналоговая установка типа ЭМВС-6, изложенная ниже методика решения вентиляционных задач составлена применительно к этой модели. Однако последовательность операций в ходе расчетов в принципе ничем не отличается и при использовании других аналоговых машин.

Учитывая, что этапы расчета вентиляционной сети для получения и подготовки исходных данных довольно детально рассмотрены в предыдущих разделах, настоящая методика отражает расчет, начиная с ввода исходных данных в машину (рис. 2).

При вводе исходных данных в электромодель и непосредственном расчете необходимо произвести следующие основные операции:

1. С помощью имеющихся в модели приборов производится настройка элементов модели на характеристики, соответствующие параметрам воспроизводимых ими участков вентиляционной сети.

Установка необходимого сопротивления горных выработок производится включением в штепсельный разъем выработки магазина сопротивлений, на корпусе которого указано ближайшее к требуемому значение сопротивления в мюргах. При включении магазина с коричневым корпусом полярность напряжения на входных зажимах не играет роли, при включении магазина с черным корпусом на верхнем входном гнезде на коммутационной панели должен быть (+). Сопротивление с корпусом коричневого цвета работает при напорах от 1 до 320 *кГ/м*^{2}, сопротивления с корпусом черного цвета — от 4,5 до 320 *кГ/м*^{2}.

Требуемый расход в какой-либо ветви устанавливается включением в эти ветви блоков постоянных расходов. С помощью штыря, вставляемого в гнездо этого блока на измерительной панели, последовательно с ним включается расходомер. Вращением ручек управления (Q=const) устанавливается требуемое значение расхода, величина которого контролируется по расходомеру. Если на (+) гнезда блока будет положительное напряжение, это значит, что блок работает в вентиляторном режиме, если отрицательное — то в режиме сопротивления. Перед получением окончательных ответов следует проверить соответствие расхода блока требуемой величине и в случае необходимости блок откорректировать.

Установка линейного сопротивления производится вращением ручки управления сопротивлением.

2. Определяются параметры источников тока, моделирующих вентиляторы и естественную тягу, и производится их настройка на соответствующие рабочие участки. Напорные характеристики осевых вентиляторов с достаточной степенью точности можно представить в виде прямой линии. Уравнение рабочего участка характеристики имеет вид:

$$H = H_0 - m^1 Q \qquad \text{(III.5)}$$

Для определения значений H_0 и m^1 на рабочем участке напорной характеристики выбираются две точки с координатами $H_А$, $Q_А$ и $H_Б$, $Q_Б$, после чего по формулам:

$$H_0 = H_А - \frac{H_Б - H_А}{Q_Б - Q_А} \cdot Q_А; \qquad m^1 = \frac{H_Б - H_А}{Q_Б - Q_А}$$

вычисляются значения H_0 и m^1. Параметры источника тока, его э.д.с. получаются непосредственно в вентиляционных величинах.

При моделировании напорных характеристик центробежных вентиляторов иногда приходится последовательно с моделью вентилятора включать параболическое сопротивление, модель выработки. Для определения параметров источника тока в этом случае поступают следующим образом. На рабочем участке напорной характеристики вентилятора выбирают три точки с координатами $H_А$, $Q_А$, $H_Б$, $Q_Б$, $H_В$, $Q_В$, через которые должна проходить характеристика источника тока. Координаты этих точек должны удовлетворять системе уравнений:

$$\begin{aligned} H_А &= H_0 - m^1 Q_А - m Q^2_А \\ H_Б &= H_0 - m^1 Q_Б - m Q^2_Б \\ H_В &= H_0 - m^1 Q_В - m Q^2_В \end{aligned}$$

Как известно, корни такой системы равны

$$H_0 = \frac{Д_{н0}}{Д_н}; \quad m^1 = \frac{Д_{m^1}}{Д}; \quad m = \frac{Д_m}{Д},$$

где

$$Д = \begin{vmatrix} 1 & -Q_А & -Q^2_А \\ 1 & -Q_Б & -Q^2_Б \\ 1 & -Q_В & -Q^2_В \end{vmatrix} \qquad Д_{н0} = \begin{vmatrix} H_А & -Q_А & -Q^2_А \\ H_Б & -Q_Б & -Q^2_Б \\ H_В & -Q_В & -Q^2_В \end{vmatrix}$$

$$Д_{m^1} = \begin{vmatrix} 1 & -H_А & -Q^2_А \\ 1 & -H_Б & -Q^2_Б \\ 1 & -H_В & -Q^2_В \end{vmatrix} \qquad Д_m = \begin{vmatrix} 1 & -Q_А & +H_А \\ 1 & -Q_Б & +H_Б \\ 1 & -Q_В & +H_В \end{vmatrix}$$

После того, как определены параметры источника тока, обеспечивающие получение напорной характеристики данного вентилятора, производится настройка источника тока, для чего на его вход включают напоромер и, вращая ручку соответствующего ЛАТРа, устанавливают напор $H=H_0 \cdot k$, где k — коэффициент ограничения отношения э.д.с. источника к величине максимального выходного напряжения (устанавливается переключателем четырех положений 1—2—3—4 на панели вентилятора).

После установки требуемого значения H_0, производится короткое замыкание источника тока и затем, контролируя расходомером расход источника, регулировкой его магазина сопротивлений (тумблерами) устанавливается необходимое значение расхода при коротком замыкании вентилятора, которое определяется точкой пересечения напорной характеристики с осью Q. В случае моделирования центробежного вентилятора после установки значения H_0 последовательно с вентилятором включается выработка, сопротивление которой определено по изложенной выше методике, остальные операции производятся так же, как и в случае осевого вентилятора. При этом накоротко замыкается цепь, состоящая из вентилятора и включенной последовательно с ним модели выработки.

Установка заданного напора в ветви осуществляется с помощью блока естественной тяги. Для этого ключом на измерительной панели на вход блока включается напоромер. Вращением рукоятки ($H=\text{const}$) устанавливается необходимое значение напора.

3. Из настроенных элементов и источников тока с помощью имеющегося в модели набора проводников собирается электрическая схема, воспроизводящая рассчитываемую вентиляционную сеть. Порядок соединения элементов любой вентиляционной сети описывается так называемой матрицей соединения.

Для составления матрицы необходимо пронумеровать все ветви сети, причем каждой ветви приписывается некоторое направление, которое обычно считается совпадающим с направлением движения воздуха. Необходимо также пронумеровать все узлы сети. Для того, чтобы различать номера ветвей и узлов, можно узлы пронумеровать цифрами со штрихом. После этого составляется матрица соединений вентиляционной схемы, представляющая собой таблицу, номера строк которой соответствуют номерам ветвей, а номера столбцов — номерам узлов. На пересечении какого-либо столбца i' с некоторой строкой j ставится $+1$, если ветвь, соответствующая этой строке, входит в узел, соответствующий столбцу, и -1, если ветвь, соответствующая строке, выходит из узла, со-

ответствующего столбцу, и ставится 0 или клетка оставляется пустой, если ветвь не связана с узлом.

Для схемы, показанной на рис. 16, матрица соединений имеет вид

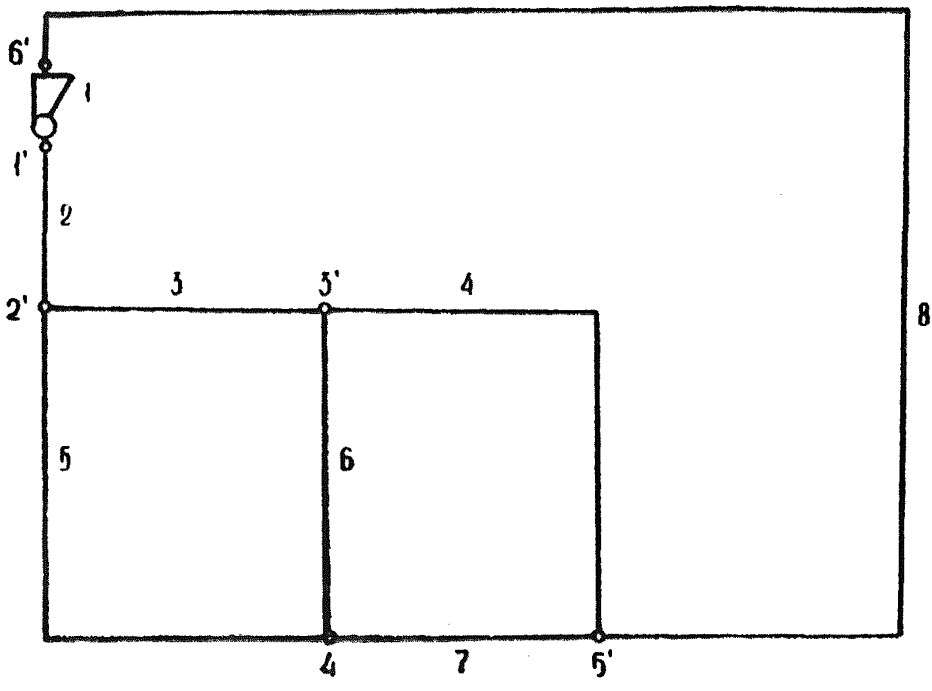

Рис. 16. К монтажу схемы вентиляционных соединений ЭМВС-6.

	1^1	2^1	3^1	4^1	5^1	6^1
1	−1	0	0	0	0	+1
2	+1	−1	0	0	0	0
3	0	+1	−1	0	0	0
4	0	0	+1	0	−1	0
5	0	+1	0	−1	0	0
6	0	0	+1	−1	0	0
7	0	0	0	+1	−1	0
8	0	0	0	0	+1	−1

4. Проверяют правильность сборки электрической схемы, вносят исправления, после чего производится непосредственный расчет, т. е. в зависимости от цели расчета в соответствующих участках схемы включают источники тока, моделирующие вентиляторы, естественную тягу и т. д., а также вносят изменения в конфигурацию и параметры схемы и т. д.

Следует отметить большое многообразие практических вентиляционных задач: — выбор вентиляторов; — расчет реверсивных режимов проветривания; — определение зон

действия вентиляторов и др. Рассмотрим методику решения некоторых практических задач.

Вентиляторы выбирают по заданным топологии и аэродинамическим параметрам шахтных вентиляционных сетей. Обычно такие задачи возникают при расчете проветривания проектируемых и реконструируемых шахт.

При одиночной работе вентилятора определение его режима работы с использованием электромодели ЭМВС-6 выполняется следующим образом. К набранной электрической схеме вентиляционной сети подключают источник тока, моделирующий вентилятор, и последовательным изменением его режимов добиваются поступления в шахту требуемого количества воздуха. После этого ключом замыкают контакты измерительного гнезда вентилятора и по показаниям приборов определяют расход Q и напор H. В соответствии с замеренными Q и H по каталогу напорных характеристик выбирают соответствующий вентилятор.

Для действующих шахт, когда вентилятор установлен, при изменении топологии сети решается задача по выявлению возможности его дальнейшего использования. Это определяется наложением его режимной точки на напорную характеристику. При невозможности дальнейшего использования вентилятора его заменяют новым или устанавливают дополнительные, переходя на совместную их работу.

Решение задач при совместной работе вентиляторов много сложнее, чем при одиночной. В этом случае кроме разработки оптимальных условий распределения воздуха в сети необходимо определить условия устойчивой (однозначной) совместной работы вентиляторов. Данная задача решается построением части характеристики сети, вернее, отысканием двух ее точек в области нерабочей части (раздел III. 12).

Следует отметить, что многозначность совместной работы вентиляторов возможна только в том случае, если один из них имеет напорную характеристику с нерабочей частью (впадина). Во всех этих случаях проверка устойчимости совместной работы вентиляторов необходима как при нормальном, так и при реверсивном режимах проветривания.

Если напорные характеристики вентиляторов представляют собой монотонную параболу без перегибов, то устойчивость их работы зависит только от состояния вентиляционной сети, на которую они работают (наличие вентиляционных дверей, шлюзов, окон, кроссингов и т. д.), и проверку устойчивости их работы на модели можно не производить.

Как было указано выше, выбор вентиляторов и проверка устойчивости их работы должны производиться не только для нормального, но и для реверсивного режима проветривания. Известно, что при опрокидывании струи меняют

свою величину аэродинамические сопротивления отдельных элементов шахтных сетей. Эти изменения должны вноситься в расчетную схему в соответствии с рекомендациями табл. 13.

Таблица 13

Элемент вентиляционной сети	Коэффициент изменения сопротивления
Отдельная выработка (ствол, шурф, квершлаг, штрек, уклон, бремсберг и т. д.)	1
Вентиляционные двери и шлюзы:	
а) при наличии реверсивных устройств	0,92±0,16
б) без реверсивных устройств	0
Выемочные участки:	
а) падение пласта до 30°	0,51±0,05
б) падение пласта свыше 30°	0,93±0,22
Каналы вентиляторов	2,00
Пути внешних утечек	0,22±0,08

Кроме этого необходимо учитывать, что при реверсировании вентиляционной струи изменением направления вращения рабочих колес вентиляторов их напорные характеристики изменяются. К расчету рекомендуется принимать (на основании исследований ЦАГИ и ВостНИИ), что при реверсии дебит вентиляторов составляет 35—40% дебита их при нормальном направлении вращения, а напор снижается в 5—6 раз.

На практике часто возникают задачи по определению зон действия вентиляторов с целью изменения направления утечек или снижения их количества.

Решение производится увеличением производительности и напора одного вентилятора и определением режимов работы сопряженных вентиляторов. Регулировка производится до тех пор, пока необходимые зоны действия вентиляторов не будут достигнуты.

5. Анализ и оформление результатов расчетов.

Основной анализ производится непосредственно в процессе решения, который заключается в проверке всех технически возможных вариантов и выборе наиболее приемлемого, т. е. выявляется возможность использования существующих средств проветривания, необходимость введения в общую систему дополнительных вентиляторов, условия устойчивой их работы, рекомендации по оптимальному распределению воздуха и т. п.

После решения составляется отчет о выполненной работе, который включает в себя следующие разделы:

— состояние проветривания и цель расчета;

— исходные данные для расчета;

— результаты расчета;
— разработанные рекомендации.

В первом разделе описывается состояние проветривания шахтной системы, затруднения в снабжении воздухом отдельных производственных объектов, возможности шахты в реконструкции проветривания и цель вентиляционного расчета; во втором — исходные данные, на основании которых производится решение поставленных задач, и способы их получения.

В третьем разделе приводится ход расчета, результаты решения намеченных вариантов, указываются их преимущества и недостатки, т. е. производится анализ полученных результатов. В четвертом — на основании анализа результатов расчета, проведенного в предыдущем разделе, даются рекомендации по организации проветривания шахтной вентиляционной сети.

III.4. Математическое обоснование метода расчета и алгоритм для решения на ЭВМ

Элементом схемы вентиляционной сети называется участок ее, расположенный между двумя соседними узлами. Узлами сети называются либо точки разветвления вентиляционной струи, либо точки входа воздуха в сеть или выхода его из сети.

Аэродинамической характеристикой элемента сети называется аналитическое выражение функции

$$Q_к = F_к(H_к). \qquad \text{(III.6)}$$

определяющей зависимость количества воздуха Q, протекающего по k-му элементу сети в единицу времени, от депрессии между узлами, ограничивающими этот элемент.

Задача свободного распределения воздуха в вентиляционной сети заключается в определении расходов воздуха и депрессии для всех элементов сети по заданным характеристикам их и по заданному коду сети.

Код сети выражает собой строение схемы (топологии сети). Чтобы из графического изображения схемы сети получить ее код, достаточно перенумеровать все ее узлы.

Если задача решается на ЭВМ, то желательно нумерацию узлов выполнять в восьмеричной системе счисления. Желательно также, чтобы направление от узла с меньшим номером к узлу с большим номером совпадало с направлением движения воздуха, условно принятым за положительное.

Номера узлов, ограничивающих какой-либо из элементов сети, образуют кодовое наименование этого элемента. Наименования всех элементов сети, сведенные в таблицу, представляют собой код сети.

Положение кодового наименования каждого из элементов сети в такой таблице фиксируется порядковым номером.

Если элементу сети, соединяющему узлы a и $в$, присвоен в таблице порядковый номер k, то расход воздуха и депрессия по этому элементу обозначают соответственно либо через $Q_{a-в}$ и $H_{a-в}$, либо через $Q_к$ и $H_к$. Первый способ обозначения характеризует расположение элемента в схеме, второй — положение его наименования в кодовой таблице.

Колонка «код» табл. 14 представляет собой код сети, схема которой представлена на рис. 17.

Предлагаемый метод расчета опирается на понятие узловой депрессии. Узловой депрессией h_a узла a называется депрессия между этим узлом и нулевым узлом. При этом принимается условно, что $h_0=0$ (в дальнейшем понятию узловой депрессии будет придан несколько другой смысл).

Очевидно, если узловые депрессии всех узлов сети заданы, то депрессия $H_{a-в}$ элемента a—$в$ определяется как разность узловых депрессий узлов a и $в$:

$$H_{a-в}=h_в-h_a \qquad \text{(III.7)}.$$

Табл. 14 представляет собой матричную запись уравнений вида (III.7) для схемы, представленной на рис. 17.

k-й строке этой таблицы соответствует k-й элемент сети, а i-му столбцу — i-й узел.

Эта таблица называется узловой матрицей сети.

Элемент узловой матрицы, расположенный на пересечении k-й строки и i-го столбца обозначается через $C_{k,i}$; числа $C_{k,i}$ могут принимать лишь три значения: —1; 0; +1.

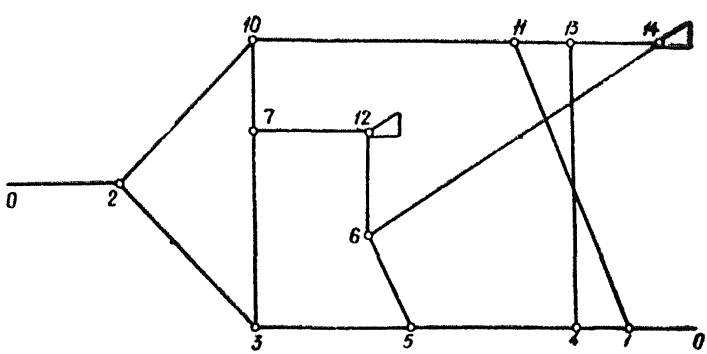

Рис. 17. Схема вентиляционной сети.

Таблица 14.

Кол	Номера узлов (i)												
	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	
0—1	1												1
0—2		1											2
0—12										1			3
0—14												1	4
1—4	—1			1									5
1—11	—1								1				6
2—3		—1	1										7
2—10		—1						1					10
3—5			—1		1								11
3—7			—1				1						12
4—5				—1	1								13
4—13				—1							1		14
5—6					—1	1							15
6—12						—1				1			16
6—14						—1						1	17
7—10							—1	1					20
7—12							—1			1			21
10—11								—1	1				22
11—13									—1		1		23
13—14											—1	1	24

Номера элементов сети (K)

Если k-й строке матрицы соответствует элемент сети, по которому воздух идет от i к j, то $C_{k,i}=-1$, $C_{k,j}=+1$, а все остальные элементы k-й строки равны нулю.

Пользуясь этим обозначением, можно для сети, узловая матрица которой задана, записать все уравнения (III.7) в следующей компактной форме

$$H_k=\sum_{i=1}^{n} C_{k,i}\ h_i \qquad \text{(III.8)}$$

Например, элементами 12-й строки матрицы (табл. 14) являются числа

$C_{12,1}=0$; $C_{12,2}=0$; $C_{12,3}=-1$; $C_{12,4}=0$; $C_{12,5}=0$. $C_{12,6}=0$;
$C_{12,7}=1$; $C_{12,10}=0$; $C_{12,12}=0$; $C_{12,13}=0$; $C_{12,14}=0$;

Для этого случая выражение (III.8) примет вид

$$H_{12}=H_{3\text{-}7}=\sum_{i=1}^{14} C_{12\,i}\ h_i$$

или в развернутой форме

$$H_{3\text{-}7}=0\cdot h_1+0\cdot h_2-1\cdot h_3+0\cdot h_4+0\cdot h_5+0\cdot h_6+1\cdot h_7+0\cdot h_8+$$
$$+0\cdot h_9+0\cdot h_{10}+0\cdot h_{11}+0\cdot h_{12}+0\cdot h_{13}+0\cdot h_{14}=h_7-h_3,$$

что соответствует выражению (III.7).

Если задаться совершенно произвольной системой значений узловых депрессий, то величины депрессий элементов сети, вычисленные из выражения (III.8), заведомо будут удовлетворять второму закону потокопроводящих сетей: алгебраическая сумма депрессий элементов сети, образующих замкнутый контур, равна нулю.

Например, для замкнутого контура 3, 7, 12, 6, 5, 3 (рис. 17).

$$H_{3\text{-}7}+H_{7\text{-}12}+H_{12\text{-}6}+H_{6\text{-}5}+H_{5\text{-}3}=(h_7-h_3)+(h_{12}-h_7+$$
$$+(h_6-h_{12})+(h_5-h_6)+(h_3-h_5)=0.$$

Очевидно, этот вывод легко распространяется на любой замкнутый контур любой сети.

Если рассматривать элементы какого-либо одного столбца узловой матрицы, можно убедиться, что элементам i-го столбца вида «+1» соответствуют сети вида «a—i», по которым воздух выходит из i-го узла, а элементам i-го столбца вида «—1» — элементы сети вида i—$в$, по которым воздух входит в i-й узел.

Следовательно, первый закон потокопроводящих сетей: алгебраическая сумма потоков, сходящихся в одном узле, равна нулю, выразится компактной формулой.

$$\sum_{k=1}^{m} C_{ki}\,Q_k=0\ \ (i=1,\ 2,\ \ldots,\ n). \qquad \text{(III.9)}$$

Например, для 4-го столбца узловой матрицы (табл. 14)

$$C_{5,4}=1;\quad C_{13,4}=-1;\quad C_{14,4}=-1.$$

Все остальные элементы этого столбца равны нулю, т. е. выражение (III.9) в развернутой форме примет вид

$$Q_5-Q_{13}-Q_{14}=Q_{1\text{-}4}-Q_{4\text{-}5}$$

Аналогичный результат получится и для остальных столбцов матриц, т. е. для всех узлов сети.

Зададимся ориентировочными значениями узловых депрессий, отличающимися от их истинных значений $\bar{h}_i$ на неизвестные величины поправок Δh_i

$$h_i=\bar{h}_i+\Delta h_i \qquad \text{(III.10)}$$

Истинные значения депрессий элементов сети $H_к$ определяются из выражений (III.8) и (III.10)

$$H_к=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i}\ h_i=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i}\ n_i$$

Несмотря на то, что каждая из величин

$$\bar{H}_к=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i}\ h_i \qquad \text{(III.11)}$$

отличается от истинного значения депрессии k-го элемента сети

$$\bar{H}_к=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i}\ h_i$$

на величину

$$\Delta H_к=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i}\Delta\ h_i \qquad \text{(III.12)}$$

второй закон сети, как было показано выше, будет для величин, определенных из выражения (III.11), соблюден.

Однако величины расходов воздуха $\bar{Q}_к=F_к\ (H_к)$ не будут удовлетворять первому закону сетей, т. е. суммирование потоков, сходящихся в j-м узле, вычисленных по ориентировочно принятым значениям $\bar{h}_i$ $(i=1,\ 2\ldots n)$, в результате дает не ноль, а некоторую невязку

$$\sum_{к=1}^{m} C_{к,i}\ \bar{Q}_к=\sum_{к=1}^{m} C_{к,i}\ F_к(H_к)=S_i \qquad \text{(III.13)}$$

Задача сводится к тому, чтобы путем введения поправок Δh_i свести невязку S_i к пренебрежимо малой величине, т. е. найти величины Δh_i $(i=1,2\ldots n)$ такие, чтобы

$$\sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,i} F_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}+\Delta Q_{\kappa}) \approx 0, \qquad \text{(III.14)}.$$

где

$$\Delta H_{\kappa} = \sum_{i=1}^{n} C_{\kappa,i} \Delta h_i$$

Величину $\overline{Q}_{\kappa} = F_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}+\Delta H_{\kappa})$ можно приближенно представить как

$$F_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}+\Delta H_{\kappa}) = F_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}) + \Delta F_{\kappa,1} + \Delta F_{\kappa,2} + \ldots + \Delta F_{\kappa,n}, \qquad \text{(III.15)}$$

где $\Delta F_{\kappa,i}$ — приращение, которое получает величина Q_{κ} вследствие введения поправок Δh_i .

В свою очередь, величину $\Delta F_{\kappa,j}$ можно приближенно представить как

$$\Delta F_{\kappa,j} = a_{\kappa,j} \Delta h_j,$$

где $a_{\kappa,j}$ — численное значение частной производной $\frac{dF_{\kappa}}{dh_j}$

при первоначально принятых значениях маршрутных депрессий $\overline{h}_i$ $(i=1,2...n)$.

Ввиду того, что функция $F_{\kappa}(H_{\kappa})$ зависит от $h_1, h_2, \ldots, h_n$ через единственный аргумент H_{κ}, частная производная от F_{κ} по h_j определяется как произведение производной F'_{κ} от F_{κ} по аргументу H_{κ} на частную производную от H_{κ} по h

$$\frac{dF_{\kappa}}{dh_i} = F'(H_{\kappa}) \frac{dH_{\kappa}}{dh_j}$$

Из выражения (III.8) следует

$$\frac{dH_{\kappa}}{dh_j} = \frac{d}{dh_i} \sum C_{\kappa,i} h_i = C_{\kappa,j}$$

Таким образом

$$a_{\kappa j} = F'_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}) C_{\kappa,j} \quad \text{и} \quad \Delta F_{\kappa,j} = C_{\kappa,j} F_{\kappa}^{1}(\overline{H}_{\kappa}) \Delta h_j \qquad \text{(III.16)}$$

из выражений (III.14), (III.15), (III.16) находим

$$\sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,i} [F_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}) + C_{\kappa,1} F'_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}) \Delta h_1 + C_{\kappa,2} F'_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}) \Delta h_2 + \ldots,$$

$$+ C_{\kappa,n} F'_{\kappa}(\overline{H}_{\kappa}) \Delta h_n] = 0.$$

или, принимая во внимание выражение (III.13).

$$\sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,i} C_{\kappa,1} F'_{\kappa} \Delta h_1 + \sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,i} C_{\kappa,2} F'_{\kappa} \Delta h_2 + \ldots +$$

$$+ \sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,n} F_{\kappa} \Delta h_n = -S_i \qquad \text{(III.17)}$$

Придавая индексу «i» значения 1, 2...n получаем из выражения (III.17) систему уравнений поправок (III.18), из которой определяются поправки Δh_i первого приближения:

$$\left.\begin{aligned} b_{1,1}\Delta h_1 + b_{1,2}\Delta h_2 + \ldots + b_{1n}\Delta h_n &= -S_1 \\ b_{2,1}\Delta h_1 + b_{2,2}\Delta h_2 + \ldots + b_{2n}\Delta h_n &= -S_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & \\ b_{n,1}\Delta h_1 + b_{n,2}\Delta h_2 + \ldots + b_{n,n}\Delta h_n &= S_n \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III.18)}$$

где

$$b_{i;j} = \sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,i} \; C_{\kappa,j} \; F'_{\kappa} \; (\overline{H_{\kappa}}). \qquad \text{(III.19)}$$

Матрица, составленная из коэффициентов этой системы, обладает следующими свойствами:

1. Матрица — симметрична относительно главной диагонали, т. е. $b_{i,j} = b_{j,i}$

2. Все элементы главной диагонали положительны.

3. Каждый из недиагональных коэффициентов либо отрицателен, либо равен нулю. В дальнейшем будет показано, что функция $Q_{\kappa} = F_{\kappa}(H_{\kappa})$ монотонная неубывающая и, следовательно, производная $F'_{\kappa}(H_{\kappa})$ — не отрицательная во всей области своего определения.

4. Каждый из коэффициентов главной диагонали либо равен сумме модулей остальных элементов той же строки (того же столбца), либо превышает эту сумму, причем последний случай всегда имеет место не менее, чем для двух из диагональных коэффициентов.

Свойства 1 и 4 позволяют применять для решения системы (III.18) такие итерационные методы, как например метод Гаусса-Зейделя. Однако использование какого-либо из таких способов в форме, рекомендуемой для решения систем линейных уравнений, невыгодно, так как зависимость искомых поправок Δh_i ($i=1,2...n$) от известных величин невязок S_j — нелинейная, и система уравнений (III.18) достаточно точно выражает эту зависимость лишь при малых значениях невязок S_i .

