

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

## **СТРОИТЕЛЬНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ**

Учебно-методическое пособие

*Электронное издание*

Красноярск  
СФУ  
2021

УДК 624(07)  
ББК 38.112я73  
С8631

Составители: **Урбаев** Денис Александрович  
**Шевнина** Екатерина Васильевна  
**Кирсанов** Александр Константинович

**С863 Строительная геотехнология** : учеб.-метод пособие / сост.: Д. А. Урбаев, Е. В. Шевнина, А. К. Кирсанов. (3,9 Мб). – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I ; 128 Mb RAM ; Windows 98/XP/7 ; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

Приведены основные сведения по строительству подземных выработок. Рассматриваются такие темы как расчёт и построение различных сечений подземных горных выработок, подбор вариантов их крепления, расчёт параметров буровзрывных работ для их проходки, а также их проветривание. К каждой теме представлен список вопросов для самоконтроля, а также даны примеры решения некоторых рассматриваемых задач.

Предназначено для научных сотрудников, аспирантов и инженерно-технических работников, специализирующихся в области горного дела. Может быть полезно студентам, обучающимся по специальности 21.05.04 «Горное дело».

**УДК 624(07)**  
**ББК 38.112я73**

© Сибирский федеральный  
университет, 2021

*Электронное учебное издание*

Подготовлено к публикации издательством  
Библиотечно-издательского комплекса

Подписано в свет 04.03.2021. Заказ №12915  
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Библиотечно-издательский комплекс  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а  
Тел. (391)206-26-16; <http://rio.sfu-kras.ru>  
E-mail: [publishing\\_house@sfu-kras.ru](mailto:publishing_house@sfu-kras.ru)

## ВВЕДЕНИЕ

Основой развития страны в будущем будет являться освоение природных ресурсов. До сих пор большая часть таких ресурсов добывалась из недр земли. Эта тенденция сохранится и в ближайшее время.

В связи с этим, актуальной задачей является подготовка специалистов-недропользователей, способных решать инженерные задачи как в целом в горном деле, так и в узкоспециализированных вопросах при строительстве и реконструкции подземных объектов.

Стоит отметить, что, по мнению авторов [1], термины «шахтное строительство» и «подземное строительство» являются составными частями единой сферы деятельности человека, именуемой «горное дело», так как любое проникновение в недра земли – это горные работы по разведке, подземному строительству или добыче полезных ископаемых.

В соответствии с учебной программой, дисциплина «Строительная геотехнология» является основным курсом, обеспечивающим полный объём знаний у студентов в области строительства горных выработок и подземных сооружений. Этот курс служит базой для изучения специальных дисциплин, касающихся строительства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки, а также других подземных объектов народного хозяйства. Он включает в себя лекционные и практические занятия.

В ходе выполнения практических работ студент получает навыки по выбору формы и расчёту размеров поперечного сечения горных выработок, выбору типа крепи и определения параметров горного давления в широком спектре горнотехнических условий, овладевает методиками расчёта параметров буровзрывных работ, составлению паспортов буровзрывных работ, проектирует проветривание забоя после взрывных работ и организацию работ в забое.

Учебно-методическое пособие содержит описание шести практических работ, которые необходимо выполнить в течение одного семестра.

Каждая работа включает краткие теоретические сведения, задачи и задания, выполняемые студентом самостоятельно в соответствии с вариантами, определёнными преподавателем.

Отчёт по практической работе должен содержать формулировку цели работы, условия задач и их решения, а также выводы, самостоятельно сформулированные студентом.

При защите отчёта студент должен продемонстрировать теоретические знания по рассматриваемой тематике и методике решения инженерных задач.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

## РАСЧЁТ РАЗМЕРОВ И ПОСТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

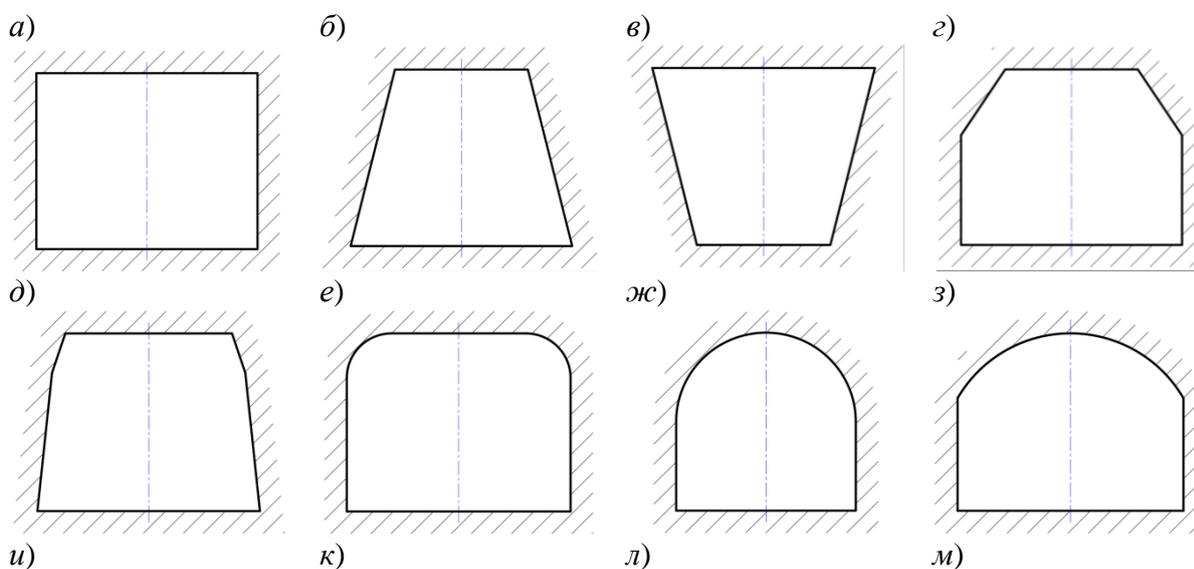
**Цель работы:** получение практических навыков по определению формы и расчёту размеров поперечного сечения горизонтальных горных выработок с учётом требований правил безопасности.

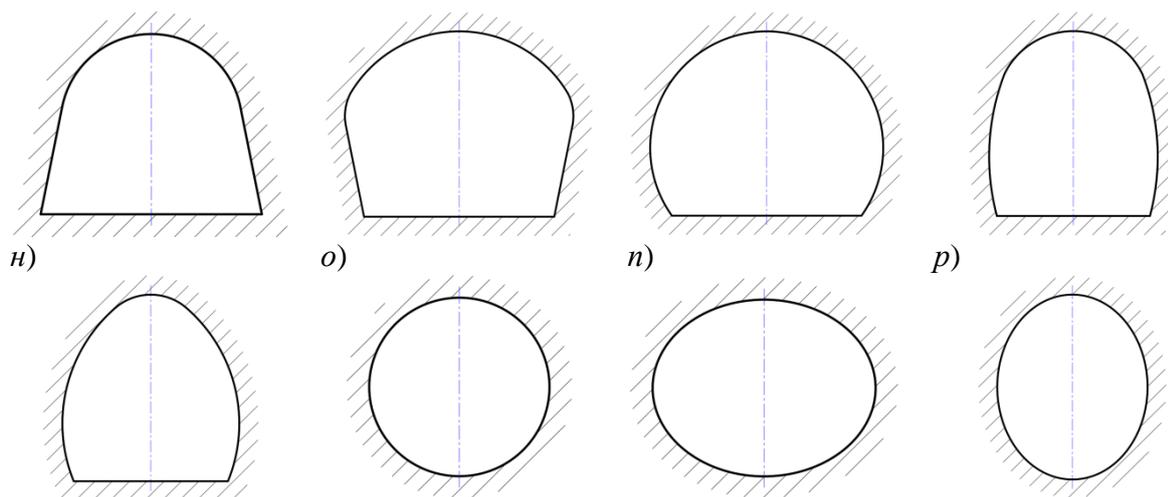
### Краткие теоретические сведения

Горизонтальные горные выработки по своему назначению разделяются на горно-капитальные и подготовительно-нарезные. Проходка выработок относится к наиболее трудоёмким и дорогостоящим видам горных работ, поскольку требует применения ручного труда на многих вспомогательных операциях, дополнительного проветривания тупиковых забоев, проведения мероприятий по предупреждению горных ударов и снижению заколообразования. Сказывается на условиях проходки и удалённость от основных коммуникаций.

Эффективность технологии проходки горных выработок и последующего их поддержания в период эксплуатации зависит от того, насколько правильно принята форма и определены размеры поперечной выработки, выбрана и рассчитана постоянная крепь, составлен паспорт буровзрывных работ. Все расчёты должны выполняться с учётом характеристик применяемого оборудования.

**Форма сечения горной выработки** – это геометрическая форма её поперечного сечения. Форма выработки выбирается с учётом свойств пересекаемых ею пород, величины и направления горного давления, конструкции крепи, срока службы, размеров выработки, а также способа её проведения. При прочных устойчивых породах, когда крепь не требуется, выработке может быть придана любая форма. Чаще применяют сводчатую, прямоугольную и трапециевидную формы. Примеры существующих форм поперечного сечения выработок представлены на рисунке 1.1.





а – прямоугольная; б, в – трапецевидная; г – полигональная; д – бочкообразная;  
 е, ж – трехцентровой пониженный и полуциркульный свод с вертикальными стенками;  
 з – сводчатая; и – циркульный пониженный свод с наклонными стенками;  
 к – полуциркульный свод; л, м, н – подковообразные; о – круговая;  
 п, р – эллиптическая

Рис. 1.1 – Формы поперечного сечения горных выработок

В горизонтальных выработках при деревянной, металлической и сборной железобетонной крепях из прямолинейных элементов применяют прямоугольную, трапецевидную и полигональную формы, а при арочных металлических и сборных железобетонных крепях – сводчатую с вертикальными и наклонными стенками.

При неустойчивых породах в кровле и бортах выработки используют сводчатые и подковообразные крепи из металла, монолитного бетона и железобетона, а также тубингов или блоков. Как правило, в неустойчивых породах для повышения безопасности работ применяют временную крепь.

При всестороннем давлении используют сводчатую и подковообразную крепи с обратным сводом, а в слабых неустойчивых породах – кольцевые или эллиптические крепи, т.е. замкнутые крепи.

**Размеры поперечного сечения горных выработок** зависят от геологических, горно-технологических и организационно-технических факторов (рис. 1.2).