Даже если систему (III.18) решать с очень высокой степенью точности, то после введения найденных поправок Δh_i,

и вычисления новых значений $Q_к$ значения модулей невязок могут уменьшиться несущественно для всех узлов одновременно (для отдельных узлов модули невязок могут даже увеличиться), если в предыдущем приближении они не были достаточно малы.

Поэтому точное решение всей системы излишне, и в настоящем руководстве рекомендуется следующий прием сведения невязок к пренебрежению малым величинам.

1. Если невязка S_i по модулю не меньше некоторой заранее принятой малой положительной величины ε, то поправка Δh_i определяется как частное от деления невязки S_i, взятой с обратным знаком, на главный (диагональный) коэффициент $b_{i,i}$ i-го уравнения системы (III. 18).

$$\Delta h_i = \frac{-S_i}{b_{i,i}}$$

Если $|S_i| < \varepsilon$, то величина h не изменяется и рассматривается невязка по $i+1$-му узлу.

2. Определяются новые значения депрессий для элементов сети, примыкающих к i-му узлу

$$H_{a-i} = \bar{H}_{a-i} + \Delta h_i$$
$$H_{i-в} = \bar{H}_{i-в} - \Delta h_i$$

3. Определяются новые значения Q для тех же элементов сети.

$$Q_к = F_к (H_к)$$

4. Определяются новые значения главных коэффициентов системы уравнений (III.18) для узлов, соединенных с i-м узлом элементами вида «a—i» или «i—b».

5. Если $i \neq n$, то рассматриваются невязки $i+1$-го узла, а если $i = n$ и хотя бы одна из невязок данного цикла вычислений по модулю больше или равна ε, что цикл определения поправок возобновляется (т. е. рассматривается невязка по 1-му узлу).

Если же $i = n$ и все S_i данного цикла по модулю меньше ε, то вычисления прекращаются. Задача решена.

Опыт показал, что сходимость описанного итерационного процесса резко улучшается, если в формуле (III. 18) при $i = j$ $b_{i,i} = \sum_{к=1}^{m} (C_{к,i})^2 Q'_к$ пользоваться вместо численного значения производной $\frac{dQ}{dH}$ отношением конечных приращений $\frac{\Delta Q_{,к}}{\Delta H_к}$

где $\Delta H_к$ и $\Delta Q_к$ разности между последовательными значениями, соответственно $H_к$ и $Q_к$.

Разумеется, замена $F'(H_к)$ на $\frac{\Delta Q_к}{\Delta H_к}$ осуществляется лишь после того, как величина $H_{а-в}$ впервые получает приращения (положительные или отрицательные) в результате введения поправки Δh_0 или $\Delta h_в$.

Дальнейшее улучшение сходимости итерационного процесса достигается добавлением к узловой матрице сети колонки, соответствующей нулевому узлу сети (табл. 15).

Такое расширение узловой матрицы означает, что вычислительный процесс начинается с определения невязки не первого, а нулевого узла.

Если эта невязка $|S_0| \geqslant \varepsilon$, то узловой депрессии h_0 нулевого узла, первоначально принятой за начало отсчета узловых депрессий (т. е. за нуль), придается значение

$$\Delta h_0 = \frac{-S_0}{\sum\limits_{к=1}^{m} (C_{к,0})^2 \, F_к(H_к)}$$

В отличие от определения понятия «узловой депрессии», данного выше, теперь это понятие определится следующим образом.

Узловой депрессией $h_а$ узла $а$ называется сумма депрессий между узлом $а$ и нулевым узлом или некоторой условной величиной.

Расширение узловой матрицы за счет добавления к ней нулевой колонки соответственно влечет за собой добавление к системе уравнений (III.18) еще одного уравнения с правой частью $-S_0$ и одного неизвестного Δh_0.

Матрица такой расширенной системы уравнений для схемы, изображенной на рис. 17, представлена табл. 16.

То, что описанный прием улучшает сходимость, подтверждается опытом практических расчетов. Однако без некоторых разъяснений сама возможность получения однозначного решения системы, матрица которой представлена табл. 16, может показаться сомнительной.

Действительно, нетрудно убедиться в том, что сумма элементов каждого из столбцов этой матрицы равна нулю, и, следовательно, определитель системы уравнений, на которую опирается весь расчет, также равен нулю. Такая система либо вовсе не имеет решений, либо имеет их бесконечное множество.

Рассмотрим вектор-столбец свободных членов.

Сумма его элементов равна взятой с обратным знаком сумме невязок по всем узлам, включая нулевой узел, т. е. принимая во внимание выражение (III.13).

Таблица 15

Код	Номера узлов (*i*)													Номера элементов сети (K)
	0	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	
0— 1	—1	1												1
0— 2	—1		1											2
0—12	—1										1			3
0—14	—1												1	4
1— 4		—1			1									5
1—11		—1								1				6
2— 3			—1	1										7
2—10			—1						1					10
3— 5				—1		1								11
3— 7				—1				1						12
4— 5					—1	1								13
4—13					—1							1		14
5— 6						—1	1							15
6—12							—1				1			16
6—14							—1						1	17
7—10								—1	1					20
7—12								—1			1			21
10—11									—1	1				22
11—13										—1		1		23
13—14												—1	1	24

Таблица 16.

	0	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14
0	$Q'_1+Q'_2+Q'_3+Q'_4$	$-Q'_1$	$-Q'_2$								$-Q'_1$		$-Q'_4$
1	$-Q'_1$	$Q'_1+Q'_5+Q'_6$			$-Q'_{15}$					$-Q'_6$			
2	$-Q'_2$		$Q'_2+Q'_7+Q'_{10}$	$-Q'_7$					Q_{10}				
3			$-Q'_7$	$Q'_7+Q'_{11}+Q'_{12}$		$-Q'_{11}$		$-Q'_{12}$					
4		$-Q'_5$			$Q'_5+Q'_{13}+Q'_{14}$	$-Q'_{13}$						$-Q'_4$	
5				$-Q'_{11}$	$-Q'_3$	$Q'_{11}+Q'_{13}+Q'_{15}$	$-Q'_{15}$						
6						$-Q'_{15}$	$Q'_{15}+Q'_{16}+Q'_{17}$				$-Q'_6$		$-Q'_{17}$
7				$-Q'_{12}$				$Q'_{12}+Q'_{20}+Q'_{21}$	$-Q'_{20}$		$-Q'_{21}$		
10			$-Q'_{10}$					$-Q'_{20}$	$Q'_{10}+Q'_{20}+Q'_{22}$	$-Q'_{22}$			
11		$-Q'_6$							$-Q'_{22}$	$Q'_6+Q'_{22}+Q'_{23}$		$-Q'_{23}$	
12	$-Q'_3$						$-Q'_{16}$	$-Q'_{21}$			$Q'_3+Q'_{16}+Q'_{21}$		
13					$-Q'_{14}$					$-Q'_{23}$		$Q'_{14}+Q'_{23}+Q'_{24}$	$-Q'_{24}$
14	$-Q'_4$						$-Q'_{17}$					$-Q'_{24}$	$Q'_4+Q'_{17}+Q'_{24}$

$$-\sum_{i=0}^{n} S_i = -\sum_{i=0}^{n} \sum_{\kappa=1}^{m} C_{\kappa,i} Q_\kappa$$

или, изменяя порядок суммирования,

$$-\sum_{i=0}^{n} S_i = -\sum_{\kappa=1}^{m} \sum_{i=0}^{n} C_{\kappa,i} Q_\kappa$$

Но в узловой матрице, дополненной нулевой колонкой, каждая строка имеет один элемент вида «—1» и один элемент вида «+1», поэтому всегда

и, следовательно, $\sum_{i=0} C_{\kappa i} Q_\kappa = -Q_\kappa + Q_\kappa = 0$

$$\sum_{i=0}^{n} S_i = 0.$$

Итак, определитель системы уравнений поправок равен нулю и сумма свободных членов этой системы также равна нулю, т. е. общее решение системы приводит к неопределенности вида О:О. Если задаться значением какого-либо одного из неизвестных Δh_i, исключить из системы i-ое уравнение и перенести в правую часть члена $b_{\kappa,i}\Delta h_i$, то получим систему с определителем, заведомо отличным от нуля.

Таким образом, хотя система уравнений поправок (III.18) имеет бесчисленное множество решений, можно получить определенное решение, если принять (хотя бы и произвольно) значение какого-либо одного из неизвестных, например Δh_0.

Именно это и происходит в начале каждого итерационного цикла, когда определяется поправка.

$$\Delta h_0 = \frac{-S_0}{\sum_{\kappa=1}^{m} (C_{\kappa,0})^2 F'_\kappa (H_\kappa)}$$

Правда, если задаваться двумя различными системами исходных значений узловых депрессий, то решения получатся в виде двух различных систем:

$h_0{}^{(1)} h_1{}^{(1)}; \ldots h^{(1)}{}_n$ и $h_0{}^{(2)}, h_1{}^{(2)}, \ldots h^{(2)}{}_n$

Но разность $d = h^{(2)}{}_i - h^{(1)}{}_i$ для всех значений индекса i будет постоянной и равной $d = h_0{}^{(2)} - h_0{}^{(1)}$.

Поэтому значение величины депрессии $H_{a-в}$ между любыми двумя узлами a и $в$ получится в обоих случаях одно и то же

$$H_{a-в} = h^{(2)}{}_в - h^{(2)}{}_a = (h^{(1)}{}_в + d) - (h^{(1)}{}_a + d) = h^{(1)}{}_в - h_0$$

Смысл введения дополнительного уравнения и новой неизвестной Δh_0 в систему уравнений поправок заключается в том, что таким путем в начале каждого цикла итерационного процесса устраняется (или во всяком случае, значительно уменьшается) невязка по точкам входа воздуха в сеть и выхода его из сети, т. е. балансируются количества воздуха, поступающего в шахту и исходящего из шахты. Введение неизвестной образует скользящее начало отсчета узловых депрессий. Если же не применять этого приема, то воздух по подающим и выдающим стволам балансируется крайне медленно.

Следует заметить, что величины узловых депрессий h_0, h_1, . . . , h_n в ходе расчета и в окончательных результатах не фиксируются, а используются лишь в подготовительной стадии расчета для получения согласованной системы исходных значений депрессий всех элементов сети

$$H_{a-в}=h_в-h_a.$$

В итерационных циклах фигурируют лишь величины поправок, от которых, минуя операцию вычисления нового значения узловой депрессий $h_i^{z+1}=h^z_i+\Delta h_i$, переходят к непосредственному вычислению новых значений величин депрессий элементов сети, примыкающих к i-му узлу,

$$H^{z+1}_{a-i}=H^z_{a-i}+\Delta h_i \text{ и } H^{z+1}_{i-в}=H^z_{i-в}-\Delta h_i.$$

Очевидно, согласованность величин депрессий элементов сети при этом не нарушается.

После того, как получены новые значения депрессий для элементов сети с наименованием вида $a—i$ и $i—в$, определяются новые значения расходов воздуха для этих же элементов по их характеристикам

$$Q_к=F_к(H_к).$$

Для пассивных элементов (не содержащих вентиляторов) такой характеристикой является выражение:

$$Q_к=F_к(H_к)=sign(H_к)\frac{1}{\sqrt{R}}\sqrt{|H_к|}, \qquad (III.20)$$

где символ $sign\ (H_к)$ означает: (+), если $H_к\geqslant 0$ и (—), если $H_к<0$.

Для активных элементов (вентиляторов) характеристика обычно задается графически. Если расчет выполняется на ЭВМ, то удобно иметь аналитическое выражение также и для характеристик вентиляторов. Поэтому рабочий участок характеристики аппроксимируется посредством выражения

$$Q=sign\ (H_к-H_0)\ A\sqrt{|H-H_0|}-Q_0. \qquad (III.21)$$

Выражение (III.21) переходит в (III.20), если

$$H_0=0;Q_0=0;\quad A=\frac{1}{\sqrt{R}}$$

Таким образом, как для активных, так и для пассивных элементов сети получаем одно и то же общее выражение аэродинамической характеристики (III.21), что упрощает программирование.

Параметры Q_0, A и H_0, входящие в выражение (III.21), определяются следующим образом. На рабочем участке характеристики вентилятора (рис. 18) берутся три точки M_1 (H_1, Q_1), M_2 (H_2, Q_2), M_3 (H_3, Q_3); причем положение средней точки M_2 определяется так, чтобы ее ордината Q_2 располагалась строго по середине между ординатами точек M_1 и M_3, т. е. $Q_2-Q_1=Q_3-Q_2$.

Параметры H_0, A и Q_0 определяются через координаты точек M_1, M_2, M_3.

$$Q_0=\frac{Q_1+Q_2-Д\ (Q_2+Q_3)}{2\ (1-Д)} \qquad \text{(III.22)}$$

$$A=\frac{Q_3-Q_2}{\sqrt{2(2H_2-H_1-H_3)}}$$

$$H_0=H_1+\frac{1}{A^2}(Q_1-Q_0)^2=H_2+\frac{1}{A^2}(Q_2-Q_0)^2=H_3+$$

$$+\frac{1}{A^2}(Q_3-Q_0)^2,$$

$$Д=\frac{H_1-H_2}{H_2-H_3}$$

Элементы сети, по которым воздух поступает в сеть или выходит из сети, имеют наименование вида 0—*в* т. е. за положительное направление движения воздуха всегда принимается направление нулевого узла к узлу «*в*» независимо от того, представляет ли собой элемент «0—*в*» подающий ствол, скважину, шурф или всасывающий вентилятор. Поэтому при нормальной работе всасывающего вентилятора проходящее через него количество воздуха выразится отрицательным числом.

На рис. 18. сплошной линией представлена фактическая характеристика вентилятора.

Участок ее M_1, M_2, M_3 более или менее точно аппроксимирован выражением (III.21).

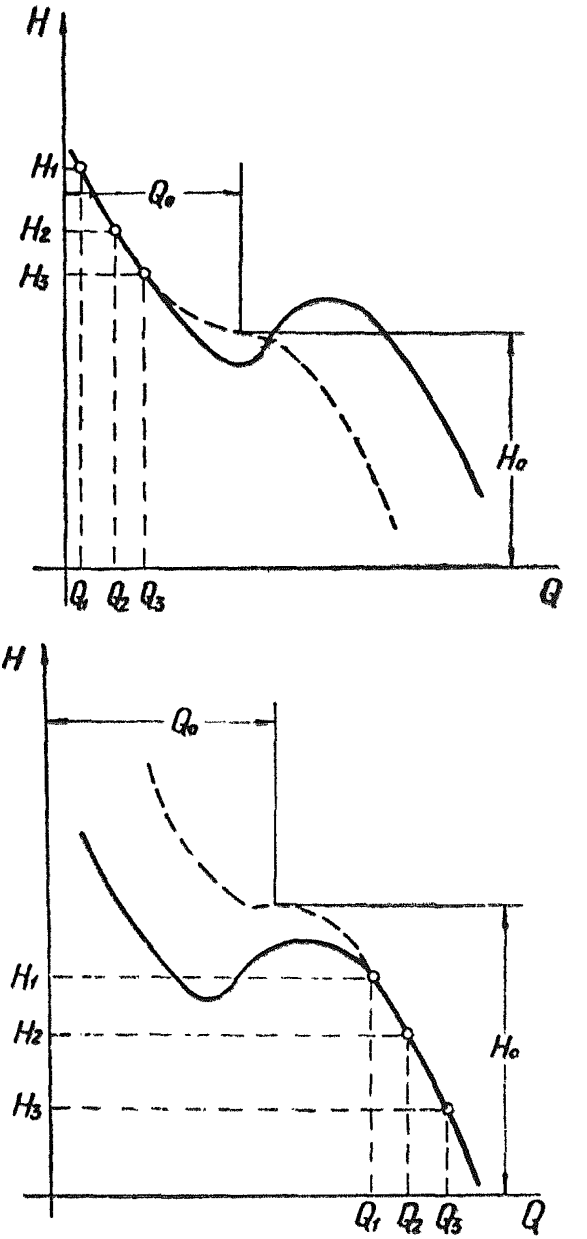

Рис. 18. Аппроксимация характеристики вентилятора.

За пределами участка M_1, M_2, M_3 аппроксимирующая кривая может резко не совпадать с фактической характеристикой. Если в результате расчета окажется, что режим работы вентилятора определяется точкой, расположенной вне зоны удовлетворительного совпадения расчетной и фактической кривых, то следует выбрать для интерполяции другие точки. В частности, может оказаться, что точка фактического режима расположена на первой нисходящей ветви характеристики. Хотя такая работа вентилятора не должна допускаться как неэкономичная, случаи такие наблюдаются, так что с этим приходится считаться. Рис. 18, б дает представление о том, как в этом случае следует выбирать узлы интерполяции M_1, M_2, M_3, о геометрическом смысле параметров Q_0 и H_0 и о том, как будет выглядеть аппроксимирующая кривая вне зоны аппроксимации.

Подготовка к расчету складывается из следующих операций:

I. По заданному коду сети составляется узловая матрица сети, включающая колонку нулевого узла.

II. Определяются параметры H_0, Q_0, A аэродинамических характеристик всех элементов сети.

Для вентиляторов эти параметры определяются из выражений (III.22), а для пассивных элементов сети $H_0=0$; $Q_0=0$; $A=\frac{1}{\sqrt{R}}$, где R — аэродинамическое сопротивление.

III. Принимается исходная система значений узловых депрессий h_i $(i=1,2, \ldots, n)$. Эти величины могут быть выбраны совершенно произвольно, однако, чем ближе будут к истинным значениям, тем быстрее будет сходиться итерационный процесс. Для нулевого узла принимается исходное значение $h_0=0$.

IV. Определяются исходные значения депрессий элементов сети

$$H_к=H_{а-в}=h_в-h_а$$

Эти величины могут резко расходиться с данными депрессионной съемки, но если аэродинамические сопротивления определены достаточно точно, то значения $H_к$, полученные в результате расчета, будут близки к истинным.

V. Определяются численные значения величин потоков воздуха для всех элементов сети.

$$Q_к=sign\ (H_к-H_{0,к})A_к\sqrt{|H_к-H_{0,к}|}-Q_{0,к}$$

VI. Вычисляются численные значения производных

$$Q^{1}{}_{к}=\frac{dQ}{dH_{к}}=\frac{A_{к}}{2\sqrt{|H_{к}-H_{0.к}|}}$$

Заметим, что всегда $Q^{1}{}_{к}\geqslant 0$.

VII. В оперативную память ЭВМ вводятся массивы величин $H_{к}$, $Q_{к}$, $Q^{1}{}_{к}$, $A_{к}$ записывается узловая матрица сети и вводится программа расчета.

После того, как перечисленные подготовительные операции I-VII выполнены, начинается циклический вычислительный процесс. Ход его схематически представлен на рис. 19.

Обозначения, принятые на этой схеме, требуют некоторых пояснений.

Знак (: =) расшифровывается как «придание значения». Например, $K:=K+1$ означает: ранее принятое значение числа K увеличивается на единицу $Q^{I}{}_{к}:=Q^{II}{}_{к}$ означает: величине $Q^{I}{}_{к}$ придается значение, принятое для $Q^{II}{}_{к}$ и т. п. j — признак, которому в начале цикла, представленного блок-схемой, придается значение 0. Это значение признака j сохраняется лишь до тех пор, пока по какому-либо i-му узлу модуль невязки $|S_{i}|=\sum_{к=1}^{m}C_{к,i}Q_{к}$ не превысит некоторого, заранее принятого положительного числа «ε». Как только это произойдет, признаку j придается значение I.

Если на каком-то z-ом цикле условие $|S_{i}|<\varepsilon$ выполняется для всех n_{e} узлов, то признак j сохраняет значение 0 в продолжение всего z-го цикла, что и служит сигналом к прекращению вычислений и выдаче на печать результатов.

Если же на z-ом цикле после подсчета невязки по последнему (n-му) узлу окажется, что $j=1$, то это будет означать, что хотя бы для одного из узлов на z-ом цикле невязка S_{i} оказалась не менее ε по модулю. В этом случае цикл возобновляется, т. е. снова подсчитываются невязки по 0-му, 1-му и т. д. узлам, причем перед началом $z+1$-го цикла признаку j снова придается значение 0, где i — номер узла сети или колонки узловой матрицы; K — номер элемента сети или строки узловой матрицы; $C_{к,i}$ — элемент узловой матрицы.

Программа расчета, предлагаемая в настоящем руководстве, предназначается, в первую очередь, для решения задачи свободного распределения воздуха. Однако без каких-либо изменений она может быть использована и для некоторых других задач.

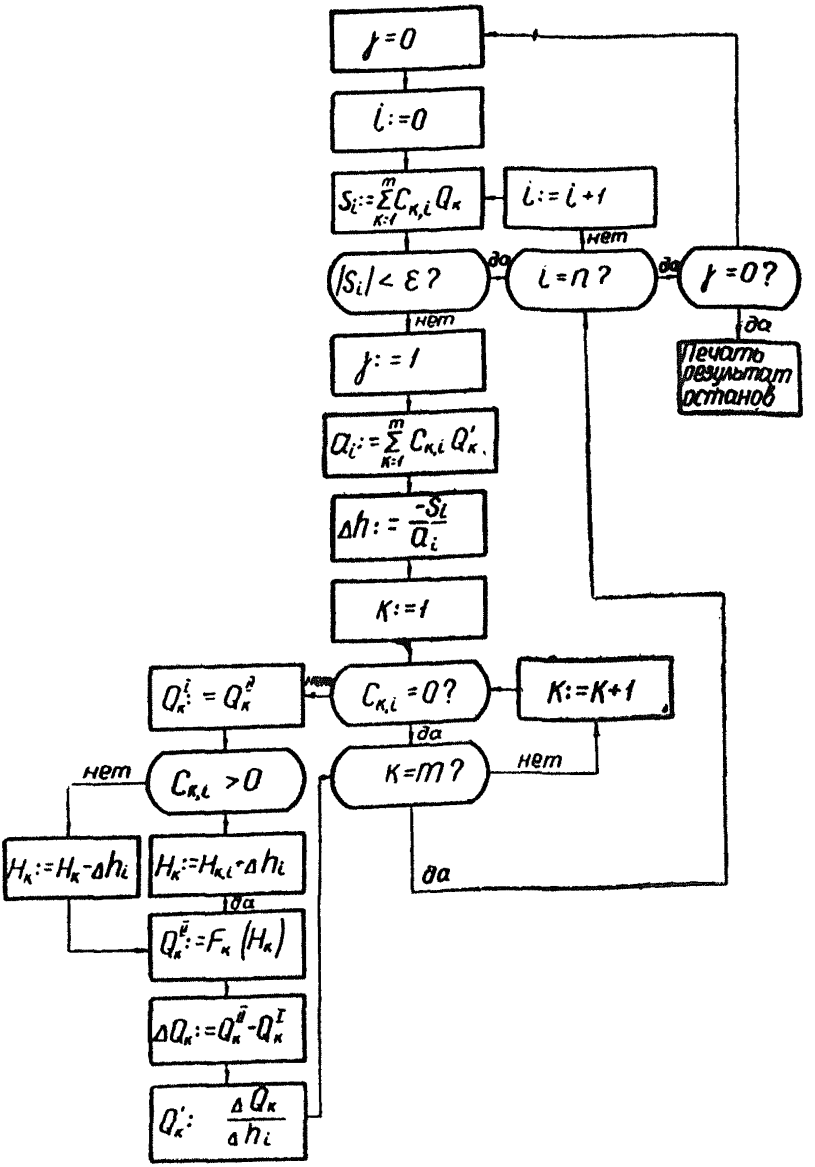

Рис. 19. Блок-схема циклического вычислительного процесса.

Пусть, например, требуется определить, какой аэродинамической характеристикой должен обладать k-й элемент сети, чтобы по этому элементу пошло заданное количество воздуха $Q=q$.

Примем сначала для параметров характеристики (III.21) k-го элемента сети значения

$$A_к = 0;\ H_к = 0;\ Q_{0,к} = -q.$$

Очевидно, в ходе расчета величина $Q_к$ будет сохранять постоянное значение $Q_п = q$. Депрессия же $к$-го элемента будет от цикла к циклу меняться, пока не достигнет искомого значения.

Если $к$-й элемент сети пассивный, то

$$R_к = \frac{|H_к|}{q^2}$$

или

$$A = \frac{|b|}{\sqrt{|H_к|}}$$

Если же $к$-й элемент сети — вентилятор, то заданная величина q и найденная расчетным путем величина $H_к$ определяет режим его работы.

Задаваясь различными значениями $Q_к$ и получая каждый раз расчетным путем соответствующие значения $H_к$. можно найти любое количество точек «условной характеристики сети по данному ее стволу», т. е. кривой, выражающей зависимость количества воздуха, проходящего по этому стволу от депрессии, развиваемой у его устья, при условии, что вентиляторы, установленные на остальных стволах, работают на заданных характеристиках.

Если сеть проветривается одним вентилятором, то выбор его не труден, так как в этом случае сеть имеет характеристику, однозначно определяемую ее аэродинамическим сопротивлением.

Но при работе нескольких вентиляторов понятие «сопротивление сети» теряет смысл, так как режим работы каждого из вентиляторов зависит не только от сопротивлений пассивных элементов сети, но и от характеристик, на которых работают остальные вентиляторы.

В этом случае при выборе вентилятора для $к$-го ствола следует воспользоваться условной характеристикой сети по $к$-му стволу.

Положим, что кривая $abcd$ (рис. 20) представляет собой условную характеристику сети по $к$-му стволу, а точкой d определяется требуемый режим работы вентилятора, который должен быть установлен на этом стволе.

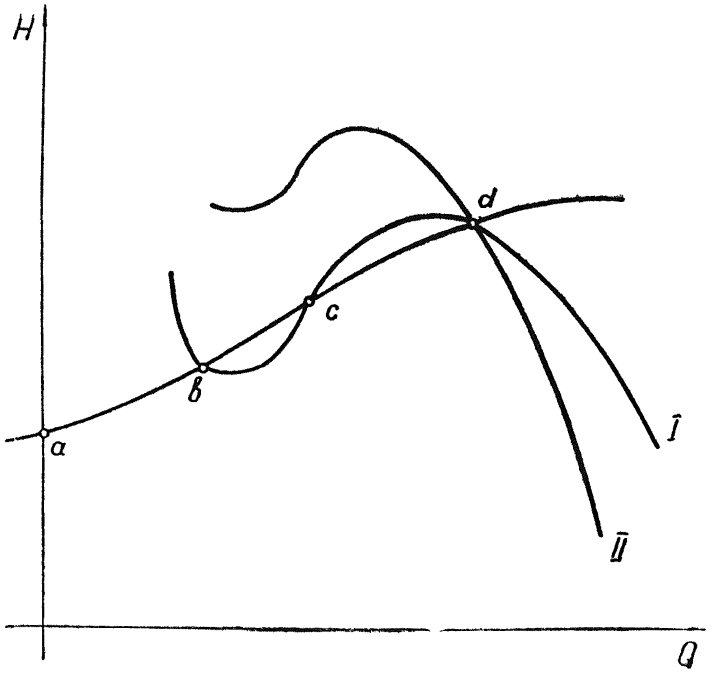

Рис. 20. Построение характеристики сети при совместной работе вентиляторов

Эту точку содержат характеристики вентиляторов I и II, но характеристика I пересекает условную характеристику сети еще в двух точках *в* и *с* тогда как характеристика II не имеет других точек пересечения с условной характеристикой сети, т. е устойчивая работа обеспечивается с характеристикой II.

III.5. Применение метода узловых матриц при нагнетательном способе проветривания

При решении задачи естественного распределения методом узловых матриц код элемента сети, представляющий собой поверхностный вентилятор, имеет вид $Q—i$ (i — номер узла, к которому присоединен вентилятор). За положительное направление движения воздуха принято направление от 0 к i.

Если вентилятор работает на всасывание и режим его работы лежит в пределах кривой, представленной на рис. 18, то депрессия его всегда положительна, а производительность — отрицательна, так как воздух фактически должен идти от узла i к узлу 0, а положительным считается обратное направление.

Если вентилятор работает на нагнетание в нормальном режиме, то воздух идет от узла 0 к узлу i, то есть $Q>0$; а $H<0$.

Поэтому для нагнетательного вентилятора в выражении (III.21) следует H заменить на $-H$.

$$Q=-sign(-H-H_0)\frac{1}{\sqrt{R}}\sqrt{|-H-H_0|}+Q_0$$

или

$$Q=sign(H+H_0)\frac{1}{\sqrt{R}}\sqrt{|H+H_0|}-Q_0 \qquad \text{(III.23)}$$

Сравнивая выражения (III.21) и (III.22), видим-производительность всасывающих и нагнетательных вентиляторов вычисляют по различным аглоритмам, что требует включения в программу новых блоков.