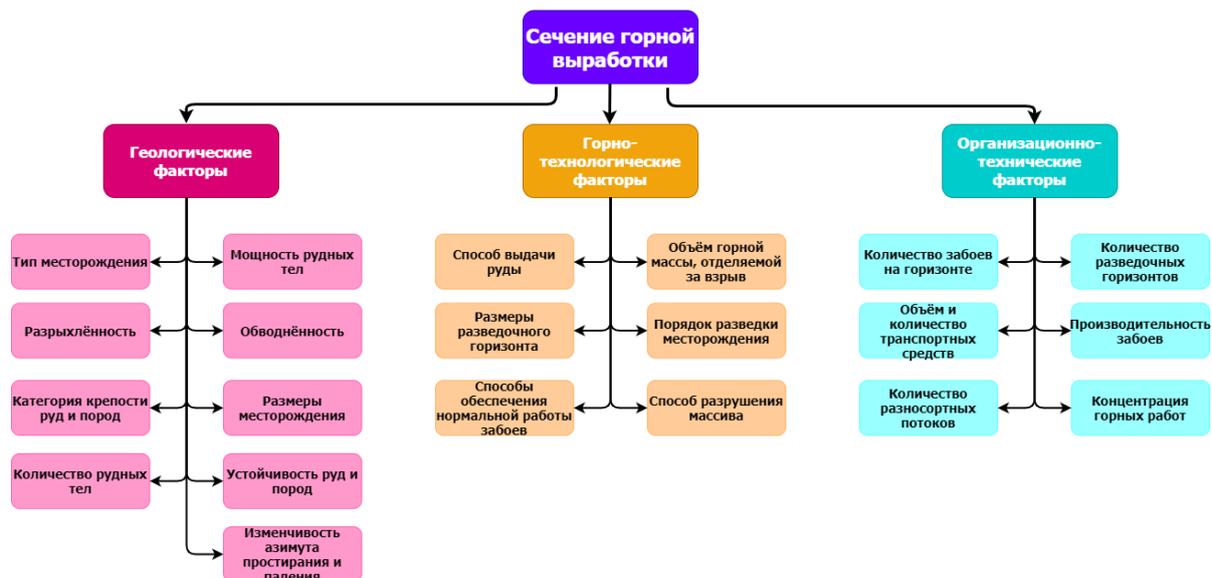


Рис. 1.2 – Факторы, влияющие на размеры сечения выработок

К основным же факторам, значительно влияющим на размеры сечения выработок относят назначение самой выработки, крепость, устойчивости руд и пород (тип, конструкция крепи), условий проведения (мягкие, средней крепости, крепкие, талые, мёрзлые, пучащие, водонасыщенные породы). Также размеры горизонтальных выработок определяют исходя из размеров транспортного оборудования, используемого для выдачи горной массы, числа рельсовых путей, способа передвижения людей, наличия оборудования различного назначения (силовых кабелей, трубопроводов и др.) и количества воздуха, проходящего по данной выработке. При расчёте размеров и площади сечения выработки в свету учитывают зазоры, отвечающие требованиям правил безопасности.

Основные параметры выработки регламентируются статьями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых» [2].

### **Зазоры**

*Статья 90.* В горизонтальных выработках, где применяются рельсовые транспортные средства, должны быть обеспечены свободные проходы для людей не менее 0,7 м между боком выработки, размещённым оборудованием и наиболее выступающими частями подвижных средств. Ширина свободного прохода для людей должна быть выдержана по всей длине выработки, высота прохода должна быть не менее 2,0 м. С противоположной стороны выработки должны быть обеспечены зазоры не менее 0,25 м между боком выработки и наиболее выступающими частями подвижных средств.

Расстояние между осями рельсовых путей в двухпутевых выработках на всей их протяжённости должно быть такое, чтобы зазор между наиболее выступающими частями встречных подвижных средств был не менее 0,2 м.

*Статья 92.* Зазоры между наиболее выступающей частью транспортного средства и боком (крепью) выработки или размещённым в выработке оборудованием должны приниматься в зависимости от назначения выработок и скорости передвижения машины:

1) в выработках, предназначенных для транспортирования руды и сообщения с очистными забоями, должны приниматься зазоры не менее 1,2 м со стороны прохода для людей и 0,5 м с противоположной стороны. При устройстве пешеходной дорожки высотой 0,3 м и шириной 0,8 м или при устройстве ниш через каждые 25 м зазор со стороны свободного прохода для людей может быть уменьшен до 1,0 м. Ниши должны устраиваться высотой не менее 2 м, шириной не менее 1,2 м, глубиной не менее 0,7 м;

2) в погрузочно-доставочных выработках очистных блоков, предназначенных для погрузки руды и доставки её к транспортной выработке, в выработках, находящихся в проходке, при скорости движения машин, не превышающих 10 км/ч, и при исключении возможности нахождения в таких выработках людей, не связанных с работой машин, должны приниматься зазоры не менее 0,5 м с каждой стороны;

3) в доставочных выработках (наклонные съезды), предназначенных для доставки в очистные блоки оборудования, материалов и людей (в машинах), при скоростях движения свыше 10 км/ч:

- по 0,6 м с каждой стороны при исключении случаев передвижения людей пешком;

- 1,2 м со стороны прохода для людей и 0,5 м с другой стороны, если передвижение людей пешком не исключается.

4) Высота выработки для свободного прохода людей по всей её протяженности должна составлять не менее 2 м.

*Статья 337.* Высота подвески контактного провода должна быть не менее 1,8 м от головки рельса. На посадочных и погрузочно-разгрузочных площадках, а также в местах пересечения выработок, по которым передвигаются люди, с теми выработками, где имеется контактный провод, высота подвески должна быть не менее 2,0 м.

Расстояние от контактного провода до навала горной массы в вагоне должно быть не менее 0,2 м.

Контактный провод в околоствольном дворе на участке передвижения людей до места посадки в вагонетки должен быть подвешен на высоте не менее 2,2 м, а в остальных выработках околоствольного двора – не менее 2 м от уровня головки рельсов.

### ***Рельсы***

*Статья 325.* В околоствольных дворах, на основных откаточных выработках, в наклонных стволах и уклонах, в которых эксплуатируются вагонетки ёмкостью до 2,2 м<sup>3</sup> и электровозы со сцепным весом до 7 т, необходимо применять рельсы типа Р-24. При большей ёмкости вагонеток должны применяться рельсы типа Р-33 и Р-38 и более.

Высота рельсов соответственно равна 107, 128 и 135 мм.

Допускается применение рельсов типа Р-18 на промежуточных и вентиляционных штреках при эксплуатации вагонеток ёмкостью до 1 м<sup>3</sup>, электровозов со сцепным весом до 4 т.

### **Шпалы**

*Статья 326.* При локомотивной откатке шахтные рельсовые пути (за исключением выработок с пучащей почвой и со сроком службы менее 2-х лет) должны быть уложены на щебёночном или гравийном балласте из крепких пород. Толщина балластного слоя под шпалами должна быть не менее 90 мм.

Для устройства путей применяют деревянные и железобетонные шпалы. Деревянные шпалы из бруса толщиной 110-130 мм с шириной нижней постели 180-240 мм. Длина шпал при ширине колеи 600 мм составляет 1100 мм, при колее 750 мм – 1200 мм и при колее 900 мм – 1400 мм. Железобетонные шпалы имеют толщину 110-145 мм с шириной нижней постели 190-220 мм. Шпалы укладывают на устроенном полотне с последующей балластировкой, причём шпалы погружают в балласт на 2/3 их толщины. Суммарная высота верхнего строения пути при локомотивной откатке составляет 320-350 мм.

### **Уклон выработок**

*Статья 327.* Горизонтальные выработки, по которым производится откатка локомотивами, на всём протяжении должны иметь уклон в сторону околоствольного двора или устья штолен не более 0,005.

### **Водоотводные канавки**

Шахтные воды в подземных выработках должны отводиться в водосборники по закрытым канавкам или по специальным трубопроводам и максимально использоваться в технологических процессах переработки руд.

Размеры сечения водоотводных канавок определяют притоком воды, а их конструкцию – видом крепи выработок. Канавки располагают со стороны, противоположной свободному проходу, или по оси выработки при рельсовом или самоходном транспорте. В устойчивых породах и рамной крепи выработки канавку не закрепляют. В менее устойчивых породах, склонных к размыванию, канавку закрепляют деревом или укладывают железобетонные желоба. При монолитной бетонной крепи канавку также крепят бетоном.

В таблице 1.1 приведены размеры водоотводной канавки, в зависимости от притока воды.

Таблица 1.1

Размеры канавок в зависимости от водопритока

Приток воды, м <sup>3</sup> /ч	Размеры канавки, мм		
	Ширина по верху	Ширина по низу	Глубина
100	350	250	200
150	400	300	250
200	400	300	300

300	400	300	400
400	450	350	450

В соответствии с выбранной формой выработки, принятым типом транспортных средств и установленными требованиями безопасности по минимально допустимым величинам зазоров определяют размеры и площадь поперечного сечения выработки.

**Площадь сечения выработки** вчерне (по наружному контуру крепи и почве выработки) определяют по площади в свету, прибавляя площадь крепи (включая затяжку, если она есть), и толщину балластного слоя в сечении выработки.

Проектную площадь сечения в проходке (сечение в проходке) принимают на 3-5 % больше площади вчерне, что необходимо для беспрепятственного возведения крепи в выработке.

После определения размеров выработки площадь поперечного сечения проверяют на **скорость движения воздушной струи**. Согласно требованиям ФНиП [2], минимальная скорость воздуха в горных выработках определяется по формуле:

$$V_{\min} = \frac{0,1 \cdot P}{S}, \text{ м/с}, \quad (1.1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ,  $P$  – периметр выработки, м.

Максимальная скорость не должна превышать следующих норм:

- в очистных и подготовительных выработках – 4 м/с;
- в квершлагах, вентиляционных и главных откаточных штреках, капитальных уклонах – 8 м/с;
- в остальных выработках – 6 м/с;
- в воздушных мостах (кроссингах) и главных вентиляционных штреках – 10 м/с;
- в стволах, по которым производятся спуск и подъём людей и грузов, – 15 м/с;
- в вентиляционных скважинах, каналах и восстающих, не имеющих лестничных отделений, скорость воздушной струи не ограничивается.

Температура воздуха в забоях подготовительных и очистных выработок и на рабочих местах с постоянным присутствием персонала не должна превышать  $26^{\circ}\text{C}$ . При температуре воздуха свыше  $26^{\circ}\text{C}$  должно предусматриваться его охлаждение или разрабатываться мероприятия, предусматривающие режим работы персонала с перерывами на отдых в специально оборудованных местах с температурой воздуха не выше  $26^{\circ}\text{C}$ .

Последовательность определения конструктивных размеров поперечного сечения выработок трапециевидной и сводчатой формы при рельсовом транспорте и выработок для самоходного оборудования даны в таблицах 1.2-1.3.