Чтобы избежать этого, можно поступить следующим образом.

Параметры R, H_0, и Q_0, определяемые при аппроксимировании типовой характеристики вентилятора, оставляем неизменными, независимо от характера работы вентилятора, а вместо выражений (III.21) и (III.23) примем общее выражение

$$Q=sign(H-C)\frac{1}{\sqrt{R}}\sqrt{|H-C|}-B, \qquad \text{(III.24)}$$

в котором для всасывающего вентилятора $C=H_0$; $B=Q_0$, а для нагнетательного $C=-H_0$; $B=-Q_0$.

Связь между депрессиями узлов a и $в$ и депрессией элемента a—$в$ при любом способе проветривания определяется выражением

$$H_{a-в}=h_в-h_a$$

При всасывающем проветривании величины узловых депрессий для всех узлов сети положительны, при нагнетательном проветривании — отрицательны, при комбинированном проветривании — могут быть и положительными и отрицательными. В общем случае узловые депрессии можно всегда принимать положительными, возрастающими по ходу движения воздуха.

III. 6. Применение метода узловых матриц при учете естественных депрессий

При действии в сети естественных депрессий расчет сети на ЭВМ с использованием метода узловых матриц имеет свои особенности. После внесения в расчетную схему естественной тяги комбинацией условных вентиляторов в отдельных ветвях появляются источники с характеристиками $h=const$. Выражение (III.20) такую характеристику не описывает. Для того, чтобы не менять программу, используют понятие активизированной ветви. Два последовательных элемента: ветвь и включенный в нее условный вентилятор — представляются как один с суммарной характеристикой.

Пусть ветвь имеет характеристику $h=RQ^2$ (рис. 21), условный вентилятор, включенный в нее встречно, характеристику $+h_e$, а попутно $-h_e$. Тогда при попутном включении суммарная (активизированная) характеристика ветви выразится RQ^2-h_e, а при встречном — RQ^2+h_e. Обратный знак перед h_e при совпадении направления его действия и обхода контура вытекает из второго закона сетей. Характеристика RQ^2+h_e (рис. 20) представляет собой параболу с вершиной, не проходящей через 0. Выражение (III.21) описывает параболу, вершина которой лежит в точке с координатами H_0 и Q_0. В случае активизированной характеристики $H_0=\pm h_e$, $Q_0=0$. Следовательно выражение (III.21) примет вид:

при включении условного вентилятора, попутно предполагаемому движению струи $Q=sign(H+H_e)\ A\sqrt{H+H_e}$,

при встречном $Q=sign(H-H_e)\ A\sqrt{H-H_e}$.

Величина H в данном случае равна $H=h_в-h_а$,

где $h_а$ и $h_в$ — соответственно первоначально принятые условные депрессии в точках, ограничивающих ветвь.

При анализе результатов расчета сети не следует забывать, что в контуре с естественной тягой сумма депрессий ветвей равна h_e, а не 0.

III.7 Распределение оперативной памяти под промежуточные данные

$$\left.\begin{matrix}6500\\6500+M-1\end{matrix}\right\}\quad \sigma_i\ \delta_i\Delta_i\ n_i (i=0,1,\ \ldots,\ M\text{-}1).$$

Переменные: σ_i записывается в знаковом разряде;
δ_i записывается в разрядах 1-12;
Δ_i записывается в разрядах 13-24;
n_i записывается в разрядах 26-36;

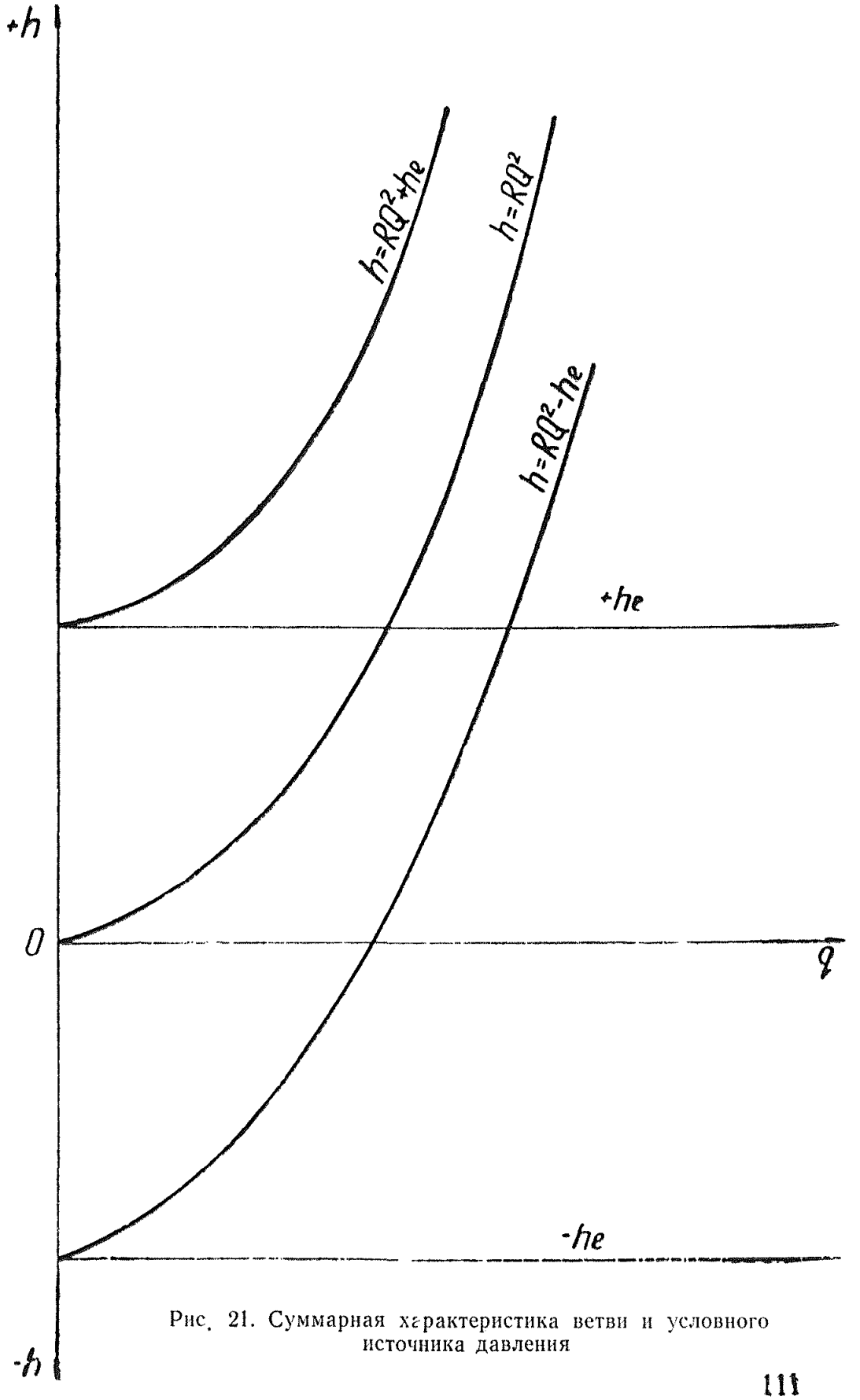

Рис. 21. Суммарная характеристика ветви и условного источника давления

Начиная с ячейки 1 0000, записывается матрица связи элементов и узлов сети. Эта матрица состоит из последовательности столбцов, каждый из которых соответствует одному из узлов сети.

Структура столбца, соответствующего i-му узлу сети, имеет следующий вид

τ_1 n_i—1 0000 η_1

τ_2 00000000 η_2

— —

τ_{n_i} 00000000 η_{n_i}

Здесь n_i — количество элементов, сходящихся в i-м узле;

$\eta_1, \ . \ . \ . \ , \eta_{n_i}$ — номера элементов, сходящихся в данном узле;

величины $\tau_1, \ . \ . \ . \ , \tau_{n_i}$, записываемые в знаковом разряде, являются признаком того, входит ($\tau=1$) ли поток воздуха в данный элемент из данного узла или выходит ($\tau=0$).

Работа программы состоит из трех этапов:

1 — перевод из 10 с/с в 2 с/с и вывод на узкую печать исходных данных;

2 — формирование и вывод на узкую печать промежуточных величин;

3 — увязка сети и вывод на узкую печать депрессий и потоков воздуха.

Исходные данные

0,100)	N — 1	0000	0000	N — к-во элементов
1)	M—1	0000	0000	M — к-во узлов
2)		ε		ε — точность
3)	n_1	i_1	0000	i_v ($V=1, \ . \ . \ . \ ,$ P) — начальные
4)	n_2	i_2	0000	номера выводимых результатов
			n_v ($V=1, \ . \ . \ .$,P) —к-во	
	n_p	i_p	0000	выводимых результатов

1000 … 1000+N — 1 — α_j β_j — код сети ($j=0,1, \ . \ . \ . \ , N-1$)

2100 … 2100+N — 1 — H_j — депрессия элементов ($j=0,1, \ . \ . \ .$, № 1)

3200 3200+N— i	A_j	— проводимости элементов (j=0,1,..., N—1)
4300 4300+N—1	Q^0_j	$\gamma_1,\ldots,\gamma_{36}$ —36 разрядный клавишный набор

III.8. Анализ совместной работы вентиляторов главного проветривания

Выше указывалось, что при работе нескольких вентиляторов на общую сеть понятие «сопротивление сети» теряет смысл. По той же причине нельзя говорить о «параллельной работе вентиляторов», а можно лишь говорить о совместной их работе.

Пользуясь прилагаемой программой, можно определить степень влияния источников тяги друг на друга.

Для этого достаточно построить условную характеристику (рис. 20) *a*, *в*, *c*, *d*; т. е. получить в результате решения точки *a*, *в*, *c*, *d*.

Порядок получения этих точек следующий. Допустим, на сеть работает два источника тяги с индивидуальными характеристиками I и II (рис. 20), рабочие части которых аппроксимируются выражением (III.21).

Необходимо исследовать, как влияет вентилятор II при его нормальной работе на вентилятор I:

1) вентилятор I выдает из шахты $Q_0=0$ $м^3/с$ воздуха, т. е. получаем точку *a*, для чего достаточно в выражении (III.20) принять $Q_0=-a=0$, $A=0$ и $H-H_0=H$ точки подсоединения I.

2) вентилятор I выдает из шахты $Q=в$ $м^3/с$, т. е. получаем точку *в* (в выражении (III.21) $Q_0=-в$, $A=O$, $H-H_0=H$ узла).

3) вентилятор I выдает из шахты $Q=c$ $м^3/с$, т. е. получаем точку с (очевидно, что в (III.21) $Q_0=-c$, $A=0$ и $H-H_0=H$ узла).

4) этим способом получаются и координаты точки *d*.

Соединив точки, получим условную характеристику влияния сети и вентилятора II на вентилятор I.

При решении всех этих вариантов характеристика вентилятора II задавалась каждый раз выражением (III.21).

Ордината точки а, очевидно, выражает глубину влияния II вентилятора на I и имеет следующий фактический смысл. Вентилятор I должен развить депрессию $H_0=a$ при работе II вентилятора для того, чтобы воздух через него не поступал в шахту под действием II вентилятора.

Наклон кривой a, $в$, c, d зависит от аэродинамических свойств элементов, образующих общую сеть.

Очевидно, что описанный метод пригоден для любой сети с практически неограниченным числом источников тяги.

Очевидно также, что совмещая условную характеристику сети с индивидуальными характеристиками различных вентиляторов, можно выбрать источник тяги.

В практике решения различных задач иногда возникает необходимость либо введения в сеть некоторых элементов, либо их исключения (как активных, так и пассивных). Выгодным отличием предлагаемой программы является то, что она позволяет это делать практически без предварительной подготовки. Так для того, чтобы исключить какой-либо элемент (пассивный) достаточно в таблице исходной информации в соответствующей ячейке принять $A=0$ (это, очевидно, можно осуществить непосредственно с пульта машины); если же исключается активный элемент, то кроме этого принимается $Q_0=0$ и $H-H_0=H$ узла.

Размерность задачи при этом сохраняется.

Для того, чтобы дополнительно ввести какой-либо элемент, необходимо заполнить ближайшие сводные ячейки во всех массивах по правилу, описанному ниже в примере решения задачи свободного распределения воздуха. Разумеется, что в этом случае изменяется размерность задачи.

III.9. Пример решения задачи свободного распределения воздуха

Для решения необходимо в оперативную память машины «Минск-22» ввести исходную информацию в программу счета (приложение 3).

Вся необходимая для этой цели информация записывается в 4-х массивах первого блока. Размер каждого массива составляет 1100 в восьмеричной системе.

1-й массив — начальный адрес 1000 — отведен для записи кода сети.

2-й массив — начальный адрес 2100 — отводится для записи начальных депрессий элементов сети.

В 3-м массиве, начиная с адреса 3200, записываются аэродинамические проводимости элементов.

4-й массив — начальный адрес 4300 — признаковый массив, где записываются свободные члены выражения (III.21). По этому признаку пассивные элементы сети (не содержащие источников тяги) отличаются машиной от активных элементов.

В результате решения получаются значения Q ($м^3/с$) и H (*мм вод. ст.*) для каждого элемента сети, отвечающие с за-

данной степенью точности двум законам потокопроводящих сетей. Результаты решения записываются в 1-м блоке и 2-х массивах: 2100 — H (*мм вод. ст.*) и 1000 Q $м^3/с$ и выдаются на «узкую печать».

Опишем далее порядок заполнения каждого массива.

2. Массив кода сети

В этом массиве, начиная с адреса 1000, записывается упорядоченный код вентиляционной сети. Способ кодирования и порядок заполнения массива для простоты изложения покажем на конкретном примере.

На рис. 22 представлена схема вентиляционных соединений шахты «Шаханская» комбината «Карагандауголь».

Каждому узлу вентиляционной сети присваивается свой номер (не допускается пропуск либо повторение номеров) таким образом, чтобы направление движения воздуха, принятое за положительное, по любому элементу совпадало с возрастанием номеров. Достичь такой расстановки номеров нетрудно, если придерживаться следующего правила: узлу присваивается номер только в том случае, когда входящие в узел элементы уже обозначены с одной стороны.

Вполне очевидно, что нулевой узел расположен на поверхности.

Так, в приведенном номере нулевой узел (поверхность) связан посредством элементов 0-1, 0-4, 0-5, 0-6, 0-7, 0-10, 0-54, 0-56, 0-112 с узлами 1, 4, 5, 6, 7, 10, 54; 56; 112. Среди этих элементов 0-10, 0-56, 0-112 являются активными (т. е. в узлах 10, 56, 112 к сети подключены источники тяги).

Узел 1 связан с узлами 2 и 3, 2-й с узлами 3 и 22 и т. д. Проследить эти связи по схеме вентиляционных соединений нетрудно.

Столбец 3 табл. 17 представляет собой упорядоченную запись кода сети. Записанный таким образом код сети подготовлен к перфорации.

Из табл. 17 видно, что задача имеет следующую размерность: число элементов в восьмеричной системе исчисления $m=260$, число узлов в восьмеричной системе $n_8=160$ ($112_{10}=160_8$).

Запятая между цифрами, обозначающими узлы вентиляционной сети (в столбце кода сети) машиной воспринимается как соответствующая связь.

По коду составляется таблица соответствия узлов и элементов сети (машинная запись узловой матрицы сети), которая записывается во 2-м блоке, начиная с нулевой ячейки.

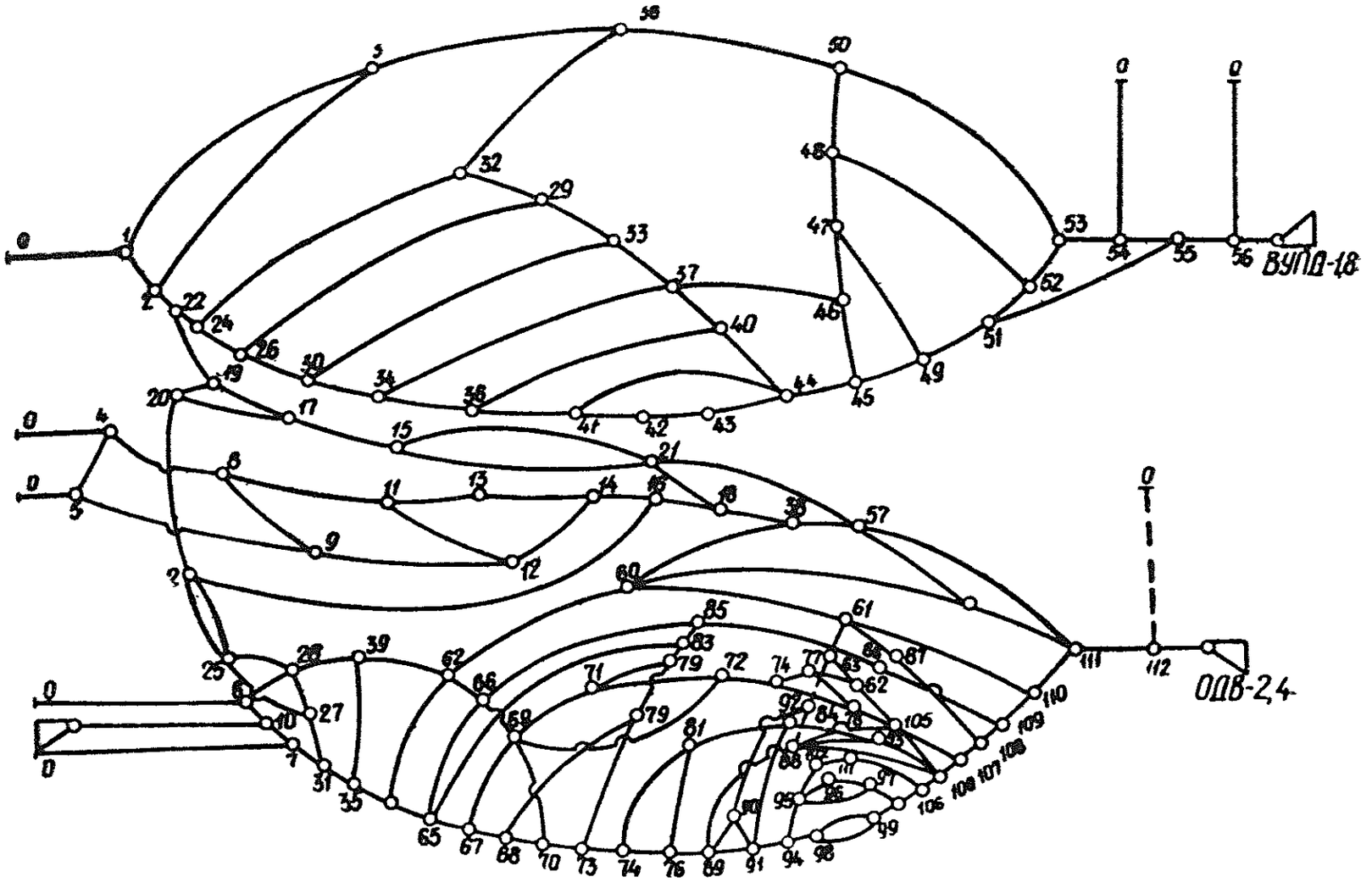

Рис. 22. Расчетная схема вентиляционной сети.

2. Массив начальных депрессий

Основным требованием алгоритма является выбор таких начальных депрессий элементов сети, которые строго отвечают требованиям 2-го закона сетей. Получить такую согласованную систему депрессий нетрудно, если иметь, как доказано в 1-м разделе, принятую систему узловых депрессий. Практика показала, что чем ближе значения узловых депрессий к истинным (по действующим шахтам), тем быстрее сходится процесс вычисления. Обычно за начальные узловые депрессии принимаются значения, определенные как средние из результатов непосредственных замеров. Имея значения принятых узловых депрессий, начальные депрессии элементов определить нетрудно как разницу между значениями узловых депрессий узлов, ограничивающих элемент. Так депрессия элемента 0-1 равна разнице между узловыми депрессиями 1-го и 0-го узла, элемента 1—2, 2-го и 1-го и т. д. (возможны и отрицательные значения начальных депрессий элементов).

Разумеется, необходимо проследить по начальным узловым депрессиям, чтобы в каждом узле вентиляционной сети был минимум один вход и один выход воздушной струи, в противном случае понятие «узел» теряет свой смысл. Начальные депрессии, вычисленные таким образом, записываются во втором массиве 1-го блока, начиная с адреса 2100 (столбец 5, табл. 17).

Строки, в которые записаны активные элементы сети, заполняются по особому правилу: здесь записывается не начальная депрессия элемента, а начальная разница между узловой депрессией точки подсоединения вентилятора и значением H_0, определенным из выражения (III.22). Заметим, что в результате решения на печать для активных элементов выдается не депрессия вентилятора H, а некоторая величина $Z=H-H_0$, откуда депрессия будет равна:

$$H=Z+H_0$$

3. Массив аэродинамических проводимостей

Величина $\frac{1}{\sqrt{R}}=A$ в выражении (III.21) нами названа аэродинамической проводимостью (обратная величина корню квадратному из значения аэродинамического сопротивления).

Для активных элементов «А» определяется из выражения (III.22).

Вычисленные таким образом значения аэродинамических проводимостей записываются в 3-м массиве первого блока (начиная с адреса 3200). Запись этого массива дана в табл. 17, столбец 7.

Таблица 17

№№ пп.	Адрес	Код сети	Адрес	H	Адрес	A	Адрес	Q_0	Результаты решения	
									$м^3/с$	мм. вод. ст.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1000)	0,1	2100)	4,2	3200)	20,75	4300)		46,21	4,96
1	1	0,4	1	6,1	1	9,43	1		20,95	4,93
2	2	0,5	2	7,37	2	4,22	2		10,86	6,62
3	3	0,6	3	4,9	3	6,89	3		20,14	8,54
4	4	0,7	4	9,0	4	8,35	4		24,05	8,29
5	5	0,10	5	7,0	5	0	5	+ 2,0	— 2,0	8,66
6	6	0,54	6	44,67	6	0,179	6		1,32	54,15
7	7	0,56	7	—252,65	7	1,85	7	H—404,65	—47,84	$H_в$=152
10	1010)	0,112	2110)	312,60	3210)	0	4310)	+73,78	—73,78	$H_в$=311,9
1	1	1,2	1	6,45	1	19,55	1		44,35	5,15
2	2	1,3	2	11,07	2	0.57	2		1,80	9,96
3	3	2,3	3	4,62	3	4,40	3		9,67	4,83
4	4	2,22	4	2,85	4	24,9	4		34,58	1,93
5	5	3,36	5	4,4	5	5,85	5		11,45	3,83
6	6	4,5	6	1,27	6	0,61	6		0,79	1,68
7	7	4,8	7	4,80	7	10,84	7		20,04	3,42
20	1020)	5,9	2120)	2,52	3220)	8,81	4320)		11,61	1,74
1	1	6,10	1	2,10	1	6,13	1		2,06	0,11
2	2	6,28	2	11,85	2	8,85	2		18,02	4,15
3	3	7,10	3	—2,00	3	0,061	3		0,03	0,36
4	4	7,31	4	3,60	4	11,25	4		23,91	4,52
5	5	8,9	5	—1,01	5	3,52	5		0,13	0,0013
26	1026)	8,11	2126)	2,40	3226)	15,64	4326)		19,8	1,60
7	7	9,12	7	2,15	7	9,3	7		11,64	1,57
30	1030)	11,12	2130)	—1,26	3230)	7,50	4330)		— 1,40	— 0,03
1	1	11,13	1	1,45	1	21,28	1		21,21	0,99
2	2	12,14	2	3,03	2	8,17	2		10,14	1,54

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	3	13,14	3	0,32	3	2,59	3		1,85	0,51
4	4	13,15	4	0,95	4	19,29	4		19,25	1,0
5	5	14,16	5	2,40	5	8,47	5		11,89	1,97
6	6	15,17	6	0,10	6	32,56	6		8,32	0,06
7	7	15,21	7	11,75	7	3,31	7		10,84	10,72
40	1040)	16,18	2140)	6,63	3240)	4,86	4340)		14,03	8,36
1	1	16,23	1	—1,42	1	2,04	1		— 2,16	— 1,12
2	2	17,19	2	0,10	2	32,03	2		6,19	0,04
3	3	17,20	3	0,15	3	4,58	3		2,02	0,20
4	4	18,21	4	3,35	4	0,90	4		0,84	0,88
5	5	18,58	5	5,50	5	7,28	5		13,15	3,26
6	6	19,20	6	0,05	6	18,15	6		7,21	0,16
7	7	19,22	7	—2,4	7	10,02	7		— 7,13	— 0,01
50	1050)	20,23	2150)	0,1	3250)	29,50	4350)		0,21	0,10
1	1	21,57	1	0,65	1	8,26	1		11,61	1,98
2	2	22,24	2	1,80	2	24,94	2		33,44	1,80
3	3	23,25	3	0,30	3	13,58	3		6,93	0,26
4	4	24,26	4	1,35	4	24,12	4		25,26	1,10
5	5	24,32	5	3,10	5	4,90	5		8,11	2,70
6	6	25,27	6	0,10	6	26,51	6		5,99	0,05
57	1057)	25,28	2157)	0,4	3257)	2,45	4357)		0,86	0,01
60	1060)	26,29	2160)	0,6	3260)	7,54	4360)		5,70	0,48
1	1	26,30	1	0,95	1	25,30	1		19,99	0,62
2	2	27,28	2	0,3	2	3,15	2		0,83	0,07
3	3	27,31	3	—3,85	3	11,34	3		5,02	0,20
4	4	28,39	4	6,55	4	6,63	4		14,64	8,77
5	5	29,32	5	0,95	5	0,72	5		0,76	1,12
6	6	29,33	6	1,25	6	6,91	6		4,46	0,42
7	7	30,33	7	0,9	7	8,90	7		4,62	0,27
70	1070)	30,34	2170)	0,35	3270)	34,56	4370)		15,39	0,20

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	I	31,35	1	8,4	1	9,93	1		28,86	8,44
2	2	32,36	2	1,01	2	5,99	2		8,96	2,24
3	3	33,37	3	0,1	3	15,92	3		9,16	0,33
4	4	34,37	4	0,65	4	9,20	4		5,84	0,40
5	5	34,38	5	0,65	5	20,37	5		9,66	0,22
6	6	35,39	6	2,3	6	15,53	6		7,01	0,20
7	7	35,64	7	7,32	7	8,20	7		21,94	7,16
100	1100)	36,50	2200)	5,18	3300)	8,84	4400)		20,40	5,33
1	1	37,40	1	0,1	1	9,85	1		1,60	0,03
2	2	37,46	2	3,42	2	5,19	2		13,49	6,75
3	3	38,40	3	0,1	3	7,87	3		3,56	0,20
4	4	38,41	4	0,4	4	10,55	4		6,21	0,35
5	5	39,62	5	8,4	5	10,14	5		26,64	6,90
6	6	40,44	6	0,8	6	9,67	6		5,19	0,29
7	7	41,42	7	0,2	7	9,94	7		2,04	0,04
110	1110)	41,44	2210)	0,5	3310)	11,14	4410)		4,24	0,14
1	1	42,43	1	0,2	1	9,93	1		2,04	0,04
2	2	43,44	2	0,1	2	8,61	2		2,12	0,06
3	3	44,45	3	2,75	3	4,53	3		11,64	6,61
4	4	45,46	4	—0,23	4	1,77	4		— 0,07	— 0,17
5	5	45,49	5	4,23	5	4,33	5		12,49	8,32
6	6	46,47	6	0,35	6	14,09	6		12,83	0,83
7	7	47,48	7	0,29	7	8,38	7		4,92	0,34
120	1120)	47,49	2220)	4,11	3320)	2,90	4420)		8,02	7,66
1	1	48,50	1	1,73	1	0,35	1		0,04	0,01
2	2	48,52	2	13,23	2	1,12	2		4,96	19,60
3	3	49,51	3	11,75	3	5,95	3		20,56	11,95
4	4	50,53	4	12,68	4	4,51	4		20,51	20,68
5	5	51,52	5	—2,34	5	5,57	5		3,24	0,34
6	6	51,55	6	4,37	6	4,91	6		17,45	12,63