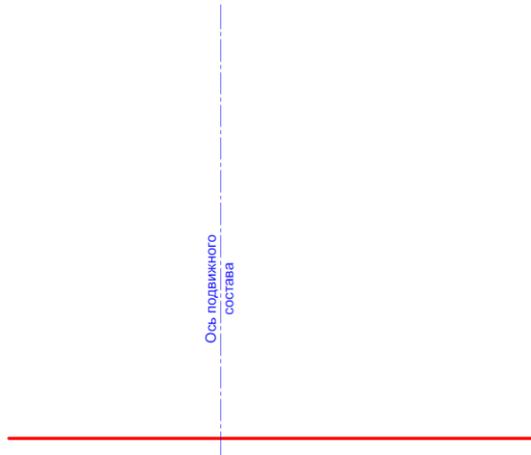
Таблица 1.2

## Размеры поперечного сечения выработок трапециевидной формы

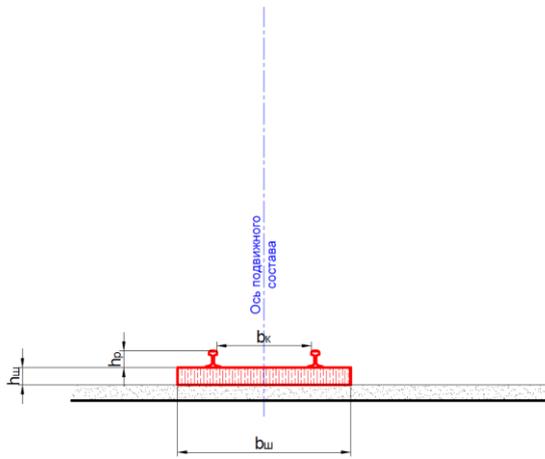
№ п/п	Название размера	Обозначения размеров	Примечание (в отчете не обязательно)
1.	Высота электровоза от головки рельсов, мм	$h_0$	Таблица 1.4
2.	Высота вагонетки от головки рельсов, мм	$h$	
3.	Ширина электровоза, мм	$b_0$	
4.	Ширина вагонетки, мм	$b$	
5.	Ширина колеи, мм	$b_k$	
6.	Высота рельсов, мм	$h_p$	Пояснение в теоретических сведениях
7.	Высота шпалы, мм	$h_{ш}$	
8.	Длина шпалы, мм	$b_{ш}$	
9.	Размеры водоотводной канавки, мм	$v \times n \times z$	Таблица 1.1
10.	Высота балластного слоя, мм	$h_b$	$h_b = 180 \text{ мм}$
11.	Расстояние от шпалы до водоотводной канавки, мм	$l_k$	$l_k = 240 \text{ мм}$
12.	Высота выступающего из вагонетки конуса горной массы, мм	$h_{кн} = (0,5 \cdot b \cdot \operatorname{tg} \gamma) - 100$	$\gamma$ – угол внутреннего трения пород, $45^\circ$ .
13.	Высота подвески контактного провода от головки рельс, мм	$h_{к.п.}$	2000 мм
14.	Угол наклона борта выработки, град.	$\alpha = 80^\circ$	
15.	Размер прохода на высоте 2000 мм от уровня балластного слоя, мм	$n$	Статья 90 ФНиП [2]
16.	Размер зазора между крепью и электровозом (вагонеткой) на уровне подвижного состава, мм	$m$	Статья 90 ФНиП [2]
17.	Ширина выработки по почве, мм	$B_{п}$	Найти по чертежу
18.	Ширина выработки по кровле, мм	$B_{кр}$	Найти по чертежу
19.	Высота выработки от почвы до кровли, мм	$H$	Найти по чертежу
20.	Площадь поперечного сечения выработки, $\text{м}^2$	$S$	$S_{св} = \frac{B_{кр} + B_{п}}{2} \cdot H$
21.	Минимальная скорость воздуха, м/с	$V_{\min}$	$V_{\min} = \frac{0,1 \cdot P}{S}$

На рисунке 1.3 представлена последовательность выполнения построения поперечного сечения горной выработки трапециевидной формы.

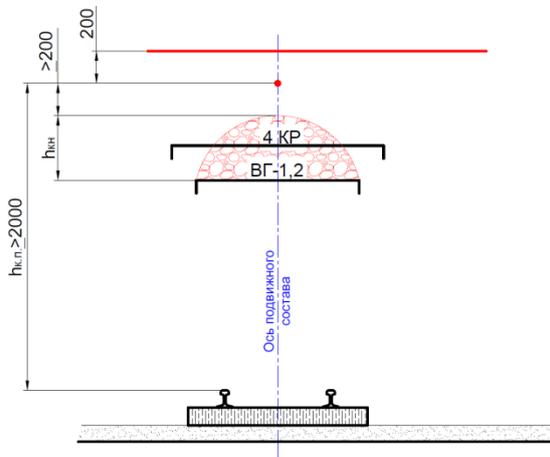
a)



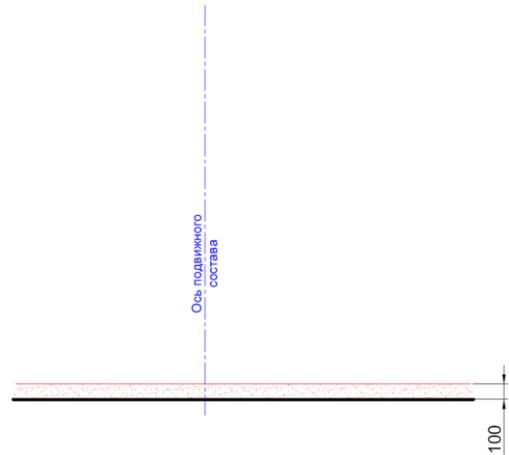
в)



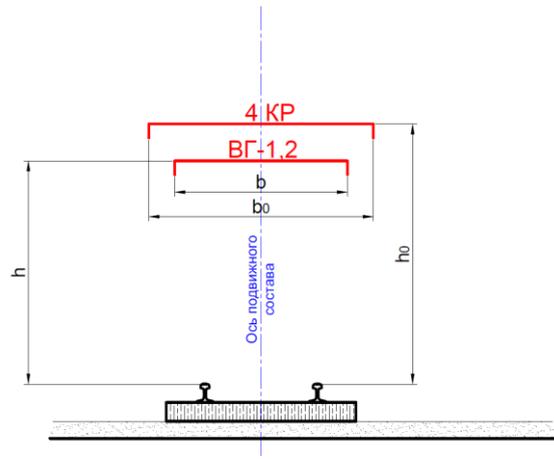
д)



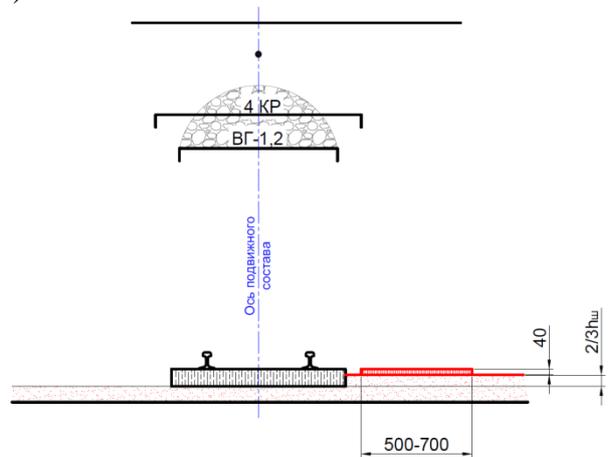
б)

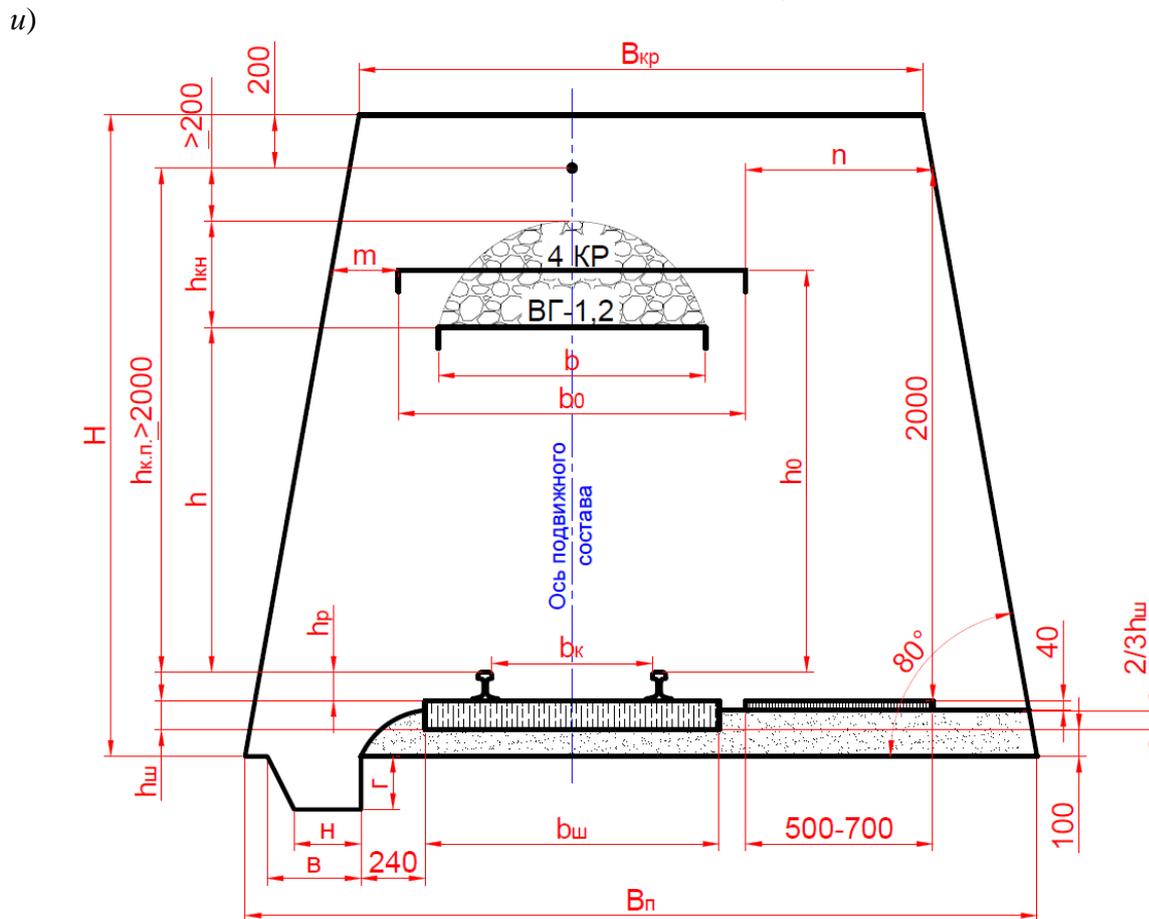
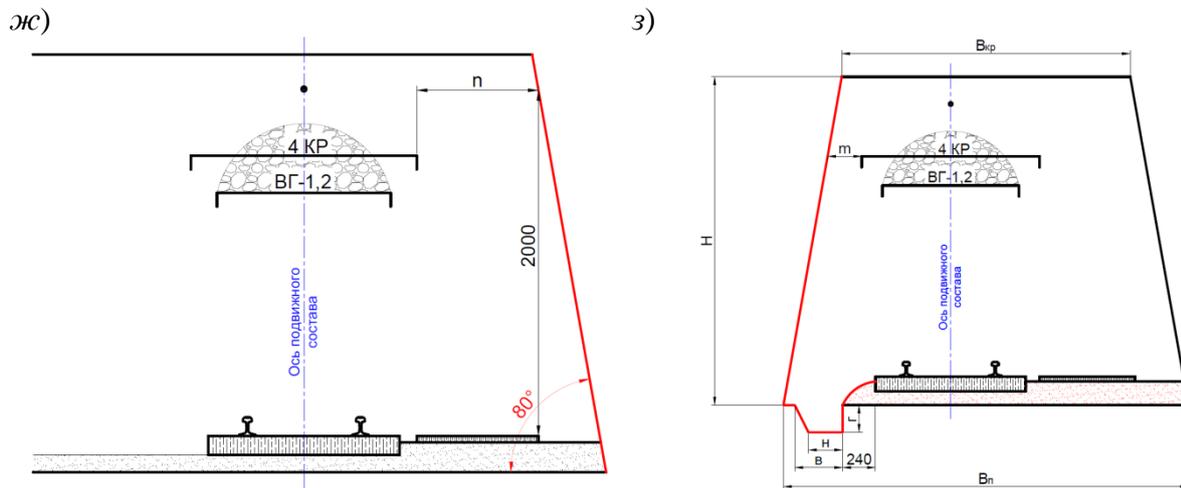