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	7	52,53	7	1,18	7	7,95	7		8,30	1,09
130	1130)	53,54	2230)	7,40	3330)	9,42	4430)		28,84	9,37
1	1	54,55	1	—1,87	1	22,38	1		30,27	1,83
2	2	55,56	2	57,35	2	6,13	2		47,72	60,61
3	3	57,58	3	—0,5	3	4,10	3		2,61	0,40
4	4	57,59	4	1,05	4	3,48	4		3,13	0,81
5	5	57,111	5	169,16	5	0,44	5		5,97	184,11
6	6	58,60	6	4,9	6	8,76	6		15,7	3,21
7	7	59,60	7	3,35	7	1,25	7		2,09	2,81
140	1140)	59,110	2240)	146,67	3340)	0,077	4440)		0,99	165,65
1	1	60,61	1	4,90	1	6,93	1		16,38	5,58
142	1142)	60,62	2242)	—2,8	3342	4,25	4442)		1,37	0,10
3	1143)	61,63	3	2,4	3	10,60	3		15,36	2,10
4	4	61,87	4	105,07	4	0,086	4		0,93	116,72
5	5	62,64	5	3,38	5	5,06	5		1,11	0,05
6	6	62,66	6	1,97	6	12,71	6		26,95	4,49
7	7	63,82	7	78,42	7	0,68	7		6,50	9,39
150	1150)	63,84	2250)	0,35	3350)	17,18	4450)		8,83	0,26
1	1	64,65	1	3,85	1	10,98	1		23,15	4,45
2	2	65,66	2	1,5	2	24,43	2		0,30	0,0006
3	3	65,67	3	2,15	3	15,44	3		19,60	1,61
4	4	65,83	4	104,85	4	0,318	4		3,34	110,37
5	5	66,69	5	1,15	5	18,37	5		23,38	1,62
6	6	66,85	6	102,97	6	0,36	6		3,83	113,46
7	7	67,68	7	2,0	7	16,7	7		17,56	1,11
160	1160)	67,69	2260)	0,5	3360)	20,04	4460)		1,91	0,009
1	1	68,70	1	0,25	1	41,1	1		6,88	0,028
2	2	68,75	2	1,3	2	18,69	2		10,68	0,33
3	3	69,70	3	1,75	3	17,92	3		19,01	1,12
4	4	69,71	4	0,6	4	3,19	4		1,24	0,15

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	5	69,72	5	0,4	5	13,15	5		5,02	0,145
6	6	70,73	6	0,35	6	50,18	6		25,78	0,264
7	7	71,72	7	—0,2	7	18,66	7		— 1,22	— 0,04
170	1170)	71,79	2270)	75,8	3370)	0,29	4470)		2,43	70,18
1	1	72,74	1	85,8	1	0,392	1		3,77	92,56
2	2	73,75	2	0,7	2	57,34	2		1,07	0,035
3	3	73,76	3	1,55	3	22,02	3		24,62	1,25
174	1174)	74,77	2274)	0,1	3374)	5,65	4474)		1,69	0,089
5	5	74,78	5	0,2	5	6,35	5		2,15	0,11
6	6	75,79	6	73,6	6	1,41	6		11,70	68,91
7	7	76,80	7	0,21	7	54,85	7		22,44	0,17
200	1200)	76,81	2300)	0,3	3400)	5,0	4500)		2,07	0,17
1	1	77,78	1	0,1	1	2,74	1		0,43	0,02
2	2	77,82	2	0,1	2	5,35	2		1,26	0,055
3	3	78,107	3	13,56	3	0,69	3		2,70	0,21
4	4	79,83	4	25,80	4	2,29	4		14,19	38,43
5	5	80,81	5	0,09	5	7,25	5		0,45	0,0039
6	6	80,89	6	5,72	6	49,78	6		21,9	0,193
7	7	81,92	7	3,13	7	4,84	7		2,43	0,252
210	1210)	82,105	2310)	2,94	3410)	10,28	4510)		7,84	0,582
1	1	83,85	1	—0,38	1	10,05	1		17,63	3,08
2	2	84,88	2	2,05	2	0,76	2		0,89	1,37
3	3	84,90	3	0,95	3	8,05	3		7,89	0,96
4	4	85,86	4	2,15	4	11,0	4		21,58	3,85
5	5	86,87	5	5,68	5	12,97	5		8,25	0,404
6	6	86,109	6	3,73	6	9,10	6		13,45	2,18
7	7	87,108	7	—2,05	7	13,47	7		9,30	0,48
220	1220)	88,89	2320)	0,2	3420	5,75	4520)		— 1,87	— 0,105
1	1	88,93	1	—0,0	1	1,58	1		0,28	0,032
2	2	88,105	2	79,96	2	0,26	2		2,47	90,33

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	3	89,90	3	1,3	3	1,15	3		— 0,64	— 0,308
4	4	89,91	4	—0,16	4	82,0	4		20,57	0,063
5	5	90,91	5	1,14	5	11,74	5		7,15	0,371
226	1226)	91,92	2326)	—2,34	3426	15,3	4526		— 0,13	— 0,0007
7	7	91,94	7	2,50	7	17,10	7		27,75	2,63
230	1230)	92,93	2330	1,3	3430	8,0	4530		2,18	0,07
1	1	93,106	1	76,58	1	0,25	1		2,38	90,98
2	2	94,95	2	6,1	2	9,64	2		14,99	2,32
3	3	94,98	3	0,8	3	16,16	3		12,64	0,61
4	4	95,96	4	1,9	4	10,65	4		9,97	0,88
5	5	95,97	5	31,15	5	0,16	5		1,35	53,12
6	6	95,102	6	11,33	6	2,39	6		3,64	2,33
7	7	96,97	7	29,25	7	0,95	7		7,49	62,24
240	1240)	96,101	2340)	16,10	3440)	2,00	4540)		2,45	1,50
1	1	97,100	1	30,5	1	2,14	1		8,96	17,53
2	2	98,99	2	72,61	2	1,45	2		12,71	81,20
3	3	99,100	3	—5,56	3	11,97	3		12,83	1,15
4	4	100,104	4	14,08	4	10,6	4		21,91	4,27
5	5	101,102	5	—6,67	5	6,28	5		— 1,43	— 0,0052
6	6	101,103	6	—3,09	6	8,47	6		3,78	0,199
7	7	102,103	7	3,58	7	8,41	7		2,21	0,251
250	1250)	103,104	2350)	60,82	3450)	0,66	4550)		5,99	82,34
1	1	104,106	1	8,79	1	25,75	1		28,0	1,18
2	2	105,106	2	4,38	2	12,6	2		10,42	0,68
3	3	106,107	3	15,0	3	10,91	2		40,88	14,04
4	4	107,108	4	7,64	4	15,04	4		43,62	8,41
5	5	108,109	5	0,1	5	46,45	5		52,99	1,30
6	6	109,110	6	35,3	6	10,69	6		66,54	38,75
7	7	110,111	7	21,44	7	16,09	7		67,59	17,65
260	1260)	111,112	2360)	113,44	3460)	7,29	4560)		73,67	85,66

4. Массив отличия активных и пассивных элементов

Выше отмечалось, что наличие значащих ячеек в этом массиве указывает на то, что в соответствующих элементах сети установлены источники тяги.

Начальный адрес массива 4300.

В этом массиве в строках, где записаны активные элементы, записываются свободные члены (Q_0 со своим знаком) выражения (III. 21). Остальные строки этого массива не заполняются, так как Q_0 для пассивных элементов равно нулю.

В нашем случае значащими ячейками 4-го массива будут ячейки 4304), 4307), 4310), так как в узлах 10; 56; 112 к сети подключены источники тяги (столбец 9, табл. 17).

Рассмотрим теперь частный случай решения задачи свободного распределения воздуха, когда требуется определить потокораспределение по всем элементам сети при строго ограниченном количестве исходящего воздуха.

В этом случае порядок заполнения массивов несколько отличается от вышеописанного. Для уравнения (III.21) принимается $A_0=0$, $H_0=0$. Тогда $Q=-Q_0$. Для того, чтобы по какому-либо элементу сети получить фиксированное значение Q достаточно в исходной информации записать: $A=0$ в массиве проводимостей, $H=H$ узла для активных элементов, $H=h$ в массиве начальных депрессий и $Q_0=-Q_з$ в массиве отличия активных и пассивных элементов.

К такому же приему приходится прибегать и тогда, когда по каким-либо причинам нельзя установить фактический режим работы вентиляторов главного проветривания.

Так, в описанном случае два вентилятора (0-10 и 0-112) работают неустойчиво, поэтому задача распределения воздуха по шахте решалась при условии, что по этим вентиляторам выдавалось строго определенное количество воздуха, численно равное среднему арифметическому из нескольких замеров в канале вентиляторов.

Необходимо заметить, когда производительность вентиляторной установки жестко фиксируется, критерием для оценки решения может служить величина полученной депрессии.

Выше описан способ подготовки исходной информации при решении задачи свободного распределения воздуха применительно к действующим шахтам.

При решении такой задачи для проектируемой шахты исходная информация готовится в том же виде с той лишь разницей, что значения аэродинамических проводимостей получаются здесь через табличные значения коэффициентов аэродинамического трения (α), а узловые депрессии подсчитывают-

ся сугубо ориентировочно посредством суммирования депрессии элементов, определенных из выражения $h=RQ^2$,

где R — теоретическое значение аэродинамического сопротивления;

Q — примерное (либо необходимое) количество воздуха, проходящее по соответствующему элементу.

При решении задач для проектируемых шахт необходимо работу выполнять в такой последовательности:

1. Составить полную схему вентиляции либо схему вентиляционных соединений.

2. Пронумеровать каждый узел сети описанным выше способом (еще раз напомним, что не допускается пропуск либо повторение номеров), то есть получить код сети.

3. На схеме вентиляционных соединений нанести все вентиляционные устройства (вентиляционные сопротивления, двери, кроссинги и т. д.).

4. Определить для каждого элемента величины аэродинамических проводимостей $A=\frac{1}{\sqrt{R}}$, где R определяется либо через табличные значения (α), либо по аналогии с фактическим сопротивлением действующих шахт, находящихся в аналогичных условиях.

5. Получить начальные депрессии элементов сети посредством узловой депрессии.

6. Составить уравнение (III.21) для активных элементов, если источники заранее выбраны, либо строго зафиксировать количество исходящего воздуха по активным элементам ($A=0$, $H=H$ узла, $Q=Q_{\text{задан}}$, и таким образом выбрать необходимый источник тяги.

7. Получить машинное решение, тщательным образом проанализировать его, обратив особое внимание на обеспеченность каждого объекта проветривания потребным количеством воздуха и на режим работы вентиляторных установок с учетом резерва по Q и H.

8. Уточнить после этого схему вентиляции и проделать решение заново, что позволит, в конечном счете, составить технически обоснованный проект вентиляции.

Порядок расчета на машине «Минск-22»

1. Ввод с перфоленты исходящей информации (либо вызов информации с МЛ).

2. Ввод с перфоленты программы (либо вызов информации с МЛ).

Для чтения (записи) с МЛ рекомендуем следующую программу:

```
20)   —4700   1100   0000
21)   —4500   0700   0100 — 45 — чтение, 43— запись
22)   —3000   0020   0000
23)   —0000   0000   0000
```

3. Ввести число строк и узлов
100) — число строк элементов в восьмеричной системе;
102) — заданная точность;
103) — число строк, считая и нулевую;
104) — 0000 0000 0000

4. Перед пуском нажать на клавишном наборе определенные разряды:

1 — печать кода сети;
2 — перевод кода сети (обязательно);
3 — печать заданных депрессий;
4 — перевод заданных депрессий (обязательно);
5 — перевод проводимости;
6 — перевод проводимости (обязательно);
7 — печать свободных членов;
8 — перевод свободных членов (обязательно);
13 — печать аэродинамических сопротивлений с блокировкой перевыполнения;
16 — печать таблицы соответствия узлов и элементов сети;
17 — формирование таблицы соответствия.

Пуск по команде

613 — выдача на печать;
555 — остановка во время счета;
632 — конец счета.

III.10. Программа переработки программ из режима машины «Минск-22» в режим «Т» (ППРТ)

Описание режима «Т»

В машине «Минск-22» структура команды, реализующей арифметические и логические операции, операции пересылки и управления, имеет следующий вид:

КОП			i	A_1	A_2
0	67	8	9 12	13 24	25 36

7-й и 8-й разряды кода используются для задания номера блока, к которому относятся ячейки, указанные в первом и втором адресах. В сущности 7-й и 8-й разряды являются старшими разрядами первого и второго адреса соответственно. Эта разрывность в представлении адресов в команде затрудняет формирование и изменение адресов при программировании.

Структура индексной ячейки машины «Минск-22»

	$n-1$	ΔA_1	ΔA_2
0 1	12	13 24	25 36

позволяет наращивать константу переадресации только до (4095_{10}) (7777_8), что не дает возможности двигаться по массиву непрерывно на расстояние большее, чем 4095 и снижает эффективность автоматической переадресации при программировании для двух блоков МОЗУ.

Для устранения перечисленных неудобств, а также для совместимости машины «Минск-22» с другими разрабатываемыми машинами (в частности «Минск-32») введен вариант логики машины, названный режимом «Т» (приложение 4).

Переход к режиму «Т» от основного режима машины состоит в изменении структуры команды; структуры индексной ячейки; в изменениях и дополнениях системы команд: выполнения арифметических операций.

В режиме «Т» структура команды, реализующей арифметические и логические операции, операции пересылки и управления, имеет следующий вид:

КОП		i		A_1		A_2	
0	6	7	10	11	23	24	36

Код операции занимает разряды 0—6, адрес индексной ячейки — 7-10.

В режиме «Т» назначение и исполнение некоторых команд машины «Минск-22» изменилось. Характер этих изменений — перемещение разрядов в командах, запрещение использования некоторых разрядов, запрещение использования некоторых кодов и др .— вызван структурой команд в режиме «Т» и необходимостью совмещения команд машины «Минск-22» в режиме «Т» с системой команд других машин.

Назначение ППРТ и рекомендации для ее использования

Нетрудно заметить, что переход от основного режима ЭВМ «Минск-22» к режиму «Т» легко реализуется механической переработкой ячеек — перестановкой некоторых разрядов, сдвигом и т. д. Очевидно, справедливо следующее утверждение — любая программа может быть разделена на конечное число участков (групп ячеек), каждый из которых перерабатывается одним способом.

Для каждого способа переработки нужно написать программу, а затем объединить их управляющей программой, для работы которой подается информация о каждой группе ячеек — длина этой группы и шифр способа ее переработки.

Для правильной подачи информации и для уменьшения длины информационного поля нужно, чтобы перерабатывае-

мая программа была написана в соответствии с правилами оформления программ—перерабатываемая ее часть, поле рабочих ячеек и поле программных констант должны быть расположены в МОЗУ отдельными сплошными участками. Выполнение этих требований является необходимым и достаточным условием быстрой и безошибочной переработки программ в режим «Т».

Техническое описание программ

Программа занимает 2000 ячеек МОЗУ:

10040 — 10646 }
11600 — 11777 } — рабочая часть программы;
10647 — 10777 — константы программы;
11000 — 11077 — рабочие ячейки программы;
11100 — 11577 — поле для информационной таблицы.

Инструкция для оператора

Перед работой программы в памяти машины должны находиться следующие величины:

в ячейке 10662) n—1 — — , где n — длина информационного поля перерабатываемой программы;

в ячейке 10670) — — $A_н$, где $A_н$ — адрес первой ячейки перерабатываемой программы;

11000 — 11577 — информационная таблица;

$A_н \div A_к$ — перерабатываемая программа;

10000 — 12000 — ППРТ

Пуск с ячейки 10040.

Список остановов ППРТ

СчАК	Регистор 1	Сумматор	Причина останова
10072	Порядковый номер ячейки информационной шкалы, вызвавшей останов в 8с/с в разрядах 24—36	Содержание ячейки, вызвавшей останов	Неправильно организованная ячейка информационной шкалы (незадействованный шифр типа)
10162	Адрес неправильной ячейки	Содержание неправильной ячейки	Неправильно указан тип перерабатываемой ячейки
10227	—»—	—«—	—»—
10365	—»—	—«—	—»—
10075			Конец переработки

Типы перерабатываемых ячеек

1. 1) Константа переадресации
   2) Выделитель блока 0060 — —
      0020 — —
      0040 — —

3) Все команды, кроме команд обмена с внешними устройствами.

II. Константа числа повторений цикла — n —1 — —

III. Выделители: — 7777 —; — 7777 —; — — 7777.

IV. Информационная таблица для программ.

V. Команды обмена с ВНУ.

VI. Ячейки, составляемые без переработки.

VII. Нормализованный нуль.

VIII. Константы для образования индексных ячеек вида — К К

Ячейка информационной таблицы имеет следующий вид:

11100 +) 0000 № типа, К

№ типа — занимает разряды с 13-го по 24-й;

К — количество ячеек указанного типа, расположенных подряд одна за другой, занимает разряды с 25-го по 36-й.

III.11. Описание программы расчета шахтных вентиляционных сетей для ЭВМ «Минск-32»

Программа (приложение 4) разбита на две части. Первая часть осуществляет непосредственно расчет. Она расположена в МОЗУ с ячейки 0100 по 777-ю ячейку. В ячейках 0100-0177 расположены константы программы, в ячейках 0200-0777 — программа расчета и вспомогательные программы.

Вторая часть программы осуществляет выдачу исходных данных и результатов расчетов на АЦПУ.

Ячейки 7575—7670— занимает непосредственно программа.

Ячейки 7671—7777—занимают константы программы и рабочие ячейки.

Инструкция для оператора

Бланк задания на выполнение расчетов по описываемой программе должен быть заполнен так, как указано в табл. 18. Затем нужно ввести программу вызова рабочей программы:

177770)	— 4700	00000	00100
1)	— 4500	00700	00100
2)	— 3000	17770	00000
3)	— 0000	00000	00000
4)	— 4700	00000	01000
5)	— 4500	00205	07575
6)	— 3000	17774	00000
7)	— 0000	00000	00000

Вызвать рабочую программу с магнитной ленты. Для этого набрать с ПМ директиву ПУ-17770◆. Произойдет вызов в МОЗУ первой части программы и останов в ячейке 17774 (СчАК). В сумматоре и Р2 должен быть код С (или машинная единица: С=—7717 17777 17777). Затем набрать директиву 1◆. Произойдет вызов второй части программы. Останов в ячейке 00000 (СчАК). В сумматоре и Р2 — код С. Занести в ячейку 0100) n—1 00000 00000, где n — количество элементеов.

Занести: в ячейку 0101) m—1 100000 00000,
где m — количество узлов,
в ячейку 0102) ε,

Таблица 18

где ε — точность вычислений
в ячейку 0103) *n* 00000 00000

Нажать на пульте инженера клавиши клавиатуры «число» в соответствии с табл. 19.

Таблица 19

Номер клавиши	Пояснения
1	Для печати кода сети
2	Для перевода кода сети
3	Для печати заданных депрессий
4	Для перевода заданных депрессий
5	Для печати проводимости
6	Для перевода
7	Печать свободных членов
8	Перевод свободных членов
13	Печать аэродинамических сопротивлений с блокировкой переполнения
16	Печать таблицы соответствия узлов и элементов сети
17	Формирование таблицы соответствия

Для выдачи исходных данных на АЦПУ в виде таблицы нужно поступить следующим образом:

1. Ввести директиву на останов по адресу ячейки 0555.
2. Пустить программу с ячейки 7575.
3. После останова по адресу пустить программу с ячейки 0613.
4. Останов с ячейки 7715 с индикацией в сумматоре и Р1 кода С.

III.12. Методика проверки устойчивости режимов работы вентиляторов

При включении в одну сеть нескольких вентиляторов их режимы работы будут взаимозависимы. Изменение любого элемента вентиляционной системы изменяет режимы работы вентиляторов и распределение воздуха. При этом могут наблюдаться неустойчивые режимы работы вентиляторов.

Для окончательного выбора вентиляторов необходимо производить проверку устойчивости. Основное условие устойчивости—режимы работы вентиляторов должны быть однозначны. В этом случае характеристика сети и вентилятора имеют только одну общую точку. Другими словами, при данных сопротивлениях отдельных участков сети каждой паре значений дебита и депрессии в точке присоединения первого вентилятора соответствует только одно значение дебита и депрессии в точке присоединения второго, третьего и т. д. вентиляторов.

Условие устойчивости является одним и тем же для любого метода расчета сети. Однако методы проверки этого условия могут быть различными. Существует несколько методических подходов проверки устойчивости:

—с использованием различных критериев устойчивости;

— определением полных характеристик сети в местах включения вентиляторов;

— определением неполных характеристик сети, характеризующихся рабочими частями аэродинамических характеристик вентиляторов.

Первая методика не нашла практического применения, так как требует сложных вычислений. Поэтому ниже рассматриваются две методики проверки устойчивости путем определения характеристик сети в местах включения вентиляторов. Применение методик рассмотрим на конкретном примере.

Пример.

Имеется вентиляционная сеть (рис. 23, *а*), которую предполагается проветривать четырьмя осевыми вентиляторами:

I — ВУП-1,2, II — ВУП-1,8, III — ВУП-2,4, IV ВУП-1,8.

Сопротивление элементов сети:

$R_0=0{,}00371$; $R_{01}=0{,}002431$; $R_{02}=0{,}002943$;
$R_1=0{,}075088$; $R_2=0{,}042316$; $R_3=0{,}012342$;
$R_4=0{,}013869$ *кμ*

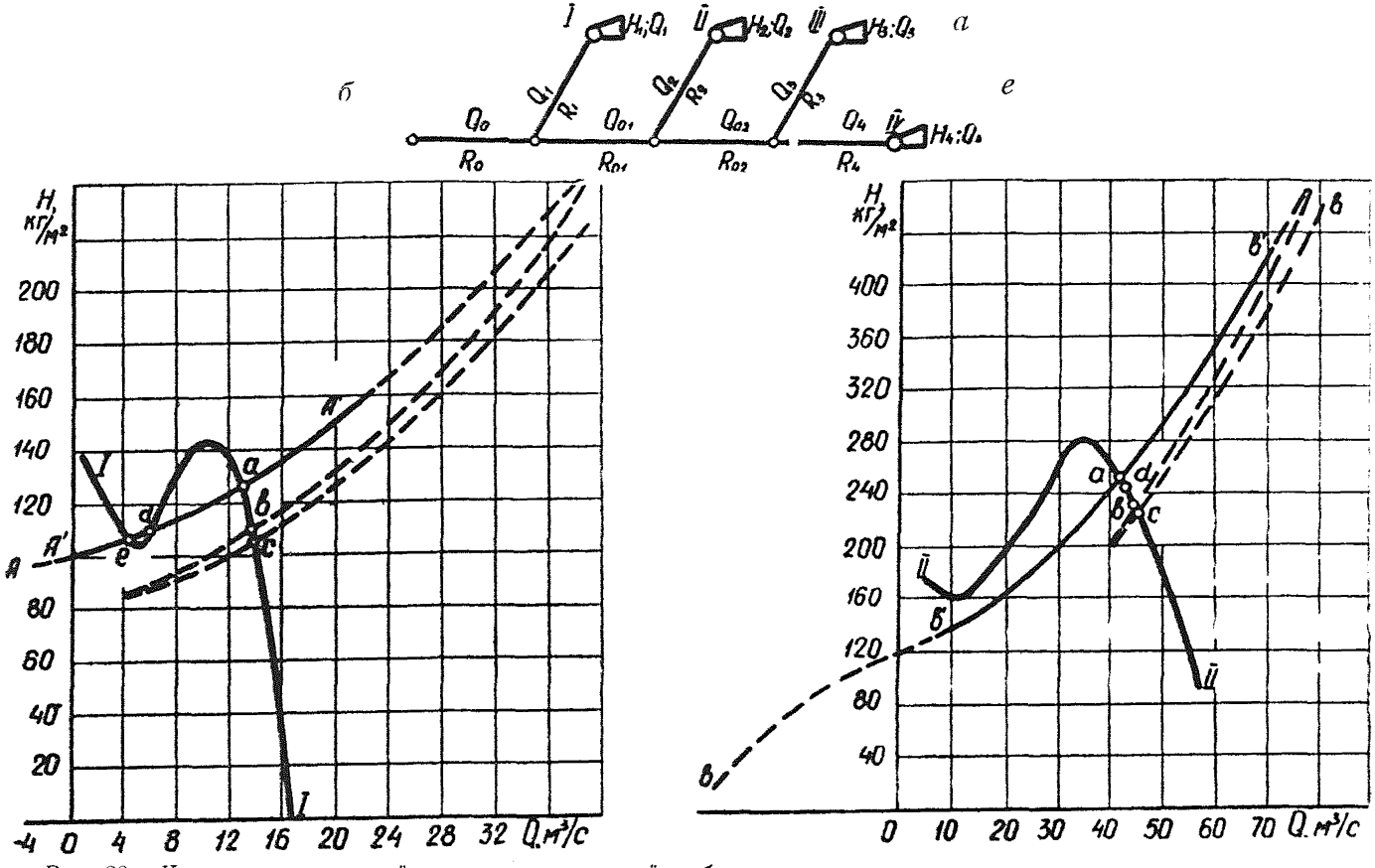

Рис. 23. К определению устойчивости параллельной работы четырех вентиляторов.

В один из периодов эксплуатации подобранные вентиляторы должны обеспечить следующее воздухораспределение: $Q_1=13$ *м*^{3}/*с*; $Q_2=42$ м^3/*с*; $Q_3=82$ *м*^{3}/*с*; $Q_4=37$ *м*^{3}/*с*. Подобранные вентиляторы обеспечат эти режимы работы при следующих параметрах:

I $n=1000$ *об/мин*, $\Theta=30°$.

II $n=730$ *об/мин*, $\Theta=40°$.

III $n=600$ *об/мин*, $\Theta=40°$.

IV $n=730$ *об/мин*, $\Theta=35°$.

Напорные характеристики вентиляторов I—I, II—II, III—III, IV—IV при этих параметрах приведены на рис. 23, 24. Для окончательного выбора вентиляторов необходимо произвести проверку устойчивости при их параллельной работе.

Проверка устойчивости с использованием полных аэродинамических характеристик вентиляторов

Для построения характеристик сети по этой методике необходимо руководствоваться следующим правилом.

В электрическом аналоге любой системы проветривания с несколькими совместно работающими вентиляторами, в котором вольтамперные характеристики аналогов вентиляторов установлены произвольно, а величины электрических сопротивлений эквиваленты аэродинамическим сопротивлениям соответствующих элементов сети, должно быть отрегулировано такое положение, когда установленные по показаниям приборов координаты режимных точек аналогов вентиляторов будут эквивалентны координатам соответствующих точек напорных характеристик всех вентиляторов, за исключением одного, в месте присоединения которого определяется характеристика сети. Напряжение и ток, замеренные у последнего, после перевода их в вентиляционные единицы, будут определять одну точку характеристики сети в месте присоединения этого вентилятора.

Порядок выполнения операций на электроаналоговой установке (ЭМВС-6 при определении характеристики сети, например, для первого вентилятора (рис. 23, *а*) будет следующим:

1. Произвольно задается для вентилятора I значение дебита, например, $Q_1=12{,}0$ *м*^{3}/*с*.

2. Этому значению дебита должны соответствовать определенные значения режимов работы других вентиляторов. Осуществляется это требование последовательным выводом режимных точек вентиляторов на их соответствующие аэродинамические характеристики.