г)



е)





а – построение почвы выработки и оси подвижного состава;  
 б – балластный слой (100 мм); в – расположение рельс и шпал;  
 г – расположение вагонетки и электровоза; д – расчёт и расположение конуса навала  
 горной массы; е – расположение пешеходного трапа; ж – построение правого борта  
 выработки; з – построение водоотводной канавки и левого борта выработки

Рис. 1.3 – Построение сечения выработки трапециевидной формы

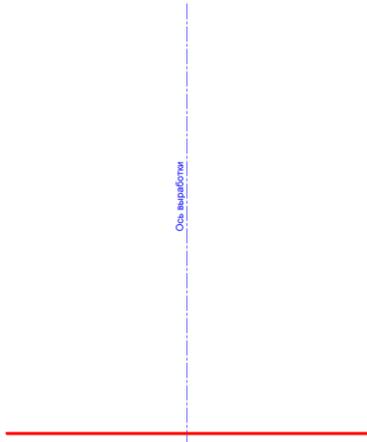
Таблица 1.3

Размеры поперечного сечения выработок сводчатой формы  
для самоходного оборудования

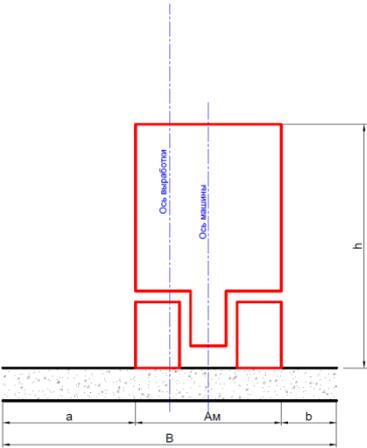
№	Название размера	Соотношения размеров
1.	Высота ПДМ от дорожного покрытия (табл. 1.5), мм	$h$
2.	Толщина дорожного покрытия (табл. 1.5), мм	$h_{\Pi}$
3.	Диаметр трубы или размер габарита, подвешенного к кровле, мм	$d_{\Gamma}$
4.	Толщина тротуара, мм	$h_{\Gamma} = 300$
5.	Ширина машины (табл. 1.5), мм	$A_{\text{м}}$
6.	Минимальный зазор между выступающей частью машины и кровлей выработки или габаритом, подвешенным к кровле, мм	$e = 500$
7.	Толщина набрызгбетонной крепи, мм	$d = 50$
8.	Минимальная высота по оси выработки в свету, мм	$H_{\text{св}} = h + e + d_{\Gamma}$
9.	Минимальные зазоры между наиболее выступающей частью машины и стенкой (крепью) выработки, мм: со стороны прохода людей с противоположной стороны	$a = 1200$ $e = 500$
10.	Ширина выработки в свету, мм	$B = a + A_{\text{м}} + e$
11.	Высота коробкового свода, мм	$h_{\text{с}} = B/3$
12.	Высота стенки выработки от дорожного покрытия, мм	$h_1 = H_{\text{св}} - h_{\text{с}}$
13.	Высота стенки выработки от тротуара, мм	$h_2 = h_1 - h_{\Gamma} \geq 2000$
14.	Высота стенки выработки от почвы, мм	$h_3 = h_1 + h_{\Pi}$
15.	Радиус осевой дуги коробкового свода, мм	$R = 0,692 \cdot B$
16.	Радиус боковой дуги коробкового свода, мм	$r = 0,262 \cdot B$
17.	Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	$S_{\text{св}} = B \cdot (h_1 + 0,26 \cdot B)$
18.	Проектная площадь сечения выработки без крепи, м <sup>2</sup>	$S_{\text{св1}} = S_{\text{св}} + B \cdot h_{\Pi}$
19.	Проектная площадь сечения выработки при наличии крепи (вчерне), м <sup>2</sup>	$S_{\text{вч}} = B_1(h_3 + 0,26 \cdot B_1)$
20.	Ширина выработки при наличии крепи (вчерне), мм	$B_1 = B + 2 \cdot d$
21.	Периметр кровли вчерне, мм	$P_{\text{кр}} = 1,33 \cdot B_1$
22.	Проектный периметр выработки вчерне, мм	$P_{\text{ч}} = 2h_3 + 2,33 \cdot B_1$
23.	Проектная площадь сечения выработки в проходке, м <sup>2</sup>	$S_{\text{пр}} = (1,03 \div 1,05) \cdot S_{\text{вч}}$
24.	Минимальная скорость воздуха, м/с	$V_{\text{мин}} = \frac{0,1 \cdot P}{S}$

На рисунке 1.4 представлена последовательность выполнения построения поперечного сечения горной выработки прямоугольно-сводчатой формы.

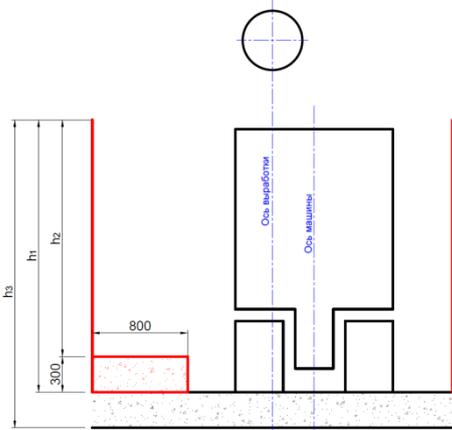
a)



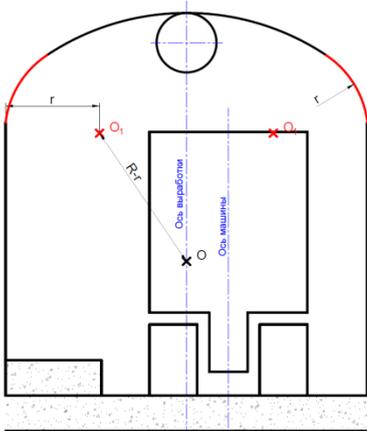
б)



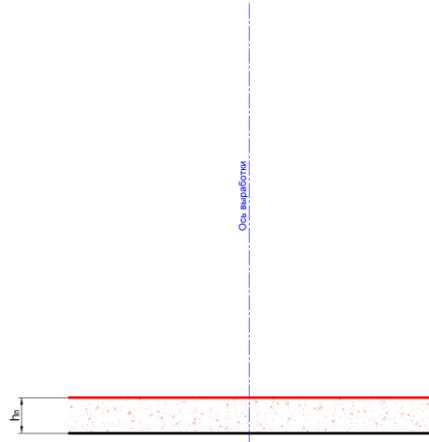
в)



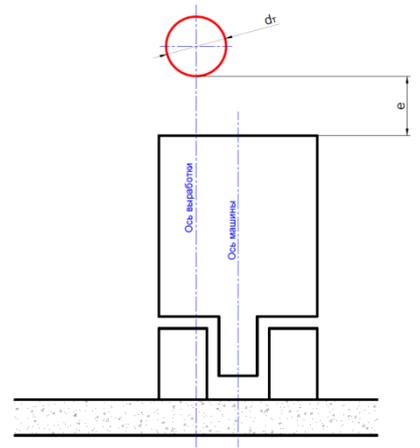
г)



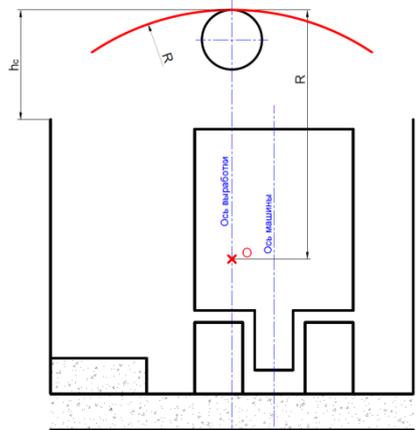
а)



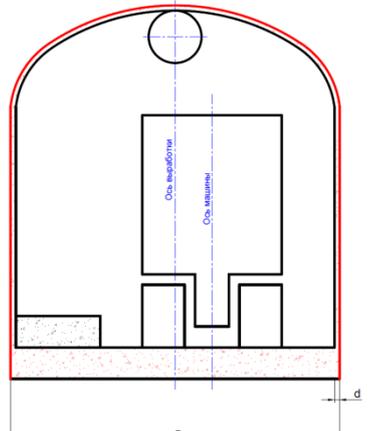
б)



в)



г)



u)

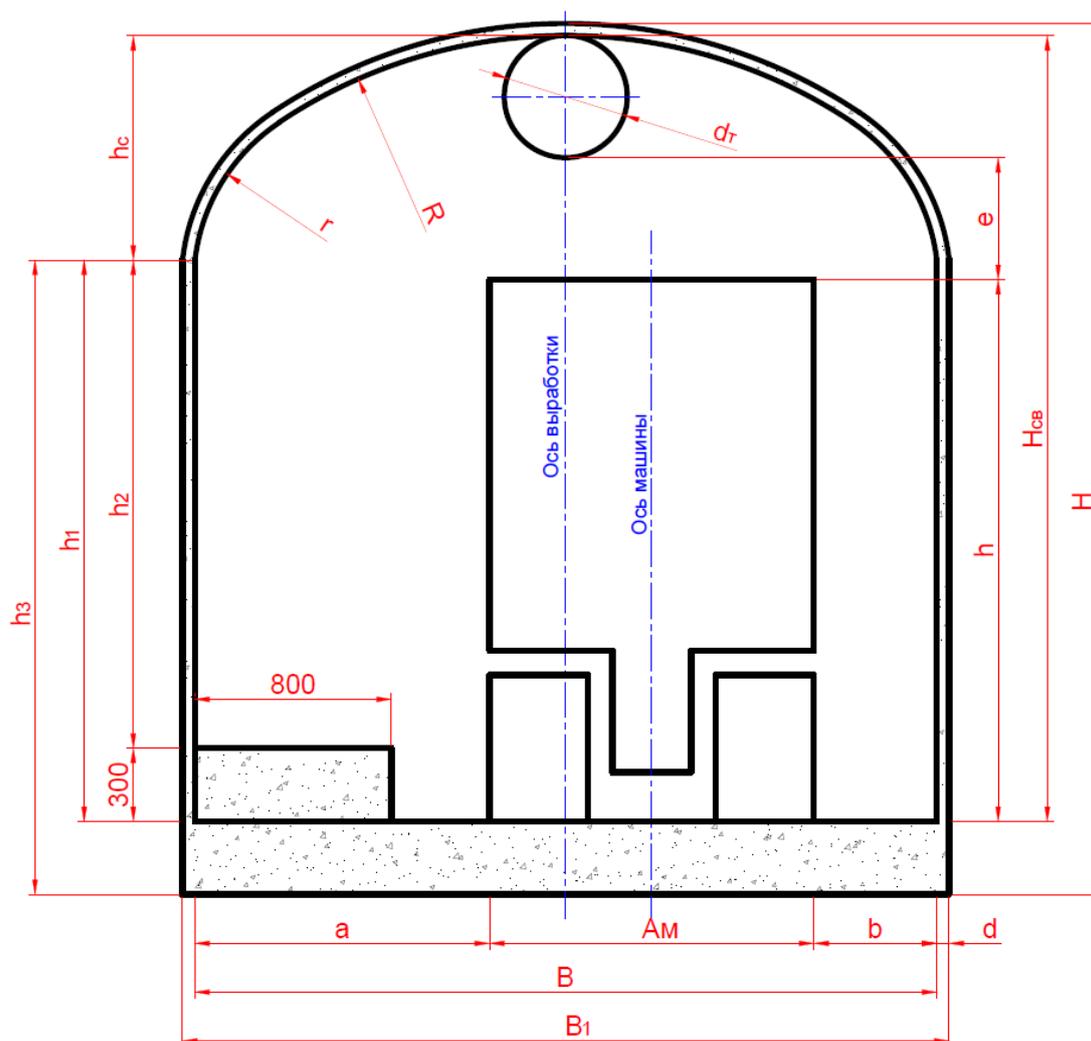


Рис. 1.4 – Построение сечения выработки прямоугольно-сводчатой формы

### Порядок выполнения работы

1. Исходные данные для выполнения работы приведены в табл. 1.4. и 1.5 соответственно.
2. Построение сечения выработок выполняется снизу-вверх (начиная с почвы выработки и оси подвижного состава), согласно рис. 1.3 и 1.4.
3. По окончании построения выработки на чертёж наносятся размеры согласно рис. 1.3 и 1.4.
4. Построение выработки выполняется в масштабе 1:20 на миллиметровой бумаге или с помощью программы AutoCAD.
5. По завершению чертежа заполняются таблицы 1.2 и 1.3 со своими значениями.
6. Оформляется отчёт о практической работе.

Таблица 1.4

Варианты заданий для построения поперечного сечения выработки трапецевидной формы

№ варианта	Приток воды, м <sup>3</sup> /час	Тип оборудования		Размеры оборудования, высота × ширина, мм		Ширина колеи, мм	
		Электровоз	Вагонетка*	Электровоз	Вагонетка	Электровоз	Вагонетка
1	100	4КР	ВГ-1,2	1515×1300	1300×1000	600; 750	600; 750
2	150	10КР2	ВГ-1,2	1500×1048	1300×1000	600;750; 900	600; 750
3	200	14КР-2А	ВГ-1,2	1550×1240	1300×1000	600; 750; 900	600;750
4	300	4,5 АРП-2М	ВГ-2,2	1350×1000	1300×1200	550; 600; 750	600; 750
5	100	5 АРП-2	ВГ-2,2	1480×1300	1300×1200	550; 600; 900	600; 750
6	150	4КР	ВГ-2,2	1515×1300	1300×1200	600; 750	600; 750
7	200	10КР2	ВГ-2,2	1500×1048	1300×1200	600; 750; 900	600;750
8	300	14КР-2А	ВБ-1,6	1550×1240	1300×1300	600; 750; 900	600; 750
9	100	4,5 АРП-2М	ВБ-1,6	1350×1000	1300×1300	550; 600; 750	600; 750
10	150	5 АРП-2	ВБ-1,6	1480×1300	1300×1300	550; 600; 900	600; 750
11	200	4КР	ВБ-1,6	1515×1300	1300×1300	600; 750	600;750
12	300	10КР2	ВБ-2,3	1500×1048	1400×1350	600; 750; 900	600; 750
13	100	14КР-2А	ВБ-2,5	1550×1240	1400×1350	600; 750; 900	600; 750
14	150	4,5 АРП-2М	ВБ-2,5	1350×1000	1400×1350	550; 600; 750	600; 750
15	200	5 АРП-2	ВГ-1,2	1480×1300	1300×1000	550; 600; 900	600;750
16	300	4КР	ВГ-2,2	1515×1300	1300×1200	600; 750	600; 750
17	100	10КР2	ВГ-2,2	1500×1048	1300×1200	600; 750; 900	600; 750
18	150	14КР-2А	ВГ-2,2	1550×1240	1300×1200	600; 750; 900	600; 750
19	200	4,5 АРП-2М	ВБ-1,6	1350×1000	1300×1300	550; 600; 750	600;750
20	300	5 АРП-2	ВБ-1,6	1480×1300	1300×1300	550; 600; 900	600; 750

\*Примечание. Цифровое обозначение вагонетки соответствует её вместимости, м<sup>3</sup>.

Таблица 1.5

Варианты заданий для построения поперечного сечения выработки  
сводчатой формы

№	Машина	Вместимость кузова, м <sup>3</sup>	Ширина ПДМ, мм	Высота ПДМ, мм	Водоприток, м <sup>3</sup> /ч	Толщина дорожного покрытия, мм	Диаметр трубы, мм
1	ПД-2	1,0	1320	2220	100	300	500
2	ПД-5	2,5	1900	2250	150	350	550
3	ПД-8	4,0	2500	2500	200	400	600
4	ПД-12	6,0	2800	2650	300	300	450
5	ПД-2	1,0	1320	2220	100	350	500
6	ПД-8	4,0	2500	2500	150	400	500
7	МоАЗ- 6401	11,0	2850	2650	200	300	550
8	МоАЗ- 7405	9,5-11,5	2900	2680	300	350	600
9	МоАЗ- 7529	11,5-14	2950	2700	100	200	450
10	ПД-2	1,0	1320	2220	150	350	400
11	ПД-5	2,5	1900	2250	200	450	500
12	ПД-8	4,0	2500	2500	300	300	550
13	ПД-12	6,0	2800	2650	100	350	600
14	ПД-2	1,0	1320	2220	150	400	450
15	ПД-8	4,0	2500	2500	200	300	500
16	МоАЗ- 6401	11,0	2850	2650	300	350	500
17	МоАЗ- 7405	9,5-11,5	2900	2680	100	400	550
18	МоАЗ- 7529	11,5-14	2950	2700	150	300	600
19	ПД-2	1,0	1320	2220	200	350	450
20	ПД-5	2,5	1900	2250	300	200	500

## Список вопросов для самоконтроля

1. Понятие «горная выработка». Что такое устье и забой выработки.
2. Какая бывает форма поперечного сечения горных выработок?  
От чего зависит форма поперечного сечения горных выработок?
3. Как подразделяются горные выработки по своему положению в пространстве?
4. Какие бывают горизонтальные выработки?
5. Какие бывают наклонные горные выработки?
6. Какие бывают вертикальные горные выработки?
7. Что такое околоствольный двор?
8. От чего зависят размеры горной выработки?
9. Какие коммуникации могут быть размещены в выработках?
10. Размеры выработок вчерне, в свету, в проходке.
11. Какими документами необходимо руководствоваться при проектировании подземных горных выработок?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 ВЫБОР ТИПА КРЕПИ И РАСЧЁТ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

**Цель работы:** ознакомление с методикой и получение практических навыков по расчёту горного давления и выбору типа крепи в конкретных горно-геологических условиях строительства горной выработки.

### **Краткие теоретические сведения**

Горно-разведочные выработки должны быть устойчивыми в период их проведения и эксплуатации, т.е. должны сохранять необходимые форму и размеры поперечного сечения в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации и техники безопасности.

Если условие устойчивости обнажений пород соблюдается и деформации обнажений не выходят за пределы допустимых, то, как правило, выработка будет устойчивой без несущей крепи. Если условие прочности не соблюдено, то для обеспечения устойчивости горной выработки необходимы применение несущей крепи, упрочнение массива пород и т.д.

Многочисленные методы обеспечения устойчивости горноразведочных выработок можно объединить в три группы [3]:

- 1) охрана;
- 2) крепление;
- 3) поддержание.

**Под охраной** понимается совокупность заранее проектируемых мероприятий, направленных на предотвращение потери устойчивости выработки или снижение влияния горного давления. К числу способов и вариантов охраны относятся: использование рациональной формы поперечного сечения выработок, оставление вокруг них защитных толщ и целиков, расположение выработки в зонах массива с высокой прочностью или с пониженными напряжениями, снижение концентрации напряжений за счёт применения особой технологии проведения и др. Правильно выбранный способ охраны является эффективным способом снижения затрат на крепление и поддержание выработок [3].

**Крепление выработки** – применение горной крепи с целью предотвращения обрушения или уменьшения смещения пород для нормальной эксплуатации выработки [3].

**Поддержание выработки** – совокупность технических мероприятий, устраняющих нарушение её устойчивости в период эксплуатации.

Рациональная форма сечения выработки обеспечивает наилучшее использование несущей способности материала крепи. Форма выработки выбирается в зависимости от направления преобладающего давления. Так, при значительном давлении со стороны кровли рациональной является выработка со сводчатым очертанием в кровле (рис. 2.1, а). При наличии значительного горного давления лучше выбрать подковообразную форму выработки (рис. 2.1, б) или круглую форму

(рис. 2.1, *а*). При наличии значительного горного давления с кровли и с боков рациональной является подковообразная форма выработки (рис. 2.1, *б*). При всестороннем давлении боковых пород лучше выбрать подковообразную форму с обратным сводом (рис. 2.1, *в*) или же круглую (рис. 2.1, *г*); последняя наиболее рациональна при равномерном давлении со всех сторон, например в вертикальных выработках. При неодинаковом всестороннем, но симметричном давлении наиболее целесообразно эллиптическое сечение с большой осью в направлении большего давления (рис. 2.1, *д*). В случае применения в качестве крепёжного материала дерева крепь криволинейного очертания сделать сложно, поэтому рациональной формой становится трапецевидная (рис. 2.1, *е*) или прямоугольная – шурфы, стволы (рис. 2.1, *ж*) [3].