После нескольких циклов вывода режимных точек вентиляторов II, III, IV значение дебита Q_1 может оказаться не-

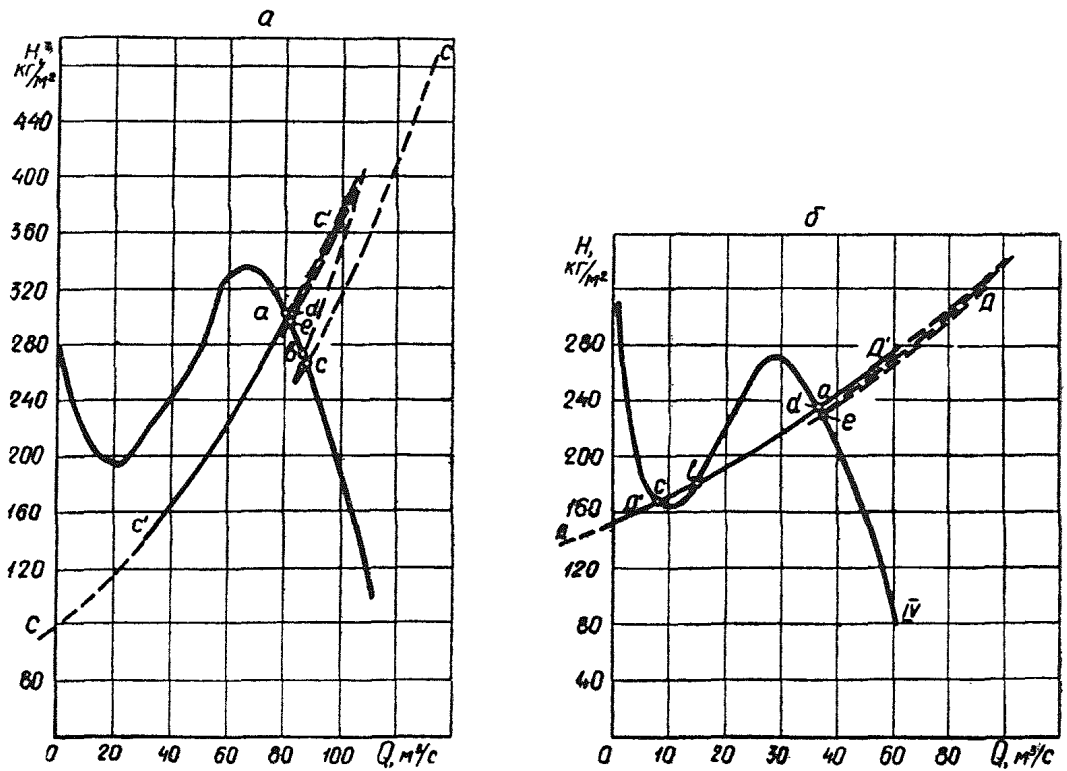

Рис. 24. К определению устойчивости параллельной работы четырехвентиляторов.

сколько иным. Например, $Q_1 = 13$ $м^3/с$. Ему соответствует $H_1 = 125$ $кг/м^2$. Это будет одна из координат точек характеристики сети А—А для вентилятора I. Пользуясь этой методикой, можно построить полные характеристики сети и для других вентиляторов: В-В — для II, С-С, — для III, Д-Д — для IV.

Определив полные характеристики сети, необходимо наложить их на соответствующие графические изображения полных аэродинамических характеристик вентиляторов. Получим координаты сопряженных режимов работы вентиляторов. Для рассматриваемого примера режимы работы вентиляторов определяются сопряженными между собой точками *а, в, с, d, е* (рис. 23, 24), координаты которых приведены в табл. 20.

Таблица 20

Режимные точки	Q_0 $м^3/с$	Q_{0_1} $м^3/с$	Q_{0_2} $м^3/с$	H_{1_1} $кг/м^2$	Q_1 $м^3/с$	H_{2_2} $кг/м^2$	Q_2 $м^3/с$	H_{3_2} $кг/м^2$	Q_3 $м^3/с$	H_2 $кг/м^2$	Q_3 $м^3/с$
а	174,0	161,0	119,0	125,0	13,0	250,0	42,0	300,0	82,0	236,0	37,0
в	160,6	146,9	102,6	109,6	13,7	231,0	44,3	273,3	87,4	182,2	15.2
с	156,25	142,4	97,4	105,0	13,85	225,6	45,0	265,8	89,1	168,8	8,3
d	168,5	162,8	120,3	107,8	5,70	246,2	42,5	296,8	82,7	232,0	37,6
е	167,7	163,2	120,7	105,8	4,50	245,4	42,5	295,7	83,0	230,4	37,7

Приведенный расчет показывает, что подобранные вентиляторы не могут обеспечить устойчивые однозначные режимы работы.

В данном случае возможность многозначной работы вентиляторов может быть устранена изменением аэродинамических сопротивлений отдельных ветвей вентиляционной сети и подбором вентиляторов с негорбатыми характеристиками или изменением их параметров.

Изложенная методика проверки устойчивости разработана применительно к электроаналоговым установкам и требует большого числа вычислений. Подобный методический подход при расчетах вентиляционных сетей на ЭВМ требует учета в программах полных аэродинамических характеристик вентиляторов. Существующие в настоящее время программы позволяют аппроксимировать только рабочие части характеристик вентиляторов. По этой причине изложенная методика практически пригодна лишь при расчетах сетей на электроаналоговых установках.

Проверка устойчивости с использованием рабочих частей аэродинамических характеристик вентиляторов

По этой методике практический ход решения вентиляционных задач с использованием любого из средств вычислительной техники будет выглядеть следующим образом:

— определяются неполные характеристики сети для всех вентиляторов с учетом только рабочих частей характеристик вентиляторов;

— наложением неполных характеристик сетей на соответствующие графические изображения полных аэродинамических характеристик вентиляторов выявляются вентиляторы, у которых имеются пересечения характеристики сети с нерабочей частью характеристики вентилятора.

Известно, что следствием этих пересечений является наличие сопряженных режимных точек на рабочих частях аэродинамических характеристик других вентиляторов.

Результаты расчета на ЭВМ типа *ICL* по данной методике на основе предыдущего примера (рис. 23, 24) сведены в табл. 21.

Для выявления точек пересечения характеристики сети с нерабочей частью полной характеристики вентилятора обычно достаточно координат двух точек характеристики сети, которые бы располагались по обе стороны от «впадин» характеристики вентилятора или определить направление кривой характеристики сети. Например, для вентилятора I достаточно определить координаты двух точек характеристики сети (соответственно для $Q=-0{,}5$ $м^3/с$ и $Q=10$ $м^3/с$), чтобы выяснить возможность пересечения.

Выполнив такой расчет, можно получить картину пересечений характеристик сети с нерабочими частями характеристик вентиляторов. Для нашего примера такие пересечения наблюдаются у вентиляторов I и IV (соответственно характеристики сети $А^1$—$А^1$ и $Д^1$—$Д^1$).

Для устранения неустойчивости необходимо провести отдельные мероприятия или целый комплекс, в число которого входит изменение аэродинамических сопротивлений ветвей, изменение параметров рекомендуемых вентиляторов, замена на другие типы вентиляторов.

После каждого существенного изменения параметров вентиляционной системы необходима проверка устойчивости режимов параллельно работающих вентиляторов.

Путем перебора вариантов необходимо добиться такого положения, чтобы все характеристики сети прошли ниже впадин седлообразных характеристик вентиляторов. В этом случае режимы работы вентиляторов будут устойчивыми.

Изложенная методика очень проста и пригодна при расчетах вентиляционных сетей как на ЭВМ, так и на электроаналоговых установках.

III.13. Расчет равномерно распределенных утечек через зону обрушения

При расчетах распределения воздуха с равномерно распределенными утечками (подсосами) по длине выработ-

Таблица 21

Вентилятор, для которого определяется характеристика сети	Координаты точек характеристики сети		Сопряженные режимы работы вентиляторов							
			I		II		III		IV	
	Q, $м^3/с$	H, $кг/м^2$	Q, $м^3/с$	H, $кг/м^2$	Q, $м^3/с$	H, $кг/м^2$	Q, $м^3/с$	H, $кг/м^2$	Q $м^3/с$	H, $кг/м^2$
I	—0,5	98,7	—	—	43,0	242,0	82,0	289,8	38,5	227,2
	10,0	116,2	—	—	42,3	247,7	81,0	294,5	37,8	233,2
II	20,0	165,4	19,3	127,3	—	—	83,6	279,8	39,9	215,6
	50,0	290,3	12,6	129,7	—	—	79,1	301,1	36,5	242,4
III	40,0	164,8	19,2	110,7	46,2	214,7	—	—	44,1	172,0
	80,0	292,9	12,9	123,3	42,2	248,5	—	—	37,7	233,6
IV	20,0	190,5	13,5	111,9	44,0	234,2	85,2	274,6	—	—
	50,0	277,1	19,5	156,8	40,1	263,6	76,2	314,2	—	—

ки (рис. 25 а, б) последние необходимо заменить одной (фиктивной) ветвью со средним количеством воздуха Q (рис. 25, *в*). Точка ее присоединения определяется по (III.25) и (III.26).

$$R_{AC}=\frac{H_{BA}-R_{AB}\cdot Q^2_{отв}}{Q^2_{под}-Q^2_{отв}} \qquad (III.25)$$

$$R_{CB}=\frac{H_{AB}-R_{AB}\cdot Q^2_{под}}{Q^2_{отв}-Q^2_{под}} \qquad (III.26)$$

где H_{AB} , $Q_{под}$ и $Q_{отв}$ —фактическая депрессия участка АВ и количество воздуха (подходящее к точке А и уходящее из точки В), полученные по результатам депрессионной съемки;

R_{AB} —аэродинамическое сопротивление участка АВ, определенное с учетом вида его крепления, сечения, длины и коэффициента аэродинамического сопротивления.

В связи с тем, что утечки (подсосы) воздуха для шахт, имеющих аэродинамическую связь с поверхностью через обрушенное пространство, подчиняются зависимости

$$H_y=R_y\,Q_y, \qquad (III.27)$$

величина аэродинамического сопротивления (R_y) и показатель степени n определяются на основании замеров, произведенных непосредственно в шахте при двух значениях величины количества воздуха (III.28) (Q_{y1} и Q_{y2}) и депрессии (III.29) (H_{y1} и H_{y2})

$$Q_y=Q_{под}-Q_{отв}; \qquad (III.28)$$

$$H_y=H_в-H_{AB}\,|2-H_{ВД} \qquad (III.29)$$

Показатель степени n и сопротивление R_y определяются из (III.30; III.31)

$$n=\frac{\lg H_{y1}\,|H_{y2}}{\lg Q_{y1}\,|Q_{y2}}; \qquad (III.30)$$

$$\lg R_y=\lg H_y-\hbar\lg\,Q_y \qquad (III.31)$$

В расчетах распределения воздуха в вентиляционной сети такую ветвь необходимо заменить двумя последовательно соединенными ветвями, одна из которых имеет линейную R^1, а вторая квадратичную R зависимость депрессии от количества воздуха (III.32).

$$H=R^1Q+RQ^2. \qquad (III.32)$$

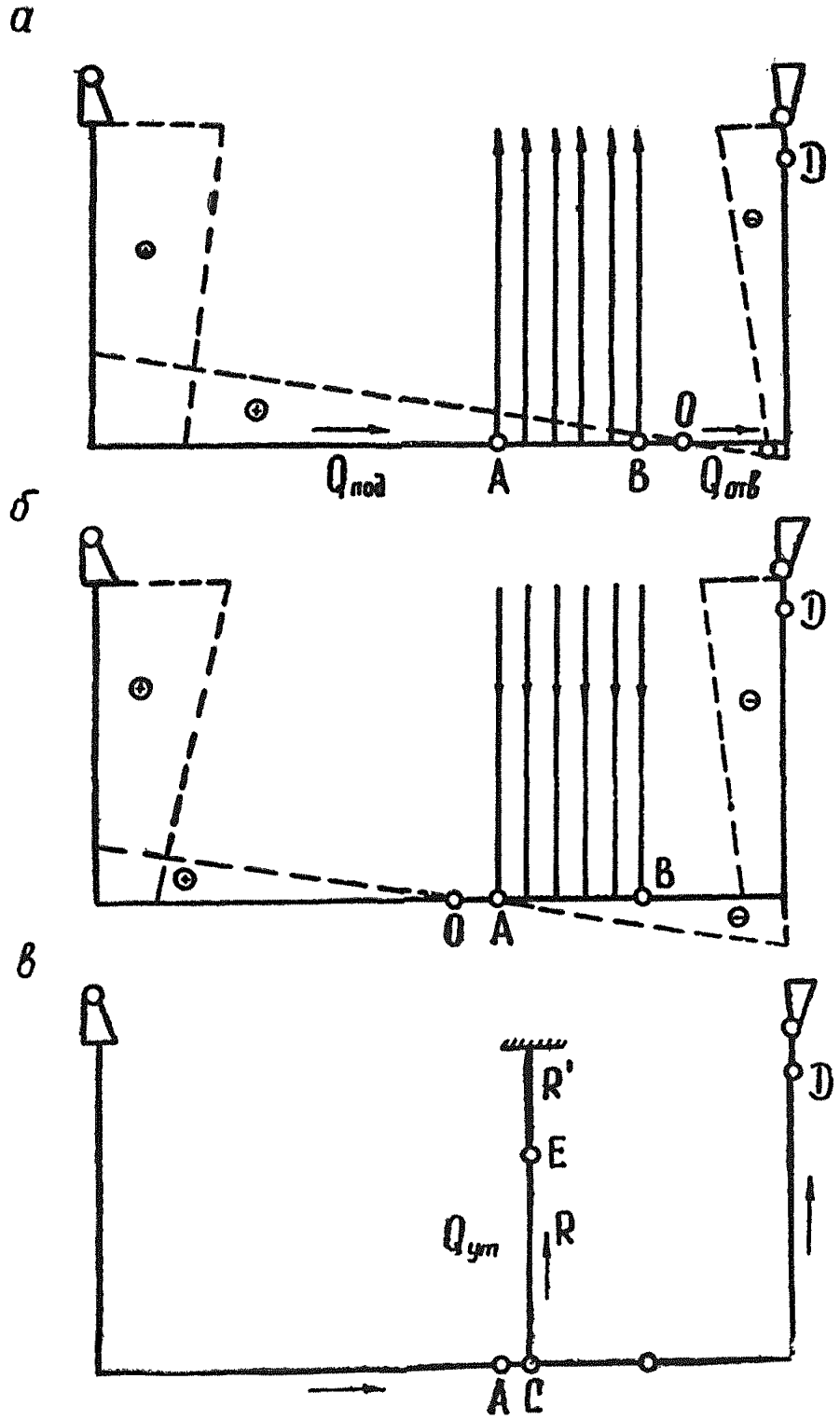

Рис. 25. Схема вентиляции шахты с аэродинамической связью с поверхностью и ее эквивалентная схема (в). Распределение эпюр депрессий при утечках (а) и подсосах (б). 0—точка нулевой депрессии по отношению к поверхности.

Величины аэродинамических сопротивлений определяются из системы уравнений (III.33).

$$\begin{cases} H_{y1} = R^1 Q_{y1} + RQ^2_{y1} \\ H_{y2} = R^1 Q_{y2} + RQ^2_{y2} \end{cases} \qquad \text{(III.33)}$$

При расчетах схем вентиляционных соединений, в которых имеются фиктивные ветви утечек воздуха, необходимо учитывать, что полностью эквивалентной замены зоны утечек одной ветвью не существует. Предлагаемая замена справедлива (при заданной точности расчета) только в определенном интервале депрессий, зависящем от соотношения величин линейного и квадратичного сопротивлений, поэтому после определения ожидаемой депрессии H_{y_0} на всей утечке H_y необходимо проверить, на какую величину отличается ожидаемая утечка воздуха Q_{y_0} от действительной, которая должна быть при этой депрессии (III.34).

$$\frac{Q_{y_0} - Q_y}{Q_y} \cdot 100 \leqslant \delta Q, \qquad \text{(III.34)}$$

где Q_{y_0} —ожидаемое количество воздуха, полученное в результате расчета;

δQ —заданная точность расчета по количеству воздуха (обычно 5÷10%).

Величина действительной утечки воздуха Q_y при ожидаемой депрессии H_{y_0} определяется из выражения

$$\lg Q_y = \frac{\lg H_{y_0} - \lg R_y}{n} \qquad \text{(III.35)}$$

В случае недопустимо большого расхождения Q_{y_0} и Q_y необходимо уточнить величины линейного и квадратичного сопротивления фиктивной ветви (III.33), определив еще одно значение депрессии утечки при $Q_{y_{0_1}}$, близком к Q_{y_0} (III.27).

Пример определения точки присоединения и параметров фиктивной ветви утечки воздуха через зону обрушения

По результатам, полученным в процессе депрессионной съемки для двух режимов (табл. 22), определяются показатель степени и сопротивления зоны обрушения на основе выражений (III.28-III.31).

$Q_{y1} = 126{,}6 - 121{,}6 = 5$ *м³/с*; $Q_{y2} = 125 - 119{,}5 = 5{,}5$ *м³/с*;

$H_{y1} = 390 - 57/2 - 258{,}5 = 103$ *мм вод.ст.*,

$H_{y2} = 396 - 55{,}5/2 - 249{,}6 = 118{,}6$ *мм вод.ст.*,

$$n = \frac{\lg 103 - \lg 118{,}6}{\lg 5 - \lg 5{,}5} = \frac{2{,}0128 - 2{,}0741}{0{,}6990 - 0{,}7401} = \frac{0{,}0613}{0{,}0411} = 1{,}5$$

$\lg R_y = \lg 103 - 1{,}5 \lg 5 = 2{,}0133 - 1{,}5 \cdot 0{,}699 = 0{,}978$,

откуда $R_y = 9{,}5$ *мм вод.ст. с/м*$^{1{,}5}$.

В результате совместного решения системы уравнений (III.33)

$$103 = R^1 \cdot 5 + R \cdot 5^2$$
$$118{,}5 = R^1 \cdot 5{,}5 + R \cdot 5{,}5^2.$$

Таблица 22

Параметры ветвей	Данные замеров	
	1	2
$Q_{под}$	126,6	125,0
$Q_{отв}$	121,6	119,5
$H_{АВ}$	57,0	55,5
$H_{ВД}$	259,5	249,6
$H_{в}$	390,0	396,0
$S_{АВ}$	11,2	11,2
$\alpha_{АВ}$	0,002	0,002
$Z_{АВ}$	200,0	200,0
P	13,0	13,0

определяются величины двух последовательно соединенных сопротивлений, моделирующих утечку воздуха через зону обрушения $R = 1{,}7$ *кμ*.

$$R' = 10{,}0 \text{ мм вод. ст. с/м}^3.$$

Аэродинамическое сопротивление участка выработки, на котором наблюдаются утечки воздуха

$$R = \frac{\alpha Z P}{S^3} = \frac{0{,}002 \cdot 200 \cdot 13}{11{,}2^3} = 0{,}0037 \text{ кμ}.$$

Точка присоединения ветви утечки воздуха C определяется из (III.25; III.26).

$$R_{АС} = \frac{57 - 0{,}0037 \cdot 121{,}6^2}{126{,}6^2 - 121{,}6^2} = 0{,}00185 \text{ кμ};$$

$$R_{св}\frac{57-0{,}0037\cdot 126{,}6^2}{121{,}6^2-126{,}6^2}=0{,}00185\ кμ;$$

(в связи с тем, что в знаменателе находится разность квадратов, во избежание большой ошибки в вычислениях, округлять числа не следует).

Точка присоединения фиктивной ветви оказалась в центре отрезка АВ, так как в примере утечки воздуха приняты как равномерно распределенные по всей длине выработки. В общем случае эта точка может находиться в любом месте отрезка АВ.

После определения параметров фиктивной ветви утечек воздуха (R' и R) и точки ее присоединения рассчитывается распределение воздуха по схеме вентиляционных соединений.

Для наглядности рассмотрим простую схему (рис. 25, *в*) с фиктивной утечкой при нескольких режимах работы вентилятора.

Собрав на электрической модели ЭВМС-6 схему вентиляционных соединений (рис. 26) и установив величины аэроди-

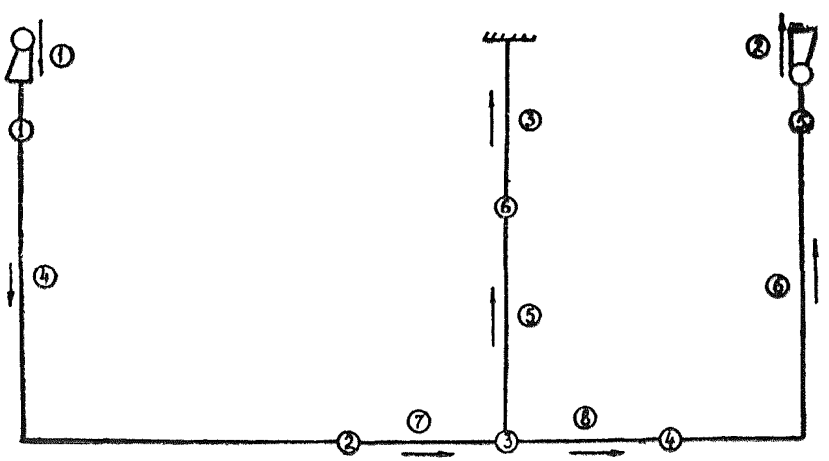

Рис. 26. Схема вентиляционных соединений с фиктивной ветвью утечки воздуха через зону обрушений.

намических сопротивлений всех ветвей (табл. 23), задаем напоры вентиляторов $B_1=300{,}0$, а $B_2=225$ *мм вод·ст*. При этом депрессия ветви утечки воздуха $H_у=H_3+H_5=103$ *мм вод. ст*, а $Q_у=Q_3=Q_5=5$ *м³/с*, что соответствует приведенному выше расчету.

Изменяя напор вентилятора B_2, получаем несколько значений депрессий утечек, соответствующие им ожидаемые количества воздуха и определяем отклонения Q_y от тех действительных Q_y (III. 25), которые должны быть при этих депрессиях (табл. 24).

Таблица 23

Ветви	Аэродинамическое сопротивление ветви, *кμ*	Примечание
3	—	Сопротивление (3) с линейным законом движения воздуха $R'=$ $=10$ *мм вод. ст.* $с/м^3$ при принятом в ЭМВС-6 масштабе моделирования соответствует сопротивлению 50 *ком.*
4	0,01	
5	1,7	
6	0,02	
7	0,002	
8	0,002	

Таблица 24

Депрессия ветви утечки, *мм вод. ст.* $H_y=H_3+H_5$	Количество воздуха, $м^3/с$		Отклонение ожидаемого количества воздуха от действительного, % $\delta Q=\frac{Q_{yo}-Q_y}{Q_y}\cdot 100$
	ожидаемое	действительное	
40	2,6	2,61	—0,4
80	4,19	4,13	1,2
120	5,42	5,42	0,0
160	6,6	6,56	0,6
200	7,8	7,62	2,4

Из табл. 24 видно, что отклонения ожидаемых количеств воздуха от действительных в диапазоне от 40 до 200 *мм вод. ст.* не превышают 3% и, следовательно, будет соответствовать ветви утечки воздуха с промежуточным законом движения воздуха ($n=1,5$).

Обработка результатов воздушно-депрессионной съемки на ЭВМ Минск-22

0	0100	+00	03	0000	0000
	1	+00	00	0001	0000
	2	+00	01	0000	0000
	3	+00	00	0000	0017
	4	+00	05	0000	0000
	5	+00	02	0000	0000
	6	+00	00	0000	0001
	7	+00	00	0000	0002
0	0110	+00	00	0000	0003
	1	+00	00	0000	0004
	2	+00	00	0002	0000
	3	+00	03	0000	0000
	4	+67	53	4121	0000
	5	+62	17	2602	0000
	6	+40	00	0000	0001
	7	+63	14	6314	0101
0	0120	+62	17	2702	0002
	1	+40	00	0000	0003
	2	+63	14	6314	0103
	3	+74	00	0000	0006
	4	+62	00	0000	0007
	5	+00	61	0000	0000
	6	+00	00	0062	0000
	7	+26	04	3001	0050
0	0130	+00	00	0000	0007
	1	+00	00	0000	0020
	2	+00	00	0000	0167
	3	+00	00	0000	0400
	4	+00	00	0000	3567
	5	+00	06	0000	0000
	6	+14	76	0000	0000
	7	+00	00	0000	2000
0	0140	+00	00	0002	2000
	1	+00	07	0000	0000
	2	+44	44	4444	4444
	3	+44	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0010
	5	—47	00	0000	0000
	6	—77	17	7777	0000
	7	+00	40	0000	0000
0	0150	—10	00	0145	1460
	1	—10	00	0145	1463
	2	—13	00	0000	0100
	3	—10	00	0000	0077
	4	—10	00	0127	0300
	5	—10	00	0100	0010
	6	—30	00	0157	0007
	7	—10	47	4000	0040
0	0160	—31	00	0444	0017
	1	—10	30	0041	4000
	2	—10	47	7000	0040
	3	—31	00	0440	0017
	4	—10	30	0041	7000
	5	—20	10	0166	0106
	6	—20	07	0157	0101
	7	—10	00	0104	0004
0	0170	+11	04	0000	1750
	1	—30	00	0172	0040
	2	—31	00	0444	0017
	3	—10	04	0041	1750
	4	—20	04	0170	0106
	5	—75	00	0000	0002
	6	—75	00	0000	0005
	7	—10	00	0100	0007
0	0200	—75	00	0000	0051
	1	—75	00	0000	0053
	2	—10	02	3000	0000
	3	+06	07	0407	2000
	4	—60	07	2400	2000
	5	+10	00	0101	0002
	6	+10	00	0106	0003
	7	+71	02	3000	0103
0	0210	—30	00	0211	0050
	1	—10	02	3000	0000
	2	+62	00	0221	0040
	3	—31	00	0444	0017
	4	—10	00	0113	0004
	5	—30	00	0216	0010

	6	+05	04	0106	0050
	7	—34	00	0224	0220
0	0220	+35	10	1750	0041
	1	+17	10	1751	0104
	2	—30	03	0223	3000
	3	—30	00	0227	0040
	4	—20	10	0225	0112
	5	—20	04	0216	0101
	6	—30	00	0227	0000
	7	—31	00	0501	0017
0	0230	—60	00	0400	0041
	1	+10	00	0107	0005
	2	+10	00	0112	0006
	3	+71	06	5476	0103
	4	—30	00	0235	0050
	5	—10	06	5476	0000
	6	+62	00	0221	0040
	7	—31	00	0444	0017
0	0240	—10	05	0041	5476
	1	—10	06	5477	0040
	2	—31	00	0444	0017
	3	—10	00	0105	0004
	4	—30	00	0245	0010
	5	+05	04	0106	0050
	6	—34	00	0252	0247
	7	+35	04	0114	0041
0	0250	+36	06	5476	0050
	1	—30	00	0256	0000
	2	—20	04	0245	0101
	3	+35	06	5476	0120
	4	+37	06	5476	0000
	5	+46	00	0121	0050
	6	+26	05	0117	5476
	7	—30	00	0470	0000
0	0260	—31	00	0501	0017
	1	—60	00	0400	0041
	2	—10	02	3000	0000
	3	+37	06	5476	0114
	4	—30	03	0265	3000
	5	+16	00	0051	0051
	6	+14	00	0116	0052
	7	+10	00	0102	0053
0	0270	—10	02	3001	0000
	1	—32	00	0205	0272
	2	+45	00	0052	0051
	3	—30	27	0274	2000
	4	+21	00	0102	0053
	5	—30	00	0276	0004
	6	+15	27	0000	2000
	7	—30	00	0300	0055
0	0300	+26	04	3013	0050
	1	—30	00	0410	0000
	2	—32	00	0303	0305
	3	—10	27	0000	2000
	4	—30	27	0317	0000
	5	—20	04	0276	0101
	6	+15	27	0000	2000
	7	—30	00	0310	0050
0	0310	+35	27	0050	2000
	1	—30	00	0312	0050
	2	+45	27	0050	4000
	3	—30	27	0314	0000
	4	—30	00	0315	0040
	5	—31	00	0552	0017
	6	+45	00	0041	0116
	7	—30	27	0320	5000
0	0320	+35	27	0123	2000
	1	—30	07	0322	5500
	2	+15	27	0000	7000
	3	—30	00	0324	0050
	4	+35	27	0124	0000
	5	+46	27	0050	6000
	6	+61	00	0263	0053
	7	+12	00	0101	0050
0	0330	+10	00	0050	0300
	1	+10	00	0101	0002
	2	+10	00	0106	0003
	3	—20	07	0200	0106
	4	—10	00	0125	0076
	5	—30	00	1420	0000
	6	—31	00	0600	0017
	7	+00	00	0000	0416
0	0340	—10	00	0076	0002
	1	—10	02	2000	1400
	2	—10	42	2000	1401
	3	—10	02	5500	1402
	4	—10	42	4000	1403
	5	—10	42	5000	1404
	6	—10	42	0000	1405
	7	—10	42	6000	1406
0	0350	—10	42	7000	1407
	1	—10	02	4000	1410
	2	—10	00	0135	0007
	3	—10	07	0142	1470
	4	—20	07	0353	0106
	5	—10	00	0143	1467
	6	—52	00	0000	1470
	7	—31	00	0664	0017
0	0360	+00	00	0006	0000
	1	+03	07	0106	1410
	2	+03	13	0106	1400
	3	+11	11	0144	1470
	4	+00	00	0144	0106
	5	+01	10	0106	1401
	6	+01	07	0106	1402
	7	+01	10	0106	1403
0	0370	+01	10	0106	1404
	1	+01	14	0106	1405
	2	+01	14	0106	1406
	3	—01	06	0106	1407
	4	+10	00	0102	0077
	5	+21	00	0077	0100
	6	—32	00	0377	0405
	7	—20	02	0341	0101
0	0400	+10	00	0126	0076
	1	—31	00	0600	0017
	2	+00	00	0000	0440
	3	—62	00	1400	0000
	4	—30	00	0336	0000
	5	—31	00	0600	0017

	6	+00	00	0000	0440
	7	—00	00	0000	0000
0	0410	+45	00	0055	0050
	1	+57	00	0122	0000
	2	—30	00	0302	0000
	3	—13	00	0000	0140
	4	+20	00	0140	1460
	5	—30	00	1456	0000
	6	+27	13	0102	1030
	7	+33	17	3727	1706
0	0420	+30	37	1752	5644
	1	+27	17	0630	3717
	2	+42	72	6040	4156
	3	+62	52	4027	1703
	4	+05	30	3717	5201
	5	+27	17	0430	3717
	6	+52	02	1717	1737
	7	+17	55	2717	0530
0	0430	+37	17	4027	1705
	1	+30	37	1761	5657
	2	+60	16	2717	0530
	3	+37	17	6344	1661
	4	+56	57	6016	1717
	5	+37	17	5317	1717
	6	+37	33	2713	0102
	7	+10	30	3332	0000
0	0440	+27	13	0102	1030
	1	+33	32	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	—10	00	0464	0045
	5	—75	00	0464	0041
	6	—10	00	0040	0043
	7	+66	00	0450	0044
0	0450	+07	00	0465	0040
	1	—34	00	0454	0452
	2	—10	00	0042	0045
	3	—30	00	0460	0000
	4	+35	00	0466	0044
	5	+37	00	0042	0104
	6	+16	00	0041	0041
	7	+34	00	0467	0042
0	0460	+64	00	0455	0043
	1	—34	00	0447	0462
	2	+45	00	0045	0041
	3	—30	17	0000	0041
	4	+40	00	0000	0001
	5	+70	00	0000	0000
	6	+40	00	0000	0005
	7	+50	00	0000	0004
0	4470	+10	00	0101	0012
	1	—10	52	0777	0040
	2	—10	00	0040	0000
	3	—34	00	0474	0476
	4	—31	00	0444	0017
	5	+24	05	0041	5476
	6	—10	06	5476	0040
	7	—30	00	0260	0000
0	0500	+06	00	0000	0000
	1	—10	00	0040	0045
	2	—75	00	0000	0041
	3	+61	00	0511	0045
	4	—34	00	0505	0523
	5	—32	00	0506	0511
	6	+10	00	0540	0042
	7	+45	00	0541	0045
0	0510	—30	00	0503	0045
	1	+53	00	0542	0036
	2	—32	00	0513	0516
	3	+34	00	0541	0045
	4	+20	00	0540	0042
	5	—33	00	0503	0537
	6	+64	00	0045	0045
	7	+53	00	0543	0000
0	0520	—32	00	0523	0521
	1	+40	00	0543	0045
	2	+20	00	0540	0042
	3	—10	00	0544	0043
	4	+30	00	0545	0045
	5	+72	00	0043	0044
	6	+76	00	0041	0041
	7	+64	00	0540	0043
0	0530	+50	00	0044	0045
	1	—34	00	0524	0532
	2	+51	00	0546	0042
	3	—32	00	0534	0535
	4	—74	00	0547	0042
	5	+60	00	0542	0042
	6	—16	00	0042	0041
	7	—30	00	0017	0000
0	0540	+01	00	0000	0104
	1	+50	00	0000	0004
	2	+03	00	0000	0136
	3	+06	31	4631	4632
	4	—74	00	0000	0000
	5	+50	00	0000	0000
	6	+12	00	0000	0000
	7	+06	00	0000	0000
0	0550	+36	00	0562	0041
	1	+27	00	0042	0136
	2	+71	00	0575	0040
	3	+06	00	0040	0043
	4	+36	00	0574	0041
	5	—34	00	0556	0571
	6	+16	00	0574	0041
	7	—10	00	0041	0042
0	0560	+45	00	0042	0043
	1	+17	00	0042	0036
	2	+36	00	0574	0041
	3	+27	00	0042	0136
	4	—34	00	0557	0565
	5	+61	00	0561	0040
	6	+67	00	0566	0101
	7	+62	00	0563	0042
0	0570	—72	00	0042	0041
	1	—14	00	0040	0041
	2	—32	00	0017	0573
	3	—00	00	0000	0040
	4	+40	00	0000	0000
	5	—00	00	0000	0076

	6	—30	00	1272	0000
	7	+71	00	0043	0040
0	0600	—62	00	2400	0000
	1	—10	00	0000	0016
	2	—10	17	0000	0014
	3	—10	00	0651	0015
	4	—10	00	0000	0043
	5	—31	00	0636	0647
	6	+05	00	0041	0652
	7	—34	00	0613	0610
0	0610	—62	00	7400	0000
	1	—10	00	0000	0016
	2	—30	00	0605	0000
	3	+05	00	0041	0660
	4	—34	00	0615	0620
	5	—62	16	4000	0041
	6	+10	00	0653	0016
	7	—30	00	0605	0000
0	0620	—31	00	0636	0647
	1	—10	00	0041	0040
	2	—10	00	0000	0042
	3	—31	00	0636	0647
	4	+64	00	0640	0041
	5	—70	00	0042	0662
	6	+12	00	0041	0042
	7	—31	00	0636	0647
0	0630	+05	00	0041	0661
	1	—34	00	0624	0632
	2	—62	16	4000	0040
	3	+10	00	0653	0016
	4	+20	00	0657	0042
	5	—34	00	0632	0605
	6	+65	14	0043	0000
	7	+72	00	0654	0041
0	0640	+07	00	0656	0136
	1	—34	00	0642	0650
	2	+10	00	0655	0043
	3	—20	15	0647	0000
	4	—10	00	0651	0015
	5	+10	00	0657	0014
	6	—10	00	0000	0043
	7	—30	00	0606	0000
0	0650	—30	17	0001	0000
	1	+00	05	0000	0000
	2	+33	00	0000	0000
	3	+00	00	0001	0000
	4	+77	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0006
	6	+32	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0001
0	0660	+27	00	0000	0000
	1	+30	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0012
	3	+00	47	0000	0000
	4	—62	00	2400	0000
	5	+71	17	0000	1015
	6	+22	00	1027	0052
	7	—30	00	0670	0061
0	0670	—32	00	0672	0671
	1	+10	00	1027	0052
	2	+20	00	1016	0017
	3	—30	00	0674	0054
	4	—10	00	0000	0053
	5	—10	00	0015	0057
	6	—10	00	0054	0055
	7	—10	00	0054	0017
0	0700	+05	00	0061	0000
	1	—32	00	0703	0702
	2	—62	00	4001	1020
	3	—10	00	1026	0016
	4	—10	00	0000	0056
	5	—10	17	0000	0000
	6	—32	00	0707	0711
	7	+71	17	0001	1021
0	0710	—34	00	0711	0743
	1	+71	17	0000	1015
	2	—30	00	0713	0015
	3	+21	15	0000	0053
	4	—32	00	0734	0715
	5	—10	00	1017	0056
	6	+71	17	0000	1022
	7	+23	00	1023	0000
0	0720	+13	00	0053	0000
	1	+12	00	0052	0723
	2	—31	00	1500	0017
	3	+01	04	0006	1407
	4	+10	00	1016	0016
	5	+05	00	0061	0000
	6	—32	00	0730	0727
	7	—62	16	4000	1020
0	0730	+10	00	1016	0016
	1	—10	00	0055	0017
	2	—10	17	0000	0000
	3	—32	00	0741	1005
	4	+71	17	0000	1024
	5	+23	00	1023	0014
	6	+67	00	0736	0114
	7	+12	00	0016	0016
0	0740	—30	00	0724	0000
	1	+20	00	1016	0017
	2	—30	00	0705	0055
	3	+71	17	0001	1025
	4	+66	00	0735	0015
	5	+10	00	1016	0016
	6	+21	15	0000	0053
	7	—32	00	1000	0750
0	0750	—10	00	1017	0056
	1	—10	00	0000	0051
	2	+71	17	0001	1015
	3	—30	00	0754	0015
	4	—70	15	0000	0053
	5	—30	00	0756	0050
	6	+71	17	0000	1025
	7	+13	00	0050	0000
0	0760	+66	00	0735	0050
	1	+71	17	0000	1015
	2	—30	00	0763	0015
	3	—10	15	0000	0060
	4	+65	00	0735	0051
	5	+12	00	0050	0015

	6	—11	15	0000	0772
	7	—14	00	0771	0772
0	0770	—10	00	1026	0015
	1	—31	15	1033	0017
	2	—44	00	0000	0000
	3	+10	00	1017	0051
	4	+23	00	0060	0000
	5	—32	00	0776	0764
	6	+20	00	1016	0055
	7	—30	00	0724	0000
0	1000	+71	17	0000	1015
	1	—30	00	1002	0015
	2	—70	15	0000	1030
	3	+12	00	0016	0016
	4	—30	00	0776	0000
	5	—10	00	0056	0000
	6	—34	00	1007	1013
	7	—10	00	1015	0015
0	1010	—62	15	0000	0000
	1	+10	00	1017	0053
	2	—30	00	0676	0000
	3	—10	00	0057	0015
	4	—30	17	0001	0000
	5	+00	00	7777	0000
	6	+00	00	0001	0000
	7	+00	00	0000	0001
0	1020	+37	00	0000	0000
	1	+77	77	0000	0000
	2	+77	77	0000	7777
	3	+00	02	0000	0000
	4	+00	77	0000	0000
	5	+00	00	0000	7777
	6	+00	00	0002	0000
	7	+00	00	0012	0000
0	1030	+00	00	0006	0000
	1	—33	00	1032	1034
	2	—00	00	0002	0000
	3	—62	00	2400	0000
	4	—10	00	0000	0016
	5	—10	00	0015	0040
	6	—10	00	0000	0041
	7	—31	00	1103	1136
0	1040	+05	00	0042	1137
	1	—34	00	1046	1042
	2	—10	00	1140	0015
	3	—62	15	0000	0136
	4	—10	00	0000	0016
	5	—30	00	1037	0000
	6	+05	00	0042	1141
	7	—34	00	1050	1053
0	1050	—62	16	4000	0042
	1	+10	00	1142	0016
	2	—30	00	1037	0000
	3	—31	00	1103	1136
	4	+05	00	0042	1137
	5	—34	00	1063	1056
	6	—10	00	1155	0015
	7	—62	15	0000	0000
0	1060	+64	00	1147	0041
	1	—31	00	1103	1136
	2	—30	00	1037	0000
	3	—10	00	0042	0043
	4	—10	00	0000	0044
	5	—31	00	1103	1136
	6	—70	00	0044	1143
	7	—30	00	1070	0044
0	1070	+65	00	1043	0042
	1	+12	00	0044	0044
	2	—31	00	1103	1136
	3	+05	00	0042	1144
	4	—34	00	1066	1075
	5	—62	16	4000	0043
	6	+10	00	1142	0016
	7	+05	00	0044	1145
0	1100	—34	00	1101	1037
	1	+20	00	1145	0044
	2	—30	00	1075	0000
	3	+71	00	0041	1152
	4	—30	00	1105	0047
	5	+71	00	0041	1146
	6	—30	00	1107	0042
	7	+64	00	1147	0041
0	1110	—10	00	0042	0000
	1	—34	00	1124	1112
	2	—10	00	0041	0000
	3	—34	00	1103	1114
	4	—32	00	1115	1122
	5	+71	00	0017	1153
	6	+06	00	1154	1117
	7	—10	00	0772	0041
0	1120	+20	00	1142	0017
	1	—30	00	1103	0000
	2	—10	00	0040	0015
	3	—30	00	0017	0000
	4	+05	00	1150	0042
	5	—34	00	1126	1103
	6	+05	00	0042	1151
	7	—34	00	1130	1103
0	1130	—10	00	0016	0045
	1	—10	00	0017	0046
	2	—31	00	1160	0017
	3	+00	00	0047	0042
	4	—10	00	0045	0016
	5	—10	00	0046	0017
	6	—30	00	1040	0000
	7	+33	00	0000	0000
0	1140	+00	00	7400	0000
	1	+22	00	0000	0000
	2	+00	00	0001	0000
	3	+00	00	0000	0012
	4	+23	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0001
	6	+37	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0006
0	1150	+10	00	0000	0000
	1	+02	00	0000	0000
	2	+77	00	0000	0000
	3	+00	40	7777	0000
	4	—10	00	0000	0041
	5	+00	00	6400	0000

```
      6  +00  00  0000  0000
      7  +00  00  0000  0000
0  1160  —10  00  0016  0065
      1  +71  00  0017  1242
      2  +06  00  1243  1163
      3  —10  00  1133  0062
      4  +71  00  0062  1242
      5  +06  00  1237  1166
      6  —10  00  0047  0064
      7  +73  00  1204  0124
0  1170  +66  00  1167  0016
      1  —10  16  1210  0063
      2  +71  00  1205  0064
      3  +66  00  1206  0016
      4  +71  16  1230  0063
      5  +66  16  1233  0063
      6  +71  00  0062  1207
      7  +06  00  1240  1200
0  1200  —10  00  0063  0042
      1  —10  00  0065  0016
      2  +20  00  1241  0017
      3  —30  00  0017  0000
      4  +74  00  0000  0000
      5  +03  00  0000  0000
      6  +00  00  0000  0122
      7  +00  20  0000  7777
0  1210  +17  05  1711  0000
      1  +17  71  1516  0000
      2  +17  23  0470  0000
      3  +10  00  3725  000
      4  +03  12  3117  0000
      5  +33  06  7414  0000
      6  +13  02  7517  0000
      7  +07  01  2217  0000
0  1220  +17  62  1756  0000
      1  +17  65  5554  0000
      2  +17  53  6043  0000
      3  +50  57  6646  0000
      4  +45  47  4441  0000
      5  +61  72  6473  0000
      6  +40  42  5117  0000
      7  +63  76  5217  0000
0  1230  +77  00  0000  0000
      1  +00  77  0000  0000
      2  +00  00  7700  0000
      3  +00  00  0077  0000
      4  +00  00  0000  0006
      5  +00  00  0000  0014
      6  +00  00  0000  0022
      7  —10  00  0000  0064
0  1240  —10  00  0063  0000
      1  +00  00  0001  0000
      2  +00  40  7777  0000
      3  —10  00  0000  0062
      4  +00  00  0000  0000
      5  —12  00  0040  0044
      6  +13  00  1272  0104
      7  —11  00  0000  0043
0  1250  +70  00  0043  0040
      1  +50  00  1246  0043
      2  —70  00  1270  0044
      3  —34  00  1254  1262
      4  —30  00  1255  0044
      5  +51  00  1271  0044
      6  —32  00  1257  1251
      7  —30  00  1260  0044
0  1260  —74  00  0043  0040
      1  —30  00  1255  0000
      2  —10  00  1273  0042
      3  +64  00  1264  0042
      4  +73  00  0040  0004
      5  —34  00  1263  1266
      6  +74  00  0042  0040
      7  —30  00  0017  0041
0  1270  +00  00  0000  0012
      1  +00  73  4654  5000
      2  +77  04  3123  3000
      3  +77  77  7777  7777
      4  —10  00  1311  0042
      5  —10  00  1312  0043
      6  +64  00  1277  0042
      7  +73  00  0040  0004
0  1300  —34  00  1301  1303
      1  +64  00  1277  0043
      2  —30  00  1276  0000
      3  +71  00  0043  0040
      4  +07  00  0043  0000
      5  —34  00  1307  1306
      6  +64  00  1277  0042
      7  +74  00  0042  0040
0  1310  —30  00  0017  0041
      1  +77  77  7777  7777
      2  +00  00  0000  0016
      3  +00  12  0000  0000
      4  —10  00  0040  0045
      5  —75  00  0000  0041
      6  +61  00  1324  0045
      7  —34  00  1320  1336
0  1320  —32  00  1321  1324
      1  +10  00  1354  0042
      2  +45  00  1355  0045
      3  —30  00  1316  0045
      4  +53  00  1356  0036
      5  —32  00  1326  1331
      6  +34  00  1355  0045
      7  +20  00  1354  0042
0  1330  —33  00  1316  1353
      1  +64  00  0045  0045
      2  +53  00  1357  0000
      3  —32  00  1336  1334
      4  +40  00  1357  0045
      5  +20  00  1354  0042
      6  —10  00  1360  0043
      7  —74  00  1364  0045
0  1340  +30  00  1361  0045
      1  +72  00  0043  0044
      2  +76  00  0041  0041
      3  +64  00  1354  0043
      4  +50  00  0044  0045
      5  —34  00  1340  1346
```

	6	+51	00	1362	0042
	7	—32	00	1350	1351
0	1350	—74	00	1363	0042
	1	+60	00	1356	0042
	2	—16	00	0042	0041
	3	—30	00	0017	0000
	4	+01	00	0000	0104
	5	+50	00	0000	0004
	6	+03	00	0000	0136
	7	+06	31	4631	4632
0	1360	—74	00	0000	0000
	1	+50	00	0000	0000
	2	+12	00	0000	0000
	3	+06	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	6554
	5	+00	35	0000	0000
	6	+21	64	1426	1214
	7	+00	00	0000	0000
0	1370	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	1400	+00	00	0000	2343
	1	+41	25	5000	4407
	2	+76	40	4301	0414
	3	+62	00	0000	0004
	4	+45	55	7275	4405
	5	+56	04	2403	5110
	6	+56	04	2403	5107
	7	+62	00	0000	0006
0	1410	+00	00	0000	0002
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	1420	—75	00	0000	3777
	1	—10	00	0136	0007
	2	—10	00	0141	0004
	3	—10	00	0141	0005
	4	—10	00	0135	0006
	5	—10	07	3777	4000
	6	+10	00	0106	3777
	7	—20	07	1430	0106
0	1430	—20	06	1425	0000
	1	—10	07	3777	4000
	2	+73	00	0132	3777
	3	+07	00	0132	0000
	4	—34	00	1435	1445
	5	+04	00	0130	3777
	6	+12	00	0131	3777
	7	—20	07	1440	0106
0	1440	—20	05	1424	0000
	1	—10	07	3777	4000
	2	+73	00	0134	3777
	3	+07	00	0134	0000
	4	—34	00	1445	1453
	5	+04	00	0132	3777
	6	+12	00	0133	3777
	7	—20	07	1451	0106
	2	+73	00	0134	3777
0	1450	—30	00	0336	0000
	1	—20	04	1423	0000
	2	—10	07	3777	4000
	3	+04	00	0134	3777
	4	+12	07	0101	3777
	5	—20	07	1422	0106
	6	+10	00	0137	0140
	7	+20	00	0140	1463
0	1460	—47	00	0002	0003
	1	—43	00	2000	2000
	2	—30	00	1460	0000
	3	—47	00	0002	4003
	4	—43	20	6000	0000
	5	—30	00	1463	0000
	6	—00	00	0000	0000
	7	+44	00	0000	0000
0	1470	+44	44	4444	4444
	1	+44	44	4444	4444
	2	+44	44	4444	4444
	3	+44	44	4444	4444
	4	+44	44	4444	4444
	5	+44	44	4444	4444
	6	+44	44	4444	4444
	7	+00	00	0000	0000
0	1500	—10	00	0017	0046
	1	+73	00	1744	0000
	2	+06	00	1711	1503
	3	—10	00	0723	0040
	4	+73	00	1716	0000
	5	+22	00	1743	0051
	6	—34	00	1507	1515
	7	+21	00	1743	0051
0	1510	—34	00	1513	1511
	1	—10	00	1712	1527
	2	—30	00	1520	0000
	3	—10	00	1522	1527
	4	—30	00	1520	0000
	5	—10	00	1713	1527
	6	+71	00	0040	1720
	7	+66	00	1542	0047
0	1520	+71	00	0040	1717
	1	—30	00	1523	0050
	2	—31	00	1274	0017
	3	+71	00	0040	1721
	4	+67	00	1542	0036
	5	+76	00	1711	1526
	6	—10	00	1407	0040
	7	—31	00	1314	0017
0	1530	—10	00	0041	0042
	1	—32	00	1535	1532
	2	—10	00	0050	0000
	3	—34	00	1534	1535
	4	+22	00	1730	0050

	5	—10	00	0051	0000	0	1630	+10	00	1722	0016
	6	—34	00	1667	1537		1	+21	00	0043	0000
	7	+70	00	1714	0042		2	—32	00	1644	1633
0	1540	+71	00	1715	0041		3	—10	00	0000	1641
	1	+62	00	1560	0043		4	+71	00	1707	0042
	2	+23	00	1724	0014		5	+66	00	1741	0017
	3	—32	00	1544	1546		6	—62	16	4000	0017
	4	+71	00	1725	0043		7	+10	00	1722	0016
	5	+12	00	1726	0043	0	1640	+60	00	1565	0042
	6	+61	00	1524	0041		1	—30	00	1665	0000
	7	—30	00	1550	0044		2	+20	00	1730	0043
0	1550	—14	00	0044	0043		3	—34	00	1634	1646
	1	+11	00	0047	0043		4	—62	16	4000	0000
	2	+32	00	1727	0045		5	+10	00	1722	0016
	3	+23	00	1706	0000		6	—10	00	0047	0000
	4	—32	00	1571	1555		7	—34	00	1650	1604
	5	+74	00	1567	0045	0	1650	—62	16	4000	1740
	6	+61	00	0045	1731		1	+10	00	1722	0016
	7	+12	00	0042	0044		2	—10	00	0045	0047
0	1560	+13	00	1732	0030		3	—34	00	1654	1604
	1	—33	00	1565	1562		4	—10	00	1705	1641
	2	—10	00	1723	0042		5	—10	00	0043	0000
	3	+10	00	1730	0043		6	—34	00	1657	1634
	4	—30	00	1571	0000		7	—62	16	4000	0000
	5	+07	00	0042	0004	0	1660	+10	00	1722	0016
	6	+73	00	1733	0140		1	+20	00	1730	0047
	7	+33	00	1734	0100		2	—34	00	1663	1604
0	1570	+12	00	0044	0042		3	+10	00	1730	0043
	1	—10	00	0050	0000		4	—34	00	1657	1634
	2	—34	00	1573	1622		5	+20	00	1730	0047
	3	+21	00	0043	0050		6	—34	00	1634	1604
	4	—32	00	1606	1575		7	—10	00	0000	0047
	5	—10	00	0041	0000	0	1670	—10	00	1735	0043
	6	—32	00	1600	1577		1	+71	00	1707	0042
	7	+10	00	1722	0016		2	+07	00	1707	0000
0	1600	+20	00	1730	0050		3	—34	00	1700	1674
	1	—34	00	1577	1602		4	+60	00	1565	0042
	2	—62	16	4000	1736		5	+20	00	1730	0043
	3	+10	00	1722	0016		6	—34	00	1671	1677
	4	+20	00	1722	0046		7	—10	00	1730	0043
	5	—30	00	0017	0017	0	1700	—10	00	0050	0000
	6	+21	00	0047	0000		1	—34	00	1702	1625
	7	—32	00	1611	1610		2	+22	00	0043	0044
0	1610	+23	00	1730	0000		3	—34	00	1704	1625
	1	+12	00	0050	0044		4	—32	00	1616	1575
	2	+21	00	0043	1739		5	—30	00	1665	0000
	3	—32	00	1617	1614		6	+00	00	0000	0044
	4	+20	00	0043	0044		7	+74	00	0000	0000
	5	—30	00	1620	0000	0	1710	+06	00	0000	0000
	6	+10	00	1722	0016		1	—10	00	0000	0040
	7	+20	00	1730	0044		2	—31	00	1245	0017
0	1620	—34	00	1621	1622		3	—31	00	1314	0017
	1	—32	00	1616	1622		4	+77	77	7777	7400
	2	+12	00	0047	0045		5	+00	00	0000	0037
	3	—32	00	1625	1624		6	+77	00	0000	0000
	4	—10	00	0000	0047		7	+00	77	0000	0000
	5	—10	00	0041	0000	0	1720	+00	00	7777	0000
	6	—32	00	1631	1627		1	+00	00	0000	7777
	7	—62	16	4000	1737		2	+00	00	0001	0000

	3	+04	00	0000	0000
	4	+00	20	0000	0000
	5	+00	17	0000	0000
	6	+00	12	0000	0000
	7	+00	00	0004	0000
0	1730	+00	01	0000	0000
	1	+24	00	0000	0000
	2	+31	46	3146	3146
	3	+04	21	0421	0421
	4	+30	00	0000	0000
	5	+00	11	0000	0000
	6	+31	00	0000	0000
	7	+13	00	0000	0000
0	1740	+15	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0102
	2	+00	00	0400	0000
	3	+01	00	0000	0000
	4	+00	40	7777	0000
	5	+02	05	0000	0000
	6	+45	04	3662	7065
	7	+02	33	1172	6666
0	1750	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	1760	—10	00	1770	0001
	1	—10	01	0000	1777
	2	—20	01	1761	1770
	3	—10	00	0000	0152
	4	—10	00	0000	0356
	5	—10	00	0000	0041
	6	—30	00	1767	0040
	7	—30	00	0150	0000
0	1770	+03	00	0000	0001
	1	—00	00	0000	0000
	2	—10	00	0000	0077
	3	—30	00	0334	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2000	—10	00	2140	0001
	1	—60	01	2400	2177
	2	—20	01	2001	2140
	3	—10	00	2141	0010
	4	—30	00	2077	0000
	5	+05	10	2142	2777
	6	—32	00	2015	2007
	7	—60	00	1400	2146
0	2010	—60	10	2400	2777
	1	+10	00	2141	0010
	2	+10	00	2141	2146
	3	+10	00	2143	2144
	4	—30	00	2005	0000
	5	+11	10	2142	2777
	6	—34	00	2017	2024
	7	—60	10	2400	2777
0	2020	+10	00	2141	0010
	1	+10	00	2141	2146
	2	+10	00	2143	2145
	3	—30	00	2005	0000
	4	—10	00	2140	0001
	5	—60	01	2400	2205
	6	—20	01	2025	2140
	7	—10	00	2147	0040
0	2030	—10	00	2145	0001
	1	—60	00	1400	0040
	2	—10	00	2150	0002
	3	—60	01	2400	5476
	4	—60	01	2400	5477
	5	—20	01	2037	2145
	6	—30	00	2042	0000
	7	—20	02	2033	0000
0	2040	+10	00	2151	0040
	1	—30	00	2031	0000
	2	—10	00	2140	0001
	3	—60	01	2400	2213
	4	—20	01	2043	2140
	5	—10	00	0000	0001
	6	—10	00	2144	0003
	7	—60	00	1400	0000
0	2050	—10	00	2150	0002
	1	—60	23	2400	4000
	2	—20	03	2054	2140
	3	—30	00	2057	0000
	4	—20	02	2051	0000
	5	+10	00	2153	0001
	6	—30	00	2047	0000
	7	—20	04	2061	0000
0	2060	—31	00	2070	0000
	1	—10	00	2140	0001
	2	—60	01	2400	2220
	3	—20	01	2062	2140
	4	—10	00	0000	0001
	5	—10	00	2144	0003
	6	+10	00	2156	0003
	7	—30	00	2047	0000
0	2070	—30	00	2105	0000
	1	— 0	00	0000	0000
	2	—10	00	2146	0001
	3	—10	01	2071	0000
	4	—10	00	2144	0100
	5	+20	00	2143	0100
	6	—30	00	1760	0000
	7	—10	00	2156	2146
0	2100	—10	00	2157	2145
	1	—10	00	0000	2144
	2	—10	00	2143	0004
	3	+00	00	0000	0000
	4	—30	00	2005	0000
	5	—60	00	3400	0000
	6	—60	00	1400	2160