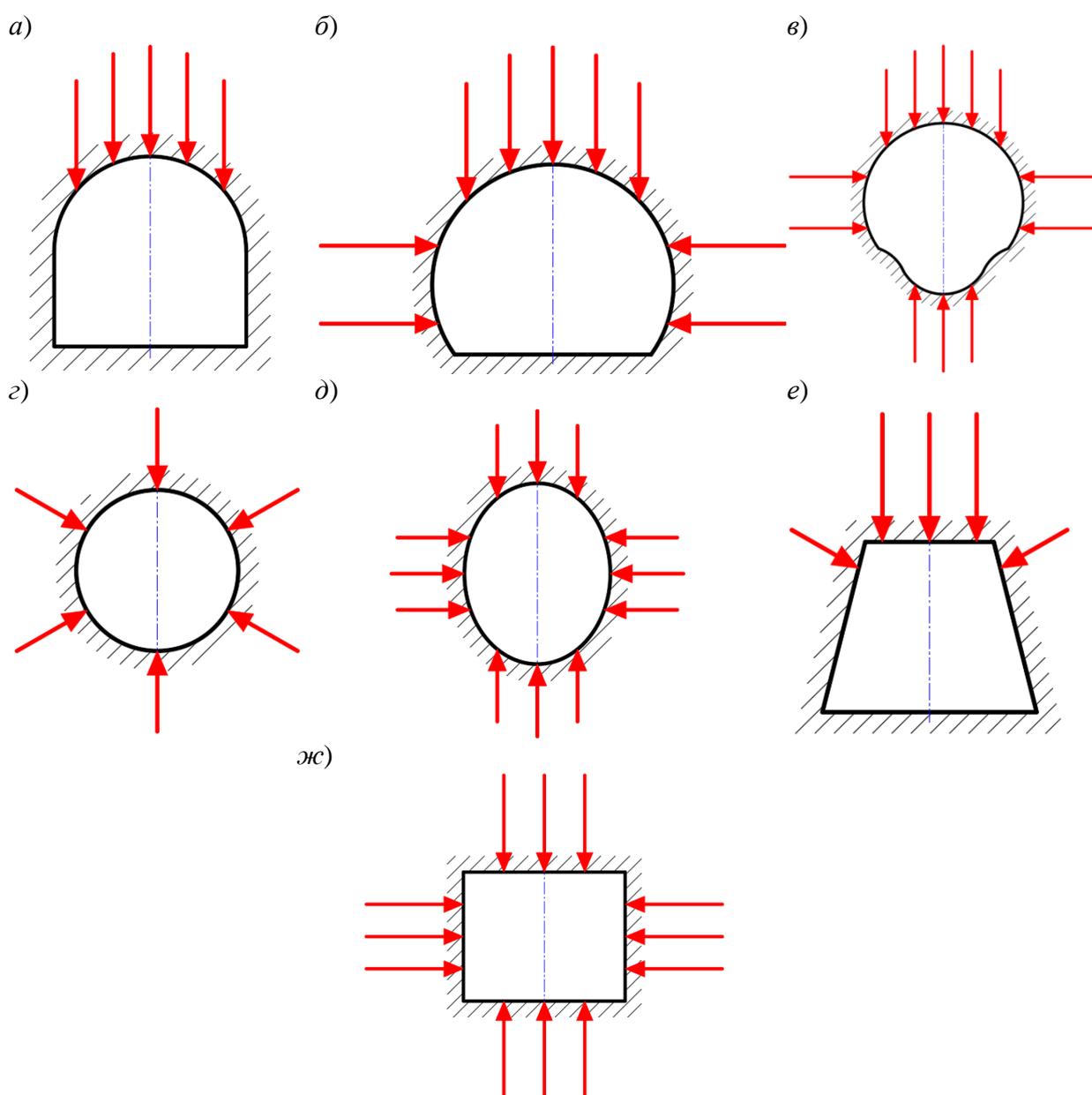


Рис. 2.1 – Рациональные формы очертания выработок в зависимости от горного давления

Оценку устойчивости пород и выбор крепи производят по величине безразмерного показателя  $\Pi_y$  (табл. 2.1) [4]:

$$\Pi_y = \frac{\gamma \cdot H}{\sigma_{сж} \cdot \xi}, \quad (2.1)$$

где  $\gamma$  – плотность пород, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина заложения выработки, м;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности образца породы на сжатие, МПа;  $\xi$  – коэффициент длительной прочности, д.е.

При выборе крепи следует отдавать предпочтение более экономичным облегчённым видам: набрызгбетонной, анкерной или их совместному применению.

Соответствие выбранной по  $\Pi_y$  крепи к конкретным условиям её эксплуатации проверяются расчётами.

Таблица 2.1

Выбор крепи по безразмерному показателю

Значение $\Pi_y$	Рекомендуемая крепь
$\leq 0,05$	Без крепи
Не более 0,1	Без крепи, когда породы устойчивы, или набрызгбетонная толщиной 3-5 см, когда породы склонны к выветриванию
0,1 - 0,3	Анкерная или комбинированная
Более 0,3 до 0,45	Без обратного свода: монолитная бетонная, деревянная, металлическая податливая. Возможна комбинированная: анкерная в сочетании с монолитной бетонной или металлической

На контуре горизонтальной и наклонной выработок в массиве упругих пород напряжённое состояние оценивается величиной максимальных сжимающих (для боков) и минимальных растягивающих напряжений в кровле:

для боков

$$\sigma_{\max} = K_1 \cdot \gamma \cdot H, \quad (2.2)$$

для кровли

$$\sigma_{\min} = K_2 \cdot \gamma \cdot H \cdot \lambda_1, \quad (2.3)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты концентрации сжимающих и растягивающих напряжений. Величины этих коэффициентов определяются по табл. 2.2.

Контур выработки можно считать устойчивым, если действующие на контуре напряжения не превышают прочности массива на сжатие и растяжение, т.е. должны соблюдаться условия:

$$\begin{aligned} n_6 &= R_{сж} / \sigma_{\max} > 1; \\ n_k &= R_p / \sigma_{\min} > 1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

где  $n_6$ ,  $n_k$  – запасы прочности (устойчивости) боков и кровли выработки.

Согласно расчётам, для выработки, где можно не ставить несущую крепь, запас прочности массива, работающего на сжатие, должен быть  $n_6 \geq 4$ , работающего на растяжение аналогично  $n_k \geq 4$ .

Подставив значения  $R_{сж}$ ,  $R_p$ ,  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$ , будем иметь значения запасов прочности массива, когда крепь не нужна:

$$\begin{aligned}n_6 &= R_{сж} / \sigma_{max} = \frac{\sigma_{сж} \cdot K_c \cdot \xi}{K_1 \cdot \gamma \cdot H} \geq 4; \\n_k &= R_p / \sigma_{min} = \frac{\sigma_p \cdot K_c \cdot \xi}{K_2 \cdot \gamma \cdot H} \geq 4\end{aligned}\tag{2.5}$$

При выборе расчётной схемы величины горного давления учитывают 3 возможные режима взаимодействия крепи и массива: режим заданной нагрузки; режим совместного деформирования массива и крепи; режим заданной деформации.

Приведённый ниже расчётный метод учитывает только активную нагрузку, действующую на крепь.

В этом случае расчётная нагрузка определится путём умножения нормативной нагрузки на коэффициент перегрузки:

$$Q_p = Q \cdot n_n,\tag{2.6}$$

где  $Q$  – нормативная нагрузка;  $n_n$  – коэффициент перегрузки от горного давления (принимается для камер и других выработок околоствольного двора – 1,5, для остальных выработок – 1,2).

На основе запаса прочности предложена классификация режимов заданной нагрузки для выбора расчётной схемы горного давления в скальных породах, которые не испытывают перед разрушением заметных пластических деформаций (табл. 2.3).

Таблица 2.2

Параметры горного давления при различных формах  
поперечного сечения выработок

Форма выработки	Параметры свода от ширины			Коэффициенты концентрации		Размеры зоны растягивающих		Примечания
	Радиус осевой дуги, $R$	Радиус боковой дуги, $r$	Высота свода, $h_0$	Сжимающих в боках $K_1$ (в долях от $\gamma H$ )	растягивающих в кровле $K_2$ (в долях от $\lambda \gamma H$ )	Ширина по кровле (в долях ширины выработки)	Высота (в долях высоты свода), $h_0$	
Прямоугольно - сводчатая	0,905	0,173	1/4	2	0,4	0,35	0,3	Для пород с $f > 12$
	0,692	0,262	1/3	2	0,3	0,30	0,1	Для пород с $f \leq 12$
	0,5	—	1/2	2	0,25	0,28	0,08	
Параболическая с прямыми стенками	—	—	—	2	0,23	0,25	0,07	Уравнение очертания свода: $y = x^2/0,5 B$ $tg \varphi$ ; для пород с $\varphi = 39^\circ$
Трапецевидная	—	—	—	2	1,0	0,9	0,15	В долях от ширины кровли Отношение оснований к высоте (при $\alpha = 80^\circ$ ) 1:1,45:1,6

Таблица 2.3

Классификация режимов заданной нагрузки  
для выбора расчётной схемы горного давления

Номер схемы	Значение запаса прочности кровли и боков	Режим заданной нагрузки на крепь и расчётная схема
0	$n_k \geq 4$ $n_b \geq 4$	Нагрузка на крепь отсутствует и выработка может быть пройдена без крепи. В местах геологических нарушений и в зонах сильной трещиноватости, а также для пород, склонных к выветриванию, необходимо торкретирование выработки или покрытие её набрызгбетоном на песчаном заполнителе толщиной до 3 см.
1	$n_k \leq 1$ $n_b \geq 4$	Крепь несет полную нагрузку со стороны кровли от веса пород внутри свода естественного равновесия (обрушения). Бока устойчивы. Применяется расчётный метод М. М. Протодьяконова (рис. 2.2).
2	$n_k \leq 1$ $n_b \leq 1$	Крепь несет полную нагрузку со стороны кровли и боков; образуется новый контур выработки: в кровле – свод, в боках – призмы сползания. Применяется расчётный метод П. М. Цимбаревича (рис. 2.3).
3	$1 < n_k < 4$ $1 < n_b < 4$	Крепь не несет постоянной нагрузки, так как кровля и бока относительно устойчивы, но возможны локальные вывалы. Нагрузка определяется по формулам нагрузки от локального вывала или расчётные нагрузки определяются путем деления нормативных нагрузок, полученных по расчётному методу № 2, на коэффициенты запасов прочности.
4	$n_k \geq 4$ $n_b \leq 1$	Крепь испытывает полную нагрузку только со стороны боков (кровля устойчива). Нагрузка со стороны боков определяется как боковое давление на подпорную стенку по методам механики сыпучей среды.

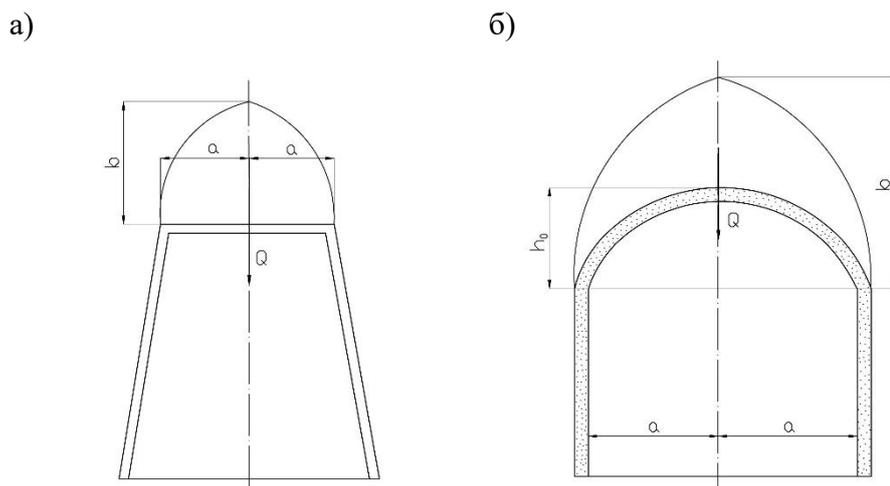


Рис. 2.2 – Схема к расчёту горного давления на крепь при неустойчивой кровле и устойчивых боках в выработках формы: а – трапециевидной; б – прямоугольно-сводчатой

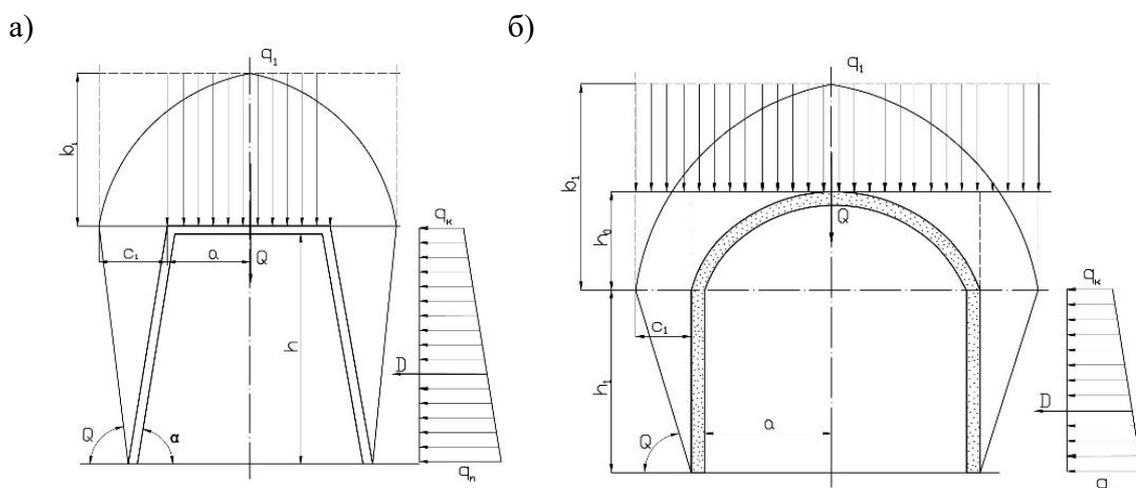


Рис. 2.3 – Схема к расчёту горного давления на крепь при неустойчивых кровле и боках в выработке формы: а – трапециевидной; б – прямоугольно-сводчатой

В таблице 2.4 даны расчётные формулы для выработок, имеющих трапециевидную и прямоугольно-сводчатые формы поперечного сечения, при неустойчивых породах кровли и устойчивых боках, а также относительно устойчивой кровле и устойчивых боках.