	7	—10	00	2161	0001
0	2110	—60	01	2400	1747
	1	—20	01	2110	2161
	2	—60	00	3400	0000
	3	—10	00	2162	0001
	4	—10	00	2163	2164
	5	—10	00	0101	0002
	6	—10	42	0777	0000
	7	—34	00	2120	2126
0	2120	—60	00	1400	2164
	1	—60	21	2400	0777
	2	+10	00	2141	2164
	2	+10	00	0101	0002
	4	—20	01	2116	2162
	5	—30	00	2071	0000
	6	+10	00	0101	0002
	7	+10	00	2141	2164
0	2130	—20	01	2116	2162
	1	—30	00	2071	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2140	+00	04	0000	0001
	1	+00	00	0000	0001
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	01	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0002
	6	+00	00	0000	3000
	7	+00	00	0000	5500
0	2150	+00	07	0000	0000
	1	+00	00	0000	0020
	2	+00	00	0001	4000
	3	+00	00	0000	0010
	4	+00	01	0000	0000
	5	+00	00	0001	7000
	6	+00	00	0000	3000
	7	+00	00	0000	0002
0	2160	+00	00	0000	1750
	1	+00	07	0000	0001
	2	+07	77	0000	0001
	3	+00	00	0001	1000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2170	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2200	+73	56	4356	4356
	1	+73	56	4350	7356
	2	+73	56	4216	7356
	3	+73	56	4350	7356
	4	+73	56	4356	4356
	5	+00	00	0000	0000
	6	+73	56	4216	7356
	7	+73	50	7350	7356
0	2210	+73	56	4356	7356
	1	+72	16	7216	7356
	2	+73	50	4356	7356
	3	+00	00	0000	0000
	4	+73	56	4350	7356
	5	+73	56	4350	7356
	6	+73	56	4210	7356
	7	+73	56	4350	7356
0	2220	+73	56	4350	7356
	1	+73	56	4356	7356
	2	+73	56	4356	7356
	3	+73	56	4356	7356
	4	+73	56	4356	4356
	5	+73	56	4210	4356
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2230	+26	05	0445	3035
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2240	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2250	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2260	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000
0	2270	+00	00	0000	0000
	1	+00	00	0000	0000
	2	+00	00	0000	0000
	3	+00	00	0000	0000
	4	+00	00	0000	0000
	5	+00	00	0000	0000
	6	+00	00	0000	0000
	7	+00	00	0000	0000

Приложение 2

Обработка результатов воздушно-депрессионной съемки на ЭВМ НАЙРИ-2 (1 часть)

```
1200 п0к1015
1201 п0к1016
1202 п0к1018
1203 п390и490
1204 п0к1
1205 п391н1000
1206 п392н1001
1207 в2 1001н1000
1208 и1225п=
1209 п391н1000
1210 п393н1001
1211 в2 1001н1000
1212 и1227п=
1213 п391н1000
1214 п394н1001
1215 в2 1001н1000
1216 и1229п=
1217 п391н1000
1218 п395н1001
1219 в2 1001н1000
1220 и1231п=
1221 п391н1000
1222 п396н1001
1223 в2 1001н1000
1224 и1233п=
1225 u1 1500к1516
1226 e1 7к
1227 u1 1517к1533
1228 e1 5к
1229 u1 1534к1550
1230 e1 3к
1231 u1 1551к1567
1232 e1 1к
1233 u1 1568к1584
1234 п397н1006
1235 п392н1007
1236 в2 1007н1006
1237 и1254п=
1238 п397н1006
1239 п393н1007
1240 в2 1007н1006
1241 и1256п=
1242 п397н1006
1243 п394н1007
1244 в2 1007н1006
1245 и1258п=
1246 п397н1006
1247 п395н1007
1248 в2 1007н1006
1249 и1260п=
1250 п397н1006
1251 п396н1007
1252 в2 1007н1006
1253 и1262п=
1254 u1 1585н1599
1255 e1 7к
1256 u1 16000к1614
1257 e1 5к
1258 u1 1615к1629
1259 e1 3к
1260 u1 1630к1644
1261 e1 1к
1262 u1 1645к1659
1263 п398н1011
1264 п1009н1012
1265 вп1011н1012
1266 сп1005н1012
1267 п1015н1
1268 п800н1013+
1269 п399н1014
1270 вп1014н1013
1271 уп360н1013
1272 вп1012н1013
1273 п475н1014
1274 вп1013н1014
1275 с2048к1015
1276 с2048к1016
1277 с2048к1018
```

1278 пп1005н3
1279 пп1009н3
1280 пп1014н3
1281 о2274н
1282 с2048к1
1283 в1к490
1284 и1205п>
1285 к0н
1500 п1016н1
1501 п500н1002+
1502 п600н1003+
1503 п0к1017
1504 п1017н1
1505 и300н1000+
1506 п400н1001+
1507 п375н1004+
1508 вп1002н1004
1509 $п_i$0к1005
1510 уп1000н1005
1511 сп1001н1005
1512 сп1003н1005
1513 с2048к1017
1514 ов5к1004
1515 и1504п>
1516 х0н
1517 п1016н1
1518 п500н1002+
1519 п600н1003+
1520 п0к1017
1521 п1017н1
1522 п313н1000+
1523 п413н1001+
1524 п375н1004+
1525 вп1002н1004
1526 $п_i$0к1005
1527 уп1000н1005
1528 сп1001н1005
1529 х0н
1530 с2048к1017
1531 ов5к1004
1532 и1521п>
1533 х0н
1534 п1016н1
1535 п500н1002+
1536 п600н1003+
1537 п0к1017
1538 п1017н1
1539 п326н1000+
1540 п426н1001+
1541 п375н1004+
1542 вп1002н1004
1543 $п_i$0к1005
1544 уп1000н1005
1545 сп1001н1005
1546 сп1003н1005
1547 с2048к1017
1548 св5к1004
1549 и1538п>
1550 и1230п
1551 п1016н1
1552 п500н1002+
1553 п600н1003+
1554 п0к1017
1555 п1017н1
1556 п339н1000+
1557 п439н1001+
1558 п375н1004+
1559 вп1002н1004
1560 $п_i$0к1005
1561 уп1000н1005
1562 сп1001н1005
1563 сп1003н1005
1564 с2048к1017
1565 ов5к1004
1566 и1555п>
1567 х0н
1568 п1016н1
1569 п500н1002+
1570 п600н1003+
1571 п0к1017
1572 п1017н1
1573 п352н1000+
1574 п452н1001+
1575 п375н1004+
1576 вп1002н1004
1577 $п_i$0к1005
1578 уп1000н1005
1579 сп1001н1005
1580 сп1003н1005
1581 с2048к1017
1582 ов5к1004
1583 и1572п>
1584 х0н
1585 п1018н1
1586 п700н1008+
1587 п0к1019
1588 п1019н1
1589 п300н1006+
1590 п400н1007+
1591 п375н1009+
1592 в1008н1009
1593 $п_i$0к1010
1594 уп1006н1009
1595 сп1007н1009
1596 с2048к1019
1597 ов5к1010
1598 и1588п>
1599 х0н
1600 п1018н1
1601 п700н1008+
1602 п0к1019
1603 п1019н1
1604 п313н1006+
1605 п413н1007+
1606 п375н1009+
1607 вп1008н1009
1608 $п_i$0к1010
1609 уп1006н1009

```
1610  сп1007н1009
1611  с2048к1019
1612  ов5к1010
1613  u1603п>
1614  u1257п
1615  п1018н1
1616  п700н1008+
1617  п0к1019
1618  п1019н1
1619  п326н1006+
1620  п426н1007+
1621  п375н1009+
1622  вп1008н1009
1623  п1 0к1010
1624  уп1006н1009
1625  сп1007н1009
1626  с2048к1019
1627  ов5к1010
1628  u1618п>
1629  х0н
1630  п1018н1
1631  п700н1008+
1632  п0к1019
1633  п1019н1
1634  п339н1006+
1635  п439н1007+
1636  п375н1009+
1637  вп1008н1009
1638  п1 0к1010
1639  уп1006н1009
1640  сп1007н1009
1641  с2048к1019
1642  ов5к1010
1643  u1633п>
1644  u1261п
1645  п1018н1
1646  п700н1008+
1647  п0к1019
1648  п1019н1
1649  п352н1006+
1650  п452н1007+
1651  п375н1009+
1652  вп1008н1009
1653  п1 0к1010
1654  уп1006н1009
1655  сп1007н1009
1656  с2048к1019
1657  ов5к1010
1658  u1648п>
1659  х0н
```

Обработка результатов воздушно-депрессионной съемки на ЭВМ НАЙРИ-2 (II часть)

```
1700  п0к2036
1701  п0к2027
1702  п0к2028
1703  п0к2033
1704  п0к2034
1705  п39п10
1706  п2036н1
1707  вδ100н300+
1708  п1 0к2035
1709  u1711п>
1710  оп2035н2035
1711  п2027н1
1712  вδ700н500+
1713  п1 0к27
1714  п33н13
1715  gп27н13
1716  п85н11
1717  п55н2037
1718  п70н2038
1719  п40н18
1720  п2028н1
1721  п900н12+
1722  вп11н12
1723  u1835п=
1724  п86н11
1725  п56н2037
1726  п71н2038
1727  п41н18
1728  п2028н1
1729  п900н12+
1730  вп11н12
1731  u1835п=
1732  п87н11
1733  п57н2037
1734  п72н2038
1735  п42н18
1736  п2028н1
1737  п900н12+
1738  вп11н12
1739  u1835п=
1740  п88н11
1741  п58н2037
1742  п73н2038
1743  п43н18
1744  п2028н1
1745  п900н12+
1746  вп11н12
1747  u1835п=
1748  п89н11
1749  п59н2037
1750  п74н2038
1751  п44н18
1752  п2028н1
1753  п900н12+
1754  вп11н12
1755  u1835п=
1756  п90н11
1757  п60н2037
1758  п75н2038
1759  п45н18
```

1760 п2028н1
1761 п900н12+
1762 Вп11н12
1763 и1835п=
1764 п91н11
1765 п61н2037
1766 п76н2038
1767 п46н18
1768 п2028н1
1769 п900н12+
1770 вп11н12
1771 и1835п=
1772 п92н11
1773 п62н2037
1774 п77н2038
1775 п47н18
1776 п2028н1
1777 п900н12+
1778 Вп11н12
1779 и1835п=
1780 п93н11
1781 п63н2037
1782 п78н2038
1783 п48н18
1784 п2028н1
1785 п900н12+
1786 вп11н12
1787 и1835п=
1788 п94н11
1789 п64н2037
1790 п79н2038
1791 п49н18
1792 п2028н1
1793 п900н12+
1794 вп11н12
1795 и1835п=
1796 п95н11
1797 п65н2037
1798 п80н2038
1799 п50н18
1800 п2028н1
1801 п900н12+
1802 Вп11н12
1803 и1835п=
1804 п96н11
1805 п66н2037
1806 п81н2038
1807 п51н18
1808 п2028н1
1809 п900н12+
1810 вп11н12
1811 и1835п=
1812 п97н11
1813 п67н2037
1814 п82н2038
1815 п52н18
1816 п2028н1
1817 п900н12+
1818 вп11н12
1819 и1835п=
1820 п98н11
1821 п68н2037
1822 п83н2038
1823 п53н18
1824 п2028н1
1825 п900н12+
1826 вп11н12
1827 и1835п=
1828 п99н11
1829 п69н2037
1830 п84н2038
1831 п54н18
1832 п2028н1
1833 п900н12+
1834 вп11н12
1835 $u_1$1890к1893
1836 п29н2031
1837 п36н2039
1838 п2033н1
1839 п1500н2032+
1840 вп2031н2032
1841 и1859п=
1842 п30н2031
1843 п37н2039
1844 п2033н1
1845 п1500н2032+
1846 вп2031н2032
1847 и1859п=
1848 п31н2031
1849 п2040н2039
1850 п2033н1
1851 п1500н2032+
1852 вп2031н2032
1853 и1859п=
1854 п32н2031
1855 п2033н1
1856 п1500н2032+
1857 вп2031н2032
1858 и1861п=
1859 $u_1$1894к1899
1860 $e_1$1к
1861 $u_1$1900к1906
1862 п18н2016
1863 п2015н2017
1864 уп2016н2017
1865 $n_1$0к2018
1866 уп2018н2018
1867 gп2035н2018
1868 пп2035н3
1869 о2270н
1870 пп18н3
1871 о2270н
1872 пп2015н3
1873 о2270н
1874 пп2017н3
1875 о2270н
1876 пп2018н3
1877 о2274н

1878 c2049к2036
1879 c2049к2027
1880 c2048к2028
1881 c2048к2033
1882 c2049к2034
1883 δ1к10
1884 u1706п>
1885 к0и
1890 cn2037и13
1891 yn2038и13
1892 gn13и18
1893 x0и
1894 n2034и1
1895 yδ1100и1300+
1896 $n_1$0к2015
1897 yu2039и2015
1898 oв38и2015
1899 x0и
1900 n2034и1
1901 yδ1100и1100+
1902 $n_1$0к2015
1903 yn35и2015
1904 og34и2015
1905 oв38и2015
1906 x0и

Ввод информации

```
        00100
 0000   0000   0000
 0000   0000   0000
 4000   0000   0000
 0000   0000   0000
 0000   0000   0000
 7100   0157   0006
—3000   0107   0007
 7107   0153   0000
        00110
—3000   0111   0017
 7300   0156   0000
 0700   0156   0101
—3400   0123   0114
 1000   0012   0017
 2300   0010   0000
—3200   0117   0120
 7600   0147   0017
        00120
 7107   0152   0000
 7700   0015   0000
 7607   0017   0000
—2007   0107   0157
 6400   0113   0012
 0400   0150   0147
 6400   0112   0015
 0400   0151   0152
        00130
 0400   0151   0153
 0400   0154   0156
 0000   1100   0000
—0000   0000   0000
 4000   0000   0002
 0000   7777   0000
 7777   0000   0000
 0000   0001   0000
        00140
 4000   0000   0001
 0000   2100   0000
 0000   6500   0000

 0000   3200   0000
 7777   7777   7777
 0014   0000   0000
 0000   0000   0177
 0060   0000   0000
        00150
 0000   0000   0001
 0000   0000   7777
 0000   0000   0004
 0000   0000   0016
 0000   0000   0100
 0000   0000   0017
 0000   0200   0000
 0000   0400   0000
        00160
 0000   1000   0000
 0000   2000   0000
 0000   4000   0000
 0100   0000   0000
 0002   0000   0000
 0004   0000   0000
 0010   0000   0000
 0200   0000   0000
        00170
 0040   0000   0000
 0100   0000   0000
 0200   0000   0000
 0400   0000   0000
 1000   0000   0000
 2000   0000   0000
 4000   0000   0000
 7700   0000   0000
        00200
—1300   0000   0050
 7300   0177   0014
—3400   0203   0264
—1000   0100   0001
 7100   0176   0050
—3400   0206   0207
—6001   2400   1000

 7100   0175   0050
        00210
—3400   0211   0240
—1000   0155   0051
—1000   0154   0052
—1000   0000   0053
 7101   0051   1000
 6700   0052   0130
 0700   0153   0114
—3400   0220   0226
        00220
 0400   0051   0053
 1000   0152   0052
 6400   0152   0051
—3400   0214   0224
—0001   0153   1000
—3400   0211   0211
 7101   0053   1000
 7200   0151   0040
        00230
 3100   0656   0017
—3000   0232   0051
 1000   0152   0052
 6501   0052   1000
 7200   0151   0040
—3100   0656   0017
 6700   0201   0030
 0601   0051   1000
        00240
 7100   0174   0050
—3400   0242   0243
—6001   2400   2100
 7100   0173   0050
—3400   0245   0251
 0501   0000   2100
—3000   0247   0040
—3100   0633   0017
        00250
—3001   0251   2100
 7100   0172   0050
```

```
—3400  0253  0254
—6001  2400  3200
  7100  0171  0050
—3400  0256  0262
  0501  0000  3200
—300   0260  0040
       00260
—3100  0633  0017
—3001  0262  3200
—6000  3400  0000
—2001  0204  0150
  7100  0147  0050
—3400  0266  0310
—1000  0100  0001
  7100  0170  0050
       00270
—3400  0271  0275
  0501  0000  4300
—3400  0273  0275
—6000  1400  0001
—6001  2400  4300
  7100  0167  0050
—3400  0277  0306
  0501  0000  4300
       00300
—3400  0303  0301
—1001  0146  4300
—3400  0306  0306
—3000  0304  0040
—3100  0633  0017
—3001  0306  4300
—2001  0267  0150
—6000  3400  0000
       00310
  7100  0145  0050
—3400  0312  0326
—1000  0101  0001
  7100  0166  0050
—3400  0315  0316
—6001  2400  5400
  7100  0165  0050
—3400  0320  0324
       00320
  0501  0000  5400
—3000  0322  0040
—3100  0633  0017
—3001  0324  5400
—2001  0313  0150
—6000  3400  0000
  7100  0163  0050
—3400  3300  0337
       00330
—1000  0100  0001
  7101  0144  2100
—3000  0333  0040
—3100  0743  0017
  4501  0042  3200
—3001  0336  3200
—-2001 0331  0150
  7100  0164  0050
       00340
—3400  0341  0346
  6500  0215  0100
  0700  0100  0000
  0600  0143  0345
—3100  0673  0017
  0000  0000  0000
  7100  0162  0050
—3400  0350  0364
       00350
  6500  0215  0100
  0700  0100  0000
  0600  0142  0363
—1000  0100  0001
  0501  0000  3200
—3000  0356  0040
  3600  0040  0040
  4500  0040  0140
       00360
—3001  0361  6500
—2001  0354  0150
—3100  0673  0017
  0000  0000  0000
  7100  0160  0050
—3400  0366  0374
—1000  0100  0001
  0501  0000  1000
       00370
—3000  0371  0002
  2502  5400  5400
—3001  0373  2100
—2001  0367  0150
  7100  0161  0050
—3400  0376  0403
  6500  0215  0100
  0700  0100  0000
       00400
  0600  0141  0402
—3100  0673  0017
  0000  0000  0000
  7100  0156  0050
—3400  0405  0466
—1000  0101  0001
—1001  0000  6500
—2001  0406  0150
       00410
—1000  0100  0001
  1001  1000  0051
  6600  0216  0002
  1002  0150  6500
  7100  0151  0051
—3000  0416  0002
  1002  0150  6500
—2001  0411  0137
       00420
  2100  0163  0101
  3000  0422  0001
  7101  0135  6500
—3000  0424  0051
  7101  0151  6500
  6700  0201  0000
  1200  0051  0051
  0401  0051  6501
       00430
—2001  0422  0150
—1000  0100  0001
  7100  0151  0001
—3000  0434  0051
  6501  0216  1000
—3000  0436  0002
  7102  0135  6500
  6600  0216  0003
       00440
  7102  0136  6500
  6700  0215  0000
  1200  0003  0003
  1002  0163  6500
—1123  0051  0000
  7101  0151  1000
—3000  0447  0002
  7102  0135  6500
       00450
  6600  0216  0003
  7102  0136  6500
  6700  0215  0000
  1200  0003  0003
  1002  0163  6500
—1023  0051  0000
—2001  0432  0150
—1000  0101  0001
       00460
  7101  0135  6500
  6600  0216  0002
  2101  0150  6500
  6600  0236  0051
  0422  0051  0000
—2001  0460  0150
  7100  0157  0050
—3400  0470  0510
       00470
—1000  0101  0001
—1000  0000  0051
—6000  1400  0051
  7100  0151  0001
—3000  0475  0002
  7121  0136  0000
  0600  0002  0002
  1300  0163  0000
       00500
  6700  0215  0000
  1200  0001  0001
—6000  3400  0000
—6022  1400  0000
—2002  0503  0150
—-6000 3400  0000
  1000  0137  0051
—2001  0472  0000
```

```
      00510
—1000 0100 0001
 0501 0000 2100
—3000 0513 0051
 7200 0144 0040
—3100 0743 0017
 3600 0134 0040
 4501 0040 3200
—3300 0520 0521
      00520
—3001 0523 6500
—0001 0001 2100
—3400 0521 0521
 3501 0042 3200
—3000 0525 0040
—1400 0051 0040
 0501 0133 4300
 1601 0040 1000
      00530
—2001 0511 0150
—1000 0000 0051
—1000 0101 0001
—1000 0146 0052
—3000 0535 0053
 7141 0000 0136
—3000 0537 0054
 1300 0163 0000
      00540
 6600 0216 0055
 7100 0135 0001
 0600 0054 0054
—3000 0544 0002
—1042 0000 0003
 7200 0133 0056
 0503 0056 1000
 1600 0052 0052
      00550
 1503 0053 6500
—3000 0552 0053
—2002 0544 0137
 5500 0052 0102
—3200 0607 0555
—3000 0556 0051
 4500 0053 0052
 0600 0133 0052
      00560
—1000 0054 0002
—1042 0000 0003
 7300 0133 0000
 0600 0052 0053
 1403 0053 2100
—3000 0566 0053
—1200 0053 0040
 0503 0000 1000
      00570
—3003 0571 5400
—3000 0572 0054
—3100 0743 0017
 3503 0042 3200
—3000 0575 0040
—1400 0053 0040
 0503 0133 4300
 1603 0040 1000
      00600
 2700 0054 0000
 4700 0052 0000
 7203 0144 6500
—2002 0561 0137
 1000 0055 0001
—2001 0533 0000
—3400 0531 0531
 1000 0055 0001
      00610
—2001 0533 0000
 0500 0051 0000
—3200 0613 0531
—1000 0000 0001
—1001 0103 0051
 3400 0616 0631
 2200 0163 0051
 6700 0215 0000
      00620
 0700 0051 0000
 1200 0141 0624
 2200 0132 0626
—3100 0673 0017
 0000 0000 0000
—3100 0673 0017
 0000 0000 0000
 1100 0137 0001
      00630
—3000 0614 0001
—0000 0144 0144
—3400 0613 0613
—1000 0653 0041
—7500 0653 0042
—1000 0040 0044
 6600 0637 0045
 0700 0654 0040
      00640
—3400 0643 0641
—1000 0043 0041
—3000 0646 0000
 3500 0043 0045
 1600 0042 0042
 3400 0655 0043
 6400 0651 0044
—3400 0636 0650
      00650
—7200 0655 0042
 4700 0041 0104
—3017 0000 0042
 4000 0000 0001
 7000 0000 0000
 5000 0000 0004
—1000 0671 0041
—1000 0000 0042
      00660
—1000 0040 0043
 6700 0661 0040
 3300 0041 0104
 1200 0042 0042
 4000 0672 0041
 6400 0662 0043
—3400 0661 0667
—1000 0042 0000
      00670
—3017 0000 0000
 0000 0000 0020
 0631 4631 4631
—1017 0000 0016
 6600 0675 0040
 6700 0714 0030
 0600 0016 0016
—1000 0040 0015
      00700
—1000 0737 0041
—0000 0740 0042
—1016 0000 0043
—3000 0706 0044
 3400 0741 0041
 6400 0732 0042
 5500 0041 0043
—3200 0704 0710
      00710
 3500 0041 0041
—7300 0041 0043
—1600 0000 0041
—1600 0000 0044
 6700 0043 0130
 4200 0041 0041
—1000 0742 0043
 7100 0043 0042
      00720
—3400 0721 0724
 6400 0732 0041
 6400 0732 0043
—3400 0717 0731
 3000 0741 0041
 7200 0043 0044
 7600 0042 0042
 2100 0044 0041
      00730
—3000 0722 0041
—6000 2400 0042
—2015 0735 0104
—6000 3400 0000
—1000 0040 0015
—2016 0700 0736
—3017 0001 0000
 4000 0000 0001
      00740
 5400 0000 0000
 5000 0000 0004
—7400 0000 0000
 5500 0002 0002
 1600 0040 0041
```

—3200	0750	0746	4500	0043	0041	6000	0754	0042
—0000	0017	0040	1600	0043	0043		00770	
—3000	0746	0000		00760		—7200	0042	0041
	00750		4400	0043	0041	—3017	0000	0042
—3400	0751	0771	—7300	0743	0043	6532	4000	0101
6300	0751	0036	1600	0041	0041	4561	7000	0000
6600	0772	0042	7100	0774	0042	0040	0000	0000
—1600	0000	0041	—3400	0765	0767	5520	2363	1401
3700	0773	0136	3400	0775	0041	0000	0000	0000
1600	0772	0043	2000	0774	0042	0000	0000	0000

ПЕРЕРАБОТКА ПРОГРАММ В РЕЖИМ Т

10040	—10	00	10670	11006
1	—10	00	10662	00001
2	71	01	11100	10653
3	—30	00	10044	11004
4	71	01	11100	10654
5	—30	00	10046	11010
6	66	00	10667	11005
7	22	00	10647	00003
10050	10	00	11006	00003
1	05	00	11004	10661
2	—34	00	10053	10100
3	05	00	11004	10663
4	—34	00	10055	10137
5	05	00	11004	10664
6	—34	00	10057	10147
7	05	00	11004	10665
10060	—34	00	10061	00000
1	05	00	11004	10666
2	—34	00	10063	10212
3	11	00	10666	10661
4	07	00	11004	00000
5	—34	00	10066	10072
6	11	00	10666	10663
7	07	00	11004	00000
10070	—34	00	10075	10640
1	—00	00	00000	00000
2	10	00	11010	11006
3	—20	01	10042	10663
4	—00	00	00000	00000
5	11	00	10665	10665
6	07	00	11004	00000
7	—34	00	10071	11620
10100	11	03	00000	00000
1	—30	00	10102	10777
2	71	00	10777	10650
3	—30	00	10104	11000
4	71	00	10777	10651
5	—30	00	10106	11001
6	71	00	10777	10652
7	—30	00	10110	11002

10110	71	00	10777	10653
1	—30	00	10112	11003
2	71	00	10777	10705
3	—30	00	10114	11004
4	64	00	10655	11000
5	64	00	10656	11001
6	64	00	10657	11002
7	64	00	10660	11003
10120	05	00	11000	11001
1	07	00	11002	00000
2	07	00	11003	00000
3	06	00	11004	10777
4	—30	03	10125	00000
5	—60	03	00600	00000
6	—20	03	10100	10660
7	—30	00	10072	00000
10130	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10140	60	03	10655	00000
1	—30	00	10142	10777
2	—60	00	00600	10777
3	—10	03	10777	00000
4	—20	03	10140	10660
5	—30	00	10072	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10150	00	00	00000	00000
1	11	03	00000	00000
2	—30	00	10153	11012
3	71	00	11012	10672
4	—34	00	10162	10155
5	71	00	11012	10653
6	—34	00	10166	10157
7	71	00	11012	10654

10160	—34	00	10171	10161
1	—00	00	11012	00003
2	63	00	10655	00000
3	—30	00	10173	11012
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	63	00	10660	00000
7	13	00	10647	00000
10170	—30	00	10173	11012
1	13	00	10661	00000
2	—30	00	00173	11012
3	—10	03	11012	00000
4	—60	03	00600	00000
5	—20	03	10151	10660
6	—30	00	10072	00000
7	00	00	00000	00000
10200	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10210	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	11	03	00000	00000
3	—30	00	10214	10777
4	71	00	10674	10777
5	30	00	10216	10776
6	71	00	10711	10777
7	—30	00	10220	11023
10220	05	00	10776	10675
1	—34	00	10222	10477
2	05	00	10776	10676
3	—34	00	10224	10350
4	05	00	10776	10677
5	—34	00	10226	10230
6	—00	00	10776	00003
7	00	00	00000	00000
10230	05	00	10700	11023
1	—34	00	10232	10250
2	0	00	11023	10701
3	—34	00	10234	10252
4	05	00	11023	10702
5	—34	00	10236	10250
6	05	00	11023	10703
7	—34	00	10240	10270
10240	71	00	10777	10650
1	66	00	10655	11020
2	71	00	10777	10652
3	66	00	10657	11021
4	71	00	10705	10777
5	07	00	11020	00000
6	06	00	11021	10777
7	—30	00	10471	00000
10250	71	00	10777	10705
1	—30	00	10471	10777
2	—10	00	00000	11022
3	71	00	10777	10650
4	66	00	10655	11020
5	71	00	10652	10777
6	66	00	10657	11021
7	71	00	10733	10777
10260	—34	00	10261	10262
1	10	00	10647	11022
2	71	00	00777	10705
3	07	00	11020	00000
4	07	00	11021	00000
5	06	00	11022	10777
6	—30	00	10471	00000
7	00	00	00000	00000
10270	71	00	10777	10733
1	66	00	10655	11020
2	71	00	10714	10777
3	—30	00	10274	11021
4	71	00	10650	10777
5	66	00	10655	11022
6	71	00	10652	10777
7	66	00	10657	11024
10300	71	00	10731	10777
1	66	00	10660	11025
2	71	00	10705	10777
3	07	00	11020	00000
4	07	00	11021	00000
5	07	00	11022	00000
6	07	00	11024	00000
7	06	00	11025	10777
10310	—30	00	10471	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10320	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10330	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10340	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000