Таблица 2.4

## Параметры горного давления и расчётные формулы

Расчётные параметры	Форма сечения выработки и запасы прочности.			
	$n_k \leq 1$	$n_b \geq 4$	$1 < n_k < 4$	$n_b \geq 4$
<i>Трапецевидная</i>				
Высота свода обрушения	$b = a / tg \varphi$		$b' = a / (n_k tg \varphi)$	
Интенсивность давления (максимального)	$q_n = b\gamma$		$q'_n = b'\gamma$	
Нагрузка на верхняк крепежной рамы	$Q = \frac{4a^2\gamma L}{3tg\varphi}$		$Q' = \frac{4a^2\gamma L}{3n_k tg\varphi}$	
<i>Прямоугольно-сводчатая</i>				
Высота свода обрушения	$b = (a/tg \varphi) - h_0$		$b' = [a/(n_k tg \varphi)] - h_0$	
Интенсивность нормативного давления	$q_n = b\gamma$		$q_n = b'\gamma$	
Нормативная нагрузка (на раму)	$Q = 4/3a (a/tg \varphi - h_0)\gamma L$		$Q = 4/3a (a/tg \varphi - h_0)\gamma L$	

Примечание.  $a$  – полупролёт выработки вчерне (проектный размер в проходке);  $tg \varphi$  – коэффициент внутреннего трения;  $h_0$  – высота искусственного свода по проекту (табл. 2.2);  $n_k$  – запас прочности кровли;  $L$  – расстояние между рамами

В таблице 2.5 даны расчётные формулы нормативного давления при неустойчивой кровле и боках, а также при относительно устойчивой кровле и неустойчивых боках в выработке трапецевидной формы. Для этих же условий устойчивости в таблице 2.6 приведены расчётные формулы горного давления для выработки прямоугольно-сводчатой формы.

Таблица 2.5

Параметры горного давления при трапециевидной форме выработки

Расчётные параметры	Трапециевидная форма выработки и запасы прочности	
	$n_k \leq 1; n_6 \leq 1$	$1 < n_k < 4; n_6 \leq 1$
Высота свода обрушения	$a + h \operatorname{ctg} \alpha + h \operatorname{ctg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ $b_1 = \frac{a + h \operatorname{ctg} \alpha + h \operatorname{ctg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg} \varphi}$	$b_2 = b_1 / n_k$
Интенсивность давления со стороны кровли	$q_1 = b_1 \gamma$	$q_2 = b_2 \gamma$
Нагрузка на верхняк рамы	$Q_1 = 2a q_1 L$	$Q_2 = 2a q_2 L$
Интенсивность бокового давления у кровли	$q_k = \lambda_2 q_1$	$q'_k = b_2 \lambda_2$
Интенсивность бокового давления у почвы	$q_n = (b_1 + h) \gamma \lambda_2$	$q'_n = (b_2 + h) \gamma \lambda_2$
Боковое давление	$D_1 = 0,5 (q_k + q_n) h$	$D'_1 = 0,5 (q'_k + q'_n) h$

Примечание.  $a$  – полупролёт выработки по кровле вчерне;  $\alpha$  – угол наклона бока (стойки);  $\varphi$  – угол внутреннего трения пород;  $L$  – расстояние между рамами;  $\lambda_2 = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$  – коэффициент бокового распора сыпучей среды;  $h$  – высота выработки вчерне.

Таблица 2.6

Параметры горного давления при прямоугольно-сводчатой форме выработки

Расчётные параметры	Прямоугольно-сводчатая форма выработки и запасы прочности	
	$n_k < 1; n_6 \leq 1$	$1 < n_k < 4; n_6 \leq 1$
Высота свода обрушения	$b_k = (a + h_1 \operatorname{ctg} \theta) / \operatorname{tg} \varphi - h_0$	$b_k = (a + h_1 \operatorname{ctg} \theta) / n_k \operatorname{tg} \varphi - h_0$
Высота свода равновесия	$b_1 = b_k + h_0$	$b'_1 = b'_k + h_0$
Интенсивность давления со стороны кровли	$q'_1 = b_k \gamma$	$q'_2 = b'_k \gamma$
Нагрузка на верхняк рамы	$Q = 2a q'_1 L$	$Q' = 2a q'_2 L$
Интенсивность бокового давления на высоте вертикальной стенки	$q_c = b_1 \gamma \lambda_2$	$q_c = b_1 \gamma \lambda_2$
Интенсивность бокового давления у почвы	$q_n = (b_1 + h_1) \gamma \lambda_2$	$q'_n = (b'_1 + h_1) \gamma \lambda_2$
Боковое давление	$D_1 = 0,5 (q_c + q_n) h_1$	$D'_1 = 0,5 (q'_c + q'_n) h_1$

Примечание:  $a$  – полупролёт выработки вчерне;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $\lambda_2 = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$  – коэффициент бокового распора;  $h_1$  – высота вертикальной стенки;  $h_0$  – высота свода по проекту;  $L$  – расстояние между рамами;  $\theta = (45^\circ + \varphi/2)$

**Пример 2.1.** Выбрать крепь и рассчитать параметры горного давления для выработки, проходимой на расчётной глубине  $H = 700$  м в породах, имеющих пределы прочности образцов:  $\sigma_{сж} = 160$  МПа;

$\sigma_p = 12$  мПа; плотность пород  $\gamma = 2800$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициенты: структурного ослабления  $K_c = 0,3$ ; длительной прочности  $\xi = 0,9$ ; бокового распора  $\lambda_1 = 0,35$ . Выработка имеет прямоугольно-сводчатую форму шириной  $B_1 = 4$  м; высота коробового свода  $h_o = 1$  м; высота вертикальной стенки  $h_1 = 3$  м.

### **Решение**

1. Рассчитываем физико-механические свойства массива:

$$R_{сж} = 160 \cdot 0,3 \cdot 0,9 = 43,2 \text{ мПа};$$

$$R_p = 12 \cdot 0,3 \cdot 0,9 = 3,24 \text{ мПа};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = (\sigma_{сж} - \sigma_p) / (\sigma_{сж} + \sigma_p) = (160 - 12) / (160 + 12) = 0,86;$$

$$\varphi = 40,7^\circ.$$

2. Для выработки прямоугольно-сводчатой формы по табл. 2.2 принимаем  $K_1 = 2$ ;  $K_2 = 0,4$ ; рассчитываем напряжения, запасы прочности и параметр устойчивости:

$$\sigma_{max} = 2 \cdot 2800 \cdot 700 \cdot 10 = 39,2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 39,2 \text{ мПа};$$

$$\sigma_{min} = 0,4 \cdot 0,35 \cdot 2800 \cdot 700 \cdot 10 = 2,74 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,74 \text{ мПа};$$

$$n_\sigma = 43,2 / 39,2 = 1,1 < 4;$$

$$n_k = 3,24 / 2,74 = 1,18 < 4;$$

$$P_y = 10 \cdot 2800 \cdot 700 / (160 \cdot 10^6 \cdot 0,9) = 0,13;$$

$$1 < n_\sigma, n_k < 4$$

значит кровля и бока относительно устойчивы, значение  $P_y$  в пределах  $1 < 0,13 < 0,3$ , следовательно требуется применение анкерной или комбинированной крепи (см. табл. 2.1).

3. Рассчитываем нормативные нагрузки по расчётной схеме №3 (см. табл. 2.3, рис. 2.3, б) по формулам в табл. 2.6 (для  $1 < n_k < 4$ ;  $n_\sigma \leq 1$ ):

$$a = B_1 / 2 = 2 \text{ м}.$$

Высота свода обрушения.

$$b'_k = \frac{2 + 3 \cdot \operatorname{ctg}(45^\circ + 40,7^\circ / 2)}{1,18 \cdot 0,86} - 1 = 2,34 \text{ м};$$

высота свода возможного обрушения  $b'_1 = 2,34 + 1 = 3,34$  м.

Интенсивность давления:

- со стороны кровли

$$q'_2 = 2,34 \cdot 2800 = 65,5 \cdot 10^2 \text{ кгс/м}^2 = 65,5 \cdot 10^3 \text{ Па} = 65,5 \text{ кПа};$$

- у почвы выработки при  $\lambda_2 = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 40,7^\circ / 2) = 0,21$

$$q'_n = (3,34 + 3) \cdot 2800 \cdot 0,21 = 3728 \text{ кгс/см}^2 = 37280 \text{ Па} = 37,3 \text{ кПа};$$

- у кровли

$$q'_c = 3,34 \cdot 2800 \cdot 0,21 \cdot 10 = 19,6 \text{ кПа};$$

- линейная нагрузка

$$D'_2 = 0,5 (19,6 + 37,3) \cdot 10^3 \cdot 3 = 85350 \text{ Н/м};$$

- с учётом поправки на запас прочности в боках выработки

$$D_1 = D'_2 / n_\sigma = 85350 / 1,1 = 77590 \text{ Н/м},$$

если  $n_\sigma < 1$ , то поправка не требуется.

В случае применения анкерной крепи нагрузка со стороны кровли на ряд анкеров (если расстояние между анкерами  $L=1$  м)

$$Q' = 2 \cdot 2 \cdot 65,5 \cdot 10^3 \cdot 1 = 2,62 \cdot 10^5 \text{ Н} = 262 \text{ кН.}$$

**Пример 2.2.** Рассчитать горное давление, предварительно указать возможные виды крепи. Выработка пройдена на глубине  $H = 500$  м в породах с  $f = 7$ ;  $K_c = 0,25$ ;  $\xi = 0,8$ ;  $\lambda_1 = 0,3$ ;  $\gamma = 2600$  кг/м<sup>3</sup>. Выработка имеет трапециевидную форму, полупролет по кровле  $a = 1,25$  м, высота выработки в черне  $h = 3$  м; угол наклона стоек  $\alpha = 80^\circ$ ; расстояние между рамами  $L = 0,5$  м.