6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10350	05	00	11023	10700
1	—34	00	10352	10370
2	05	00	11023	10702
3	—34	00	10354	10400
4	05	00	11023	10703
5	—34	00	10356	10400
6	05	00	11023	10704
7	—34	00	10360	10400
10360	05	00	11023	10710
1	—34	00	10362	10370
2	05	00	11023	10711
3	—34	00	10370	10370
4	00	00	11023	00003
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10370	71	00	10640	10777
1	66	00	10655	11020
2	71	00	10712	10777
3	06	00	11020	10777
4	—30	00	10471	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10400	—10	00	10730	10124
1	—30	00	10102	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10410	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10420	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10430	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10440	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10450	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10460	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10470	—10	00	10732	10124
1	—10	03	10777	00000
2	—60	00	00600	10777
3	—20	03	10212	10660
4	—30	00	10072	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10500	00	00	00000	00000
1	—10	00	00000	00000
2	05	00	11023	10700
3	—34	00	10504	00000
4	05	00	11023	10701
5	—34	00	10506	11600
6	05	00	11023	10702
7	—34	00	10513	00000
10510	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	71	00	10777	10650
4	66	00	10655	11024
5	71	00	10777	10705
6	—30	00	10517	11020
7	71	00	10652	10777
10520	66	00	10657	11021
1	71	00	00653	10777
2	—30	00	10523	11022
3	71	00	10653	10713
4	07	00	11022	00000
5	—34	00	10526	10545
6	71	00	10653	10714
7	07	00	11022	00000
10530	—34	00	10531	10600
1	71	00	10653	10713
2	07	00	11022	00000
3	—34	00	10534	10603
4	71	00	10653	10716
5	07	00	11022	00000

6	—34	00	10537	10606
7	71	00	10653	10717
10540	70	01	10220	00000
1	—34	00	10542	10611
2	71	00	10653	10720
3	07	00	11022	00000
4	—34	00	10545	10614
5	71	00	10653	10721
6	07	00	11022	00000
7	—34	00	10550	10617
10550	71	00	10653	10722
1	0	00	11022	00000
2	—34	00	10553	10623
3	71	00	10653	10723
4	07	00	11022	00000
5	—34	00	10556	10627
1	71	00	10653	10725
7	07	00	11022	00000
10560	—34	00	10561	10633
1	71	00	10653	10725
2	07	00	11022	00000
3	—34	00	10564	10636
4	—00	00	00000	00000
5	71	10	10713	10654
6	66	00	10726	10776
7	00	00	00000	00000
10570	00	00	00000	00000
1	05	00	11020	11024
2	07	00	11021	00000
3	06	00	10776	10777
4	00	00	00000	00000
5	—30	00	10472	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
10600	10	00	10661	00010
1	—30	00	10565	00000
2	00	00	00000	00000
3	10	00	10663	00010
4	—30	00	10565	00000
5	00	00	00000	00000
6	10	00	10664	00010
7	—30	00	10565	00000
10610	00	00	00000	00000
1	10	00	10665	00010
2	—30	00	10565	00000
3	00	00	00000	00000
4	10	00	10666	000010
5	—30	00	10565	00000
6	00	00	00000	00000
7	11	00	10666	10661
10620	30	00	10565	00010
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	11	00	10666	10663
4	—03	00	01565	00010
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	11	00	10666	10664
10630	—30	00	10565	00010

1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	11	00	10666	10665
4	—30	00	10565	00010
5	00	00	00000	00000
6	11	00	10666	10666
7	—30	00	10565	00010
10640	00	00	00000	00000
1	—10	03	00000	00000
2	—60	03	00600	00000
3	—20	03	10641	10660
4	—30	00	10072	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	01	00000	00000
10650	00	03	14000	00000
1	00	10	00000	00000
2	00	04	00000	00000
3	00	00	03777	00000
4	00	00	00000	07777
5	00	00	00000	00002
6	00	00	00000	00104
7	00	00	00000	00100
10660	00	00	00000	00001
1	00	00	00000	10000
2	13	10	00000	00000
3	00	00	00001	00000
4	00	00	00001	10000
5	00	00	00002	00000
6	00	00	00002	10000
7	00	00	00000	00032
10670	00	00	00000	00100
1	77	17	17777	10000
2	77	17	14000	00000
3	00	02	14000	00000
4	70	00	00000	00000
5	60	00	00000	00000
6	40	00	00000	00000
7	50	00	00000	00000
10700	01	00	00000	00000
1	02	00	00000	00000
2	03	00	00000	00000
3	04	00	00000	00000
4	05	00	00000	00000
5	—77	00	00000	07777
6	00	00	04000	00000
7	00	00	00400	00000
10710	06	00	00000	00000
1	07	00	00000	00000
2	—77	00	01557	17777
3	00	00	00400	00400
4	00	00	01000	01000
5	00	00	02000	01400
6	00	00	01400	02000
7	00	00	02400	02400
10720	00	00	03000	03000
1	00	00	03400	03400
2	00	00	00200	00200
3	00	00	00600	00600
4	00	00	01200	01200

5	00	00	01600	01400
6	00	00	00000	00014
7	—77	00	10000	07777
10730	—30	00	10470	00000
1	00	00	00377	10000
2	—03	00	07012	12000
3	00	00	02000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
11600	71	00	10777	10705
1	—30	00	11602	11020
2	71	00	10777	10652
3	66	00	10657	11021
4	71	00	10777	11577
5	—30	00	11606	11022
6	71	00	10777	11576
7	66	00	10660	11023
11610	71	00	10650	10777
1	07	00	11022	00000
2	65	00	11020	11021
3	07	00	11023	00000
4	07	00	11023	00000
5	06	00	11024	10777
6	—30	00	10471	00000
7	15	05	05646	11531
11620	11	03	00000	00000
1	—30	00	11622	10777
2	71	00	10777	10672
3	66	00	10655	11020
4	71	00	10777	10653
5	66	00	10660	11021
6	71	00	10654	10777
7	07	00	11020	00000
11630	06	00	11021	10777
1	—30	03	11632	00000
2	—60	03	00600	00000
3	—20	03	11620	10660
4	—30	00	10072	00000
5	15	07	01616	00736
6	20	03	04646	13515
7	12	07	01646	11515

00100	11	01	00000	00000
1	05	11	00000	00000
2	40	00	00000	00102
3	11	02	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	71	00	00157	00006
6	—30	00	00107	00007
7	71	07	00153	00000
00110	—30	00	00111	00017
1	73	00	00156	00000
2	07	00	00156	00101
3	—34	00	00123	00114
4	10	00	00012	00017
5	23	00	00010	00000
6	—32	00	00117	00120
7	76	00	00147	00017
00120	71	07	00152	00000
1	77	00	00015	00000
2	76	07	00017	00000
3	—20	07	00107	00157
4	64	00	00113	00012
5	04	00	00150	00147
6	64	00	00112	00015
7	04	00	00151	00152
00130	04	00	00151	00153
1	04	00	00154	00156
2	00	00	01100	00000
3	—00	00	00000	00000
4	40	00	00000	00002
5	00	00	17777	00000
6	77	17	00000	00000
7	00	00	00001	00000
00140	40	00	00000	00001
1	00	00	02100	00000
2	00	00	06500	00000
3	00	00	03200	00000
4	77	17	17777	17777
5	00	03	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	14	00000	00000
00150	00	00	00000	00001
1	00	00	00000	07777
2	00	00	00000	00004
3	00	00	00000	00016
4	00	00	00000	00100
5	00	00	00000	00017
6	00	00	00100	00000
7	00	00	00200	00000
00160	00	00	00400	00000
1	00	00	01000	00000
2	00	00	02000	00000
3	00	01	00000	00000
4	00	00	10000	00000
5	00	01	00000	00000
6	00	02	00000	00000
7	00	04	00000	00000
00170	00	10	00000	00000
1	01	00	00000	00000
2	02	00	00000	00000
3	04	00	00000	00000
4	10	00	00000	00000
5	20	00	00000	00000
6	40	00	00000	00000
7	77	00	00000	00000
00200	—30	00	00060	00000
1	73	00	00177	00015
2	—34	00	00203	00264
3	—10	00	00100	00001
4	71	00	00176	00050
5	—34	00	00206	00207

6	—60	01	01200	01000
7	71	00	00175	00050
00210	—34	00	00211	00240
1	—10	00	00155	00051
2	—10	00	00154	00052
3	—10	00	00000	00053
4	71	01	00051	01000
5	67	00	00052	00132
6	07	00	00153	00115
7	—34	00	00220	00226
00220	04	00	00051	00053
1	10	00	00152	00052
2	64	00	00152	00051
3	—34	00	00214	00224
4	—00	01	00153	01000
5	—34	00	00211	00211
6	71	01	00053	01000
7	72	00	00151	00040
00230	—31	00	00656	00017
1	—30	00	00232	00051
2	10	00	00152	00052
3	65	01	00052	01000
4	72	00	00151	00040
5	—31	00	00656	00017
6	67	00	00201	00032
7	06	01	00051	01000
00240	71	00	00174	00050
1	—34	00	00242	00243
2	—60	01	01200	02100
3	71	00	00173	00050
4	—34	00	00245	00251
5	05	01	00000	02100
6	—30	00	00247	00040
7	—31	00	00633	00017
00250	—30	01	00251	02100
1	71	00	00172	00050
2	—34	00	00253	00254
3	—60	01	01200	03200
4	71	00	00171	00050
5	—34	00	00256	00262
6	05	01	00000	03200
7	—30	00	00260	00040
00260	—31	00	00633	00017
1	—30	01	00262	03200
2	—60	00	01600	00000
3	—20	01	00204	00150
4	71	00	00147	00050
5	—34	00	00266	00310
6	—10	00	00100	00001
7	71	00	00170	00050
00270	—34	00	00271	00275
1	05	01	00000	04300
2	—34	00	00273	00275
3	—60	00	00600	00001
4	—60	01	01200	04300
5	71	00	00167	00050
6	—34	00	00277	00306
7	05	01	00000	04300
00300	—34	00	00303	00301
1	—10	01	00146	04300
2	—34	00	00306	00306
3	—30	00	00304	00040
4	—31	00	00633	00017
5	—30	01	00306	04300
6	—20	01	00267	00150
7	—60	00	01600	00000
00310	71	00	00145	00050
1	—34	00	00312	00326
2	—10	00	00101	00001
3	71	00	00166	00050
4	—34	00	00315	00316
5	—60	01	01200	05400
6	71	00	00165	00050
7	—34	00	00320	00324
00320	05	01	00000	05400
1	—30	00	00322	00040
2	—31	00	00633	00017
3	—30	01	00324	05400
4	—20	01	00313	00150
5	—60	00	01600	00000
6	71	00	00163	00050
7	—34	00	00330	00337
00330	—10	00	00100	00001
1	71	01	00144	02100
2	—30	00	00333	00040
3	—31	00	00743	00017
4	45	01	00042	03200
5	—30	01	00336	03200
6	—20	01	00331	00150
7	71	00	00164	00050
00340	—34	00	00341	00346
1	65	00	00215	00100
2	07	00	00100	00000
3	06	00	00143	00345
4	—31	00	00673	00017
5	00	00	00000	00000
6	71	00	00162	00050
7	—34	00	00350	00364
00350	65	00	00215	00100
1	07	00	00100	00000
2	06	00	00142	00363
3	—10	00	00100	00001
4	05	01	00000	03200
5	—30	00	00356	00040
6	36	00	00040	00040
7	45	00	00040	00140
00360	—30	01	00361	06500
1	—20	01	00354	00150
2	—31	00	00673	00017
3	00	00	00000	00000
4	71	00	00160	00050
5	—34	00	00366	00374
6	—10	00	00100	00001
7	05	01	00000	01000
00370	—30	00	00371	00002
1	25	02	05400	05400
2	—30	01	00373	02100
3	—20	01	00367	00150
4	71	00	00161	00050
5	—34	00	00376	00403

```
     6    65  00  00215  00100
     7    07  00  00100  00000
00400     06  00  00141  00402
     1   —31  00  00673  00017
     2    00  00  00000  00000
     3    71  00  00156  00050
     4   —34  00  00405  00466
     5   —10  00  00101  00001
     6   —10  01  00000  06500
     7   —20  01  00406  00150
00410    —10  00  00100  00001
     1   —10  01  01000  00051
     2    66  00  00216  00002
     3    10  02  00150  06500
     4    71  00  00151  00051
     5   —30  00  00416  00002
     6    10  02  00150  06500
     7   —20  01  00411  00137
00420     21  00  00163  00101
     1   —30  00  00422  00001
     2    71  01  00135  06500
     3   —30  00  00424  00051
     4    71  01  00151  06500
     5    67  00  00201  00000
     6    12  00  00051  00051
     7    04  01  00051  06501
00430    —20  01  00422  00150
     1   —10  00  00100  00001
     2    71  00  00151  00001
     3   —30  00  00434  00051
     4    65  01  00216  01000
     5   —30  00  00436  00002
     6    71  02  00135  06500
     7    66  00  00216  00003
00440     71  02  00136  06500
     1    67  00  00215  00000
     2    12  00  00003  00003
     3    10  02  00163  06500
     4   —11  03  00051  10000
     5    71  01  00151  01000
     6   —30  00  00447  00002
     7    71  02  00135  06500
00450     66  00  00216  00003
     1    71  02  00136  06500
     2    67  00  00215  00000
     3    12  00  00003  00003
     4    10  02  00163  06500
     5   —10  03  00051  10000
     6   —20  01  00432  00150
     7   —10  00  00101  00001
00460     71  01  00135  06500
     1    66  00  00216  00002
     2    21  01  00150  06500
     3    66  00  00236  00051
     4    04  02  00051  10000
     5   —20  01  00460  00150
     6    71  00  00157  00050
     7   —34  00  00470  00510
00470    —10  00  00101  00001
     1   —10  00  00000  00051
     2   —60  00  00000  00051
     3    71  00  00151  00001
     4   —30  00  00475  00002
     5    71  01  00136  10000
     6    06  00  00002  00002
     7    13  00  00163  00000
00500     67  00  00215  00000
     1    12  00  00001  00001
     2   —60  00  01600  00000
     3   —60  02  00600  10000
     4   —20  02  00503  00150
     5   —60  00  01600  00000
     6    10  00  00137  00051
     7   —20  01  00472  00000
00510    —10  00  00100  00001
     1    05  01  00000  02100
     2   —30  00  00513  00051
     3    72  00  00144  00040
     4   —31  00  00743  00017
     5    36  00  00134  00040
     6    45  01  00040  03200
     7   —33  00  00520  00521
00520    —30  01  00523  06500
     1   —00  01  00001  02100
     2   —34  00  00521  00521
     3    35  01  00042  03200
     4   —30  00  00525  00040
     5   —14  00  00051  00040
     6    05  01  00133  04300
     7    16  01  00040  01000
00530    —20  01  00511  00150
     1   —10  00  00000  00051
     2   —10  00  00101  00001
     3   —10  00  00146  00052
     4   —30  00  00535  00053
     5    71  01  10000  00136
     6   —30  00  00537  00054
     7    13  00  00163  00000
00540     66  00  00216  00055
     1    71  00  00135  00001
     2    06  00  00054  00054
     3   —30  00  00544  00002
     4   —10  02  10000  00003
     5    72  00  00133  00056
     6    05  03  00056  01000
     7    16  00  00052  00052
00550     15  03  00053  06500
     1   —30  00  00552  00053
     2   —20  02  00544  00137
     3    55  00  00052  00102
     4   —32  00  00607  00555
     5   —30  00  00556  00051
     6    45  00  00053  00052
     7    06  00  00133  00052
00560    —10  00  00054  00002
     1   —10  02  10000  00003
     2    73  00  00133  00000
     3    06  00  00052  00053
     4    14  03  00053  02100
     5   —30  00  00566  00053
```

```
     6  —12  00  00053  00040
     7   05  03  00000  01000
00570  —30  03  00571  05400
     1  —30  00  00572  00054
     2  —31  00  00743  00017
     3   35  03  00042  03200
     4  —30  00  00575  00040
     5  —14  00  00053  00040
     6   05  03  00133  04300
     7   16  03  00040  01000
00600   27  00  00054  00000
     1   47  00  00052  00000
     2   72  03  00144  06500
     3  —20  02  00561  00137
     4   10  00  00055  00001
     5  —20  01  00533  00000
     6  —34  00  00531  00531
     7   10  00  00055  00001
00610  —20  01  00533  00000
     1   05  00  00051  00000
     2  —32  00  00613  00531
     3  —10  00  00000  00001
     4  —10  01  00103  00051
     5  —34  00  00616  00631
     6   22  00  00163  00051
     7   67  00  00215  00000
00620   07  00  00051  00000
     1   12  00  00141  00624
     2   22  00  00132  00626
     3  —31  00  00673  00017
     4   11  01  02100  00221
     5  —31  00  00673  00017
     6   11  01  01000  00221
     7   11  00  00137  00001
00630  —30  00  00614  00001
     1  —30  00  07617  00000
     2  —34  00  00613  00613
     3  —10  00  00653  00041
     4  —75  00  00653  00042
     5  —10  00  00040  00044
     6   66  00  00637  00045
     7   07  00  00654  00040
00640  —34  00  00643  00641
     1  —10  00  00043  00041
     2  —30  00  00646  00000
     3   35  00  00043  00045
     4   16  00  00042  00042
     5   34  00  00655  00043
     6   64  00  00651  00044
     7  —34  00  00636  00650
00650  —72  00  00655  00042
     1   47  00  00041  00104
     2  —30  17  00000  00042
     3   40  00  00000  00001
     4   70  00  00000  00000
     5   50  00  00000  00004
     6  —10  00  00671  00041
     7  —10  00  00000  00042
00660  —10  00  00040  00043
     1   67  00  00661  00040
     2   33  00  00041  00104
     3   12  00  00042  00042
     4   40  00  00672  00041
     5   64  00  00662  00043
     6  —34  00  00661  00667
     7  —10  00  00042  00000
00670  —30  17  00000  00000
     1   00  00  00000  00020
     2   06  06  06314  14631
     3  —10  17  00000  00016
     4   66  00  00675  00040
     5   67  00  00714  00032
     6   06  00  00016  00016
     7  —10  00  00040  00015
00700  —10  00  00737  00041
     1  —10  00  00740  00042
     2  —10  16  00000  00043
     3  —30  00  00706  00044
     4   34  00  00741  00041
     5   64  00  00732  00042
     6   55  00  00041  00043
     7  —32  00  00704  00710
00710   35  00  00041  00041
     1  —73  00  00041  00043
     2  —16  00  00000  00041
     3  —16  00  00000  00044
     4   67  00  00043  00132
     5   42  00  00041  00041
     6  —10  00  00742  00043
     7   71  00  00043  00042
00720  —34  00  00721  00724
     1   64  00  00732  00041
     2   64  00  00732  00043
     3  —34  00  00717  00731
     4   30  00  00741  00041
     5   72  00  00043  00044
     6   76  00  00042  00042
     7   21  00  00044  00041
00730  —30  00  00722  00041
     1  —30  00  07611  00000
     2  —20  15  00735  00104
     3  —30  00  07614  00000
     4  —10  00  00040  00015
     5  —20  16  00700  00736
     6  —30  17  00001  00000
     7   40  00  00000  00001
00740   64  00  00000  00000
     1   50  00  00000  00004
     2  —74  00  00000  00000
     3   55  00  00002  00002
     4   16  00  00040  00041
     5  —32  00  00750  00746
     6  —00  00  00017  00040
     7  —30  00  00746  00000
00750  —34  00  00751  00771
     1   63  00  00751  00036
     2   66  00  00772  00042
     3  —16  00  00000  00041
     4   37  00  00773  00136
     5   16  00  00772  00043
```

6	45	00	00043	00041	7	60	00	00754	00042
7	16	00	00043	00043	00770	—72	00	00042	00041
00760	44	00	00043	00041	1	—30	17	00000	00042
1	—73	00	00743	00043	2	65	06	12000	00101
2	16	00	00041	00041	3	45	14	07400	00000
3	71	00	00774	00042	4	00	10	00000	00000
4	—34	00	00765	00767	5	55	04	01171	11401
5	34	00	00775	00041	6	00	00	00000	00000
6	20	00	00774	00042	7	47	05	05437	13313

Выдача на АЦПУ

07575	—10	00	07740	00004	4	—62	00	00400	07760
6	—10	04	03177	16277	07655	—62	00	02004	07757
7	—20	04	07576	07740	6	—62	06	01405	13000
07600	—10	00	07740	00004	7	—62	00	02015	07757
1	—10	04	00777	12777	07660	—62	06	01017	14100
2	—20	04	07601	07740	1	—62	00	02026	07757
3	—10	00	07766	00004	2	—62	00	03016	07761
4	64	04	07767	12777	3	—62	00	03027	07761
5	—30	00	07716	00000	4	—62	06	01030	15200
6	13	00	00000	00050	5	—62	00	02037	07757
7	73	00	00177	00015	6	—62	00	03000	07761
07610	—34	00	00203	00264	7	—62	06	01440	16300
1	—10	04	00042	14100	07670	—62	00	02050	07757
2	10	00	00150	00004	1	—62	00	03051	07761
3	—30	00	00732	00000	2	—62	00	03052	07761
4	—10	00	07741	07611	3	—62	00	02100	07757
5	—10	00	00000	00004	4	—62	00	03600	00000
6	—30	00	00734	00000	5	10	00	07762	00006
7	—10	00	00103	00006	6	10	00	07763	07760
07620	—10	00	07742	00007	7	—20	07	07642	00000
1	—10	00	07743	00005	07700	—10	00	07743	00005
2	—62	05	02000	07744	1	—62	05	02000	07744
3	—20	05	07622	07743	2	—20	05	07701	07743
4	—62	00	03600	00000	3	—62	00	03600	00000
5	—62	00	03400	07745	4	—10	00	07764	00005
6	—62	00	02001	07746	5	—62	05	00600	00000
7	—62	00	02407	07747	6	—20	05	07705	00000
07630	—62	00	03412	07750	7	20	00	07742	00006
1	—62	00	03421	07751	07710	—32	00	07620	07711
2	—62	00	03432	07752	1	—10	00	00000	07760
3	—62	00	03443	07753	2	—10	00	07765	07611
4	—62	00	02100	07754	3	—10	00	00000	00004
5	—62	00	03600	00000	4	—00	00	00144	00144
6	—10	00	07743	00005	5	—30	00	07617	00000
7	—62	05	02000	07744	6	—20	04	07604	07766
07640	—20	05	07637	07743	7	—10	00	07766	00004
1	—62	00	03600	00000	07720	64	04	07767	16277
2	05	06	07756	13000	1	—20	04	07720	07766
3	—34	00	07654	07644	2	—10	00	00000	00004
4	—62	00	01200	00000	3	—30	00	07606	00000
5	—62	00	02004	07757	4	00	00	00000	00000
6	—62	00	02015	07757	5	00	00	00000	00000
7	—62	00	02026	07757	6	00	00	00000	00000
07650	—62	00	02037	07757	7	00	00	00000	00000
1	—62	00	02050	07757	07730	00	00	00000	00000
2	—62	00	02100	07757	1	00	00	00000	00000
3	—30	00	07674	00000	2	00	00	00000	00000

3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
07735	00	00	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	00	00	00000	00000
07740	43	17	00001	00001
1	—10	04	00042	15200
2	03	13	00000	00000
3	03	17	00001	00000
4	13	00	00000	00000
5	70	16	00726	13770
6	57	00	00000	00000
7	52	13	12200	00000
07750	70	16	03417	17070
1	65	16	03434	07037
2	76	16	03434	07037
3	40	16	03434	07037
4	37	00	00000	00000
5	00	00	04000	00000
6	00	00	00000	00000
7	37	00	00000	00000
07760	00	00	00000	00000
1	70	00	00000	00000
2	00	00	00000	00001
3	00	02	00000	00000
4	00	07	00000	00000
5	10	04	00042	14100
6	43	17	00000	00001
7	00	00	00000	00010
07770	00	00	00000	00000
1	00	00	00000	00000
2	00	00	00000	00000
3	00	00	00000	00000
4	00	00	00000	00000
5	00	000	00000	00000
6	00	00	00000	00000
7	—76	17	00537	13023
10000	—00	14	00000	00000

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

I. Классификация задач и области использования средств вычислительной техники 5
I.1. Вентиляционные сети и задачи, решаемые при их расчетах . . 5
I.2. Этапы расчета вентиляционной сети 9
I.3. Методы и средства расчета вентиляционных сетей . . . 12
I.4. Критерии оценки рациональных областей применения средств вычислительной техники 16
I.5. Области применения средств вычислительной техники . . 17

II. Методы получения и подготовки исходных данных для расчета вентиляционных сетей 23
II.1. Составление расчетных схем аэродинамических съемок . . 24
II.2. Приборы для депрессионных съемок 28
II.3. Методы и способы проведения депрессионных съемок . . 33
II.4. Обследование вентиляторных установок 43
II.5. Оформление результатов воздушно-депрессионной съемки . 52
II.6. Составление расчетных схем, анализируемых вариантов проветривания 53
II.7. Обработка и накопление информации для расчета вентиляционных сетей на ЭВМ 55
II.8. Внесение естественной тяги в расчетные схемы комбинациями условных вентиляторов 67
II.9. Задачи, при решении которых необходимо учитывать естественные депрессии 73
II.10. Методы учета естественных депрессий про выборе вентиляторов 74

III. Методика решения вентиляционных задач с помощью ЭВМ и аналоговых устройств 78
III.1 Принцип электрического моделирования вентиляционных сетей 78
III.2. Основные требования к приборам электрической аналогии для расчета шахтных вентиляционных сетей. Краткая техническая характеристика электромодели ЭВМС-6 80
III.3. Методика решения вентиляционных задач с использованием электроаналоговых установок 83
III.4. Математическое обоснование метода расчета и алгоритм для решения на ЭВМ 89
III.5. Применение метода узловых матриц при нагнетательном способе проветривания 108
III.6. Применение метода узловых матриц при учете естественных депрессий 110

III.7. Распределение оперативной памяти под промежуточные данные 110
III.8. Анализ совместной работы вентиляторов главного проветривания 113
III.9. Пример решения задачи свободного распределения воздуха 114
III.10. Программа переработки программ из режима машины «Минск-22» в режим «Т» (ППРТ) 126
III.11. Описание программы расчета шахтных вентиляционных сетей для ЭВМ «Минск-32» 129
III.12. Методика проверки устойчивости режимов работы вентиляторов 131
III.13. Расчет равномерно распределенных утечек через зону обрушения 136

Приложения 144

ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ

по расчету вентиляционных сетей с применением аналоговых и цифровых вычислительных машин

Ответственный за выпуск	проф. докт. техн. наук **А. А. Мясников**
Редактор	**Г. А. Олейникова**
Технический редактор	**Г. Д. Ладурко**
Корректоры	**Т. Б. Зайкина** **М. С. Репецкая**

Подписано к печати 15/VIII-74 г. Печ. л. 11.

ОП17900 Заказ 7414 Тираж 600 экз. Цена 95 коп.

Прокопьевское полиграфическое производственное объединение управления издательств, полиграфии и книжной торговли Кемеровского облисполкома

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
44	23 сверху	$h\,g$	$h\,д$
	11 снизу	$h\,g$	$h\,д$
54	5 сверху	один	одним
58	Табл. 8	№№ п п | Код сети | Q, $м^3/с$ | Q, $м^3/мин$ | H, $мм$ $вод.\,ст.$ | $A=\frac{1}{\sqrt{R}}$ | R, кη | $R_{уд}$ кη | L, $м$	№№ п п | Код сети | Q, $м^3/с$ | Q, $м^3/мин$ | H, $мм$ $вод.\,ст.$ | $A=\frac{1}{\sqrt{R}}$ | R, кμ | $R_у$ кμ | L, $м$
86	Подрисуночная подпись к рис. 16.	К монтажу схемы вентиляционных соединений ЭМВС-6	К монтажу схемы вентиляционных соединений на ЭМВС-6
93	14 снизу	$\overline{H}_к=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i} h_i$	$\overline{H}_к=\sum_{i=1}^{n} C_{к,i} h_i$
100	7 сверху	и, следовательно, $\sum_{i=0}^{n} C_{кi} Q_к=-Q_к+Q_к=0$	$\sum_{i=0}^{n} C_{кi} Q_к=-Q_к+Q_к=0$
		$\sum_{i=0}^{n} S=0$	и, следовательно, $\sum_{i=0}^{n} S=0$
112	1 снизу	— депрессия элементов	— депрессия элементов
		($j=0,1,$ .. № 1)	$j=0,1,$ ... N—)