### Решение

1. Рассчитываем физико-механические свойства образцов:

$$\sigma_{сж} = 10^7 f = 10^7 \cdot 7 \text{ Па} = 70 \text{ МПа};$$

$$\sigma_p = 0,1 \sigma_{сж} = 7 \text{ МПа};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = (\sigma_{сж} - \sigma_p) / (\sigma_{сж} + \sigma_p) = (70 - 7) / (70 + 7) = 0,818;$$

$$\varphi = 39,3^\circ.$$

2. Для выработки трапециевидной формы принимаем  $K_1 = 2$ ;  $K_2 = 1$  и рассчитываем напряжения на контуре, прочность массива, запасы прочности и параметр устойчивости (2.1),(2.2),(2.3),(2.5):

$$\sigma_{max} = K_1 \gamma H = 2 \cdot 2600 \cdot 500 \cdot 10 = 26 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{min} = K_2 \gamma H = 1 \cdot 0,3 \cdot 2600 \cdot 500 \cdot 10 = 3,9 \text{ МПа};$$

$$R_{сж} = \sigma_{сж} K_c \xi = 70 \cdot 0,25 \cdot 0,8 = 14 \text{ МПа}; \quad R_p = 0,1 R_{сж} = 1,4 \text{ МПа};$$

$$n_b = R_{сж} / \sigma_{max} = 14 / 26 = 0,538 < 4;$$

$$n_k = R_p / \sigma_{min} = 1,4 / 3,9 = 0,36 < 4;$$

$$P_y = 10 \gamma H / \sigma_{сж} \xi = 10 \cdot 2600 \cdot 500 / (70 \cdot 10^6 \cdot 0,8) = 0,23.$$

Кровля и бока выработки неустойчивы ( $n_b < 1$ ;  $n_k < 1$ ), возможно применение комбинированной крепи, а также деревянной или металлической крепи. Окончательный выбор вида крепи может быть сделан только после расчёта горного давления и прочных размеров элементов конструкции.

3. Рассчитываем нормативные нагрузки для выработки трапециевидной формы ( $n_k \leq 1$  и  $n_b \leq 1$ ) по формулам (табл. 2.5).

Высота свода обрушения

$$b_1 = \frac{a + h \operatorname{ctg} \alpha + h \operatorname{ctg}(45^\circ + \varphi/2)}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{1,25 + 3 \cdot \operatorname{ctg} 80^\circ + 3 \operatorname{ctg}(45^\circ + 39,3^\circ/2)}{0,818} = 4 \text{ м}$$

Интенсивность нагрузки

$$q_1 = b_1 \gamma = 4 \cdot 2600 \cdot 10 = 1,04 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 0,1 \text{ мН/м}^2$$

Нагрузка на верхняк

$$Q = 2a q_1 L = 2 \cdot 1,25 \cdot 0,1 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ мН.}$$

Интенсивность боковой нагрузки у кровли

$$q_k = \lambda_2 q_1 = q_1 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = 0,1 \operatorname{tg}^2(45^\circ - 39,3^\circ/2) = 0,023 \text{ мН.}$$

Интенсивность боковой нагрузки у почвы

$$q_{п} = (4 + 3) \cdot 2600 \cdot 0,224 = 40760 \text{ Н/м} = 0,04 \text{ мН.}$$

Боковое давление

$$D_1 = 0,5(q_k + q_{п}) h = 0,5 \cdot (0,023 + 0,04) \cdot 3 = 0,0945 \text{ МПа.}$$

В случае применения арочной крепи должна быть составлена расчётная схема, аналогичная представленной на рис. 2.2, б.

### Порядок выполнения работы

1. Необходимо определить величину горного давления и выбрать тип крепи.
2. Исходные данные для выполнения работы для выработок трапециевидной и сводчатой формы поперечного сечения приведены в табл. 2.7. и 2.8 соответственно.
3. Конструктивные размеры выработок принять согласно выполненной практической работы №1.
4. Составляется расчётная схема, согласно рис. 2.2 или 2.3.
5. Оформляется отчёт о практической работе.

Таблица 2.7

Исходные данные для выработок трапециевидной формы поперечного сечения

№ варианта	Глубина заложения выработки, $H$ , м	Плотность пород, $\text{кг/м}^3$	Пределы прочности образцов пород при одноосном		Коэффициенты		
			сжатия, $\sigma_{сж}$ , МПа	растяжения $\sigma_r$ , МПа	структурного ослабления, $K_c$	бокового распора, $\lambda_1$	длительной прочности, $\xi$
1	500	3000	160	13	0,25	0,35	0,8
2	550	2900	150	14	0,3	0,25	0,85
3	600	2600	140	14	0,35	0,3	0,85
4	650	2700	130	14	0,25	0,33	0,9
5	700	2600	120	14	0,3	0,3	0,8
6	750	2500	110	9	0,35	0,2	0,8
7	800	2600	100	9	0,25	0,3	0,85
8	850	2700	110	11	0,3	0,3	0,9
9	900	2800	120	13	0,35	0,35	0,8
10	950	2900	130	16	0,25	0,25	0,85
11	1000	3000	140	15	0,3	0,3	0,85
12	1050	3100	150	15	0,35	0,33	0,9
13	1100	3000	160	13	0,25	0,35	0,8
14	1150	2900	150	14	0,3	0,25	0,85
15	1200	2600	140	14	0,35	0,3	0,85
16	1250	2700	130	14	0,25	0,33	0,9
17	1300	2600	120	14	0,3	0,3	0,8
18	1350	2500	110	9	0,35	0,2	0,8

## Окончание таблицы 2.7

19	1400	2600	100	9	0,25	0,3	0,85
20	1450	2700	110	11	0,3	0,3	0,9

Таблица 2.8

## Исходные данные для выработок сводчатой формы поперечного сечения

№ варианта	Глубина заложения выработки, $H$ , м	Плотность пород, $\text{кг/м}^3$	Пределы прочности образцов пород при одноосном		Коэффициенты		
			сжатия, $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа	растяжении $\sigma_{\text{р}}$ , МПа	структурного ослабления, $K_c$	бокового распора, $\lambda_1$	длительной прочности, $\xi$
1	1000	3000	140	15	0,3	0,3	0,85
2	1050	3100	150	15	0,35	0,33	0,9
3	1100	3000	160	13	0,25	0,35	0,8
4	1150	2900	150	14	0,3	0,25	0,85
5	1200	2600	140	14	0,35	0,3	0,85
6	1250	2700	130	14	0,25	0,33	0,9
7	1300	2600	120	14	0,3	0,3	0,8
8	1350	2500	110	9	0,35	0,2	0,8
9	1400	2600	100	9	0,25	0,3	0,85
10	1450	2700	110	11	0,3	0,3	0,9
11	750	2500	110	9	0,35	0,2	0,8
12	800	2600	100	9	0,25	0,3	0,85
13	850	2700	110	11	0,3	0,3	0,9
14	900	2800	120	13	0,35	0,35	0,8
15	950	2900	130	16	0,25	0,25	0,85
16	500	3000	160	13	0,25	0,35	0,8
17	550	2900	150	14	0,3	0,25	0,85
18	600	2600	140	14	0,35	0,3	0,85
19	650	2700	130	14	0,25	0,33	0,9
20	700	2600	120	14	0,3	0,3	0,8

## Список вопросов для самоконтроля

1. Что такое устойчивое состояние горной выработки?
2. Какие существуют методы обеспечения устойчивости горных выработок?
3. Что понимается под охраной горной выработки?
4. Какой принят критерий оценки устойчивости горных пород вокруг выработки и как он влияет на выбор типа крепи?

5. Приведите условия устойчивости контура выработки.
6. Приведите условия, когда можно не ставить несущую крепь?
7. Приведите возможные режимы взаимодействия горной крепи и массива пород.
8. Классификация методов обеспечения устойчивости горных выработок.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

### РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ПАСПОРТА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

**Цель работы:** ознакомление с назначением и содержанием паспорта буровзрывных работ и получение практических навыков по его составлению в конкретных горно-геологических условиях строительства горизонтальной выработки.

#### **Краткие теоретические сведения**

Проходка горных выработок относится к одному из наиболее сложных и трудоёмких этапов разработки месторождений подземным способом. При проведении выработок взрывным способом выделяют комплекс основных и вспомогательных процессов. Основными процессами являются:

- бурение шпуров (скважин);
- зарядание шпуров (скважин);
- взрывание;
- проветривание выработки после взрыва;
- уборка и погрузка горной массы;
- установка крепи.

Перечень вспомогательных операций определяется конкретной технологической схемой, и может включать в себя следующие процессы:

- установка временной крепи;
- наращивание вентиляционного трубопровода;
- устройство водоотливной канавки;
- настилка постоянного рельсового пути;
- наращивание монорельсовой дороги;
- постоянное проветривание выработки;
- наращивание скребкового конвейера;
- приведение забоя в безопасное состояние (*выявление «отказов», оборка кровли, проверка крепи и т.д.*);
- настилка временного рельсового пути и т.д.

Проведение выработок в крепких породах в основном осуществляют при помощи буровзрывных работ (БВР), которые занимают в проходческом цикле от 30 до 60% времени.

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» [5], взрывные работы необходимо осуществлять **в соответствии с оформленной в установленном порядке технической документацией** (проектами буровзрывных (взрывных) работ, паспортами, схемами). С такими документами персонал, осуществляющий БВР, должен быть ознакомлен под роспись.

Паспорта БВР составляются на основании и с учётом не менее трёх опытных взрываний. Допускается вместо опытных взрываний использовать результаты взрывов, проведённых в аналогичных условиях.

Проекты и паспорта БВР должны утверждаться:

- при ведении ВР подрядным способом – техническими руководителями организации-подрядчика и организации-заказчика;
- в остальных случаях – техническим руководителем организации (или назначенным им лицом), ведущей ВР.

Паспорт БВР должен включать [5]:

- Схему расположения шпуров или наружных зарядов; наименования ВМ.
- Данные о способе заряжания, числе шпуров, их глубине и диаметре, массе и конструкции зарядов и боевиков, последовательности и количестве приёмов взрывания зарядов, материале забойки и её длине.
- Схему монтажа взрывной (электровзрывной) сети с указанием длины (сопротивления), замедлений, схемы и времени проветривания забоев.
- Величину радиуса опасной и запретной зоны.
- Указания о местах укрытия взрывника на время производства взрывных работ, которые должны располагаться за пределами опасной зоны.
- Указания о расстановке постов охраны или оцепления, расположении предохранительных устройств, предупредительных и запрещающих знаков, ограждающих доступ в опасную и запретную зону и к месту взрыва.

Буровзрывные работы должны обеспечивать заданные размеры и форму сечения выработки, точное оконтуривание её профиля, качественное дробление породы и сосредоточенный отброс её из забоя; уменьшение коэффициента излишка сечения (КИС); высокий коэффициент использования шпура (КИШ).

Коэффициентом использования шпуров называется отношение величины подвигания забоя за один взрыв к средней глубине шпуров. Он является одним из основных критериев качества взрыва. Рекомендуемые значения КИШ при проектировании БВР:

- На одну открытую поверхность: 0,80-0,85;
- На две открытые поверхности: 0,90-0,95.

Расчёт КИШ производится по следующей зависимости:

$$\eta = \frac{L_{yx}}{L_{ш}}, \quad (3.1)$$

где  $L_{yx}$  – длина уходки за цикл, м;  $L_{ш}$  – средняя длина забуренных шпуров, м.

При проведении выработок имеется, как правило, одна открытая поверхность – плоскость забоя, к которой перпендикулярно или наклонно

бурят комплект шпуров. В комплект шпуров входят врубовые, отбойные и оконтуривающие шпуры (рис. 3.1).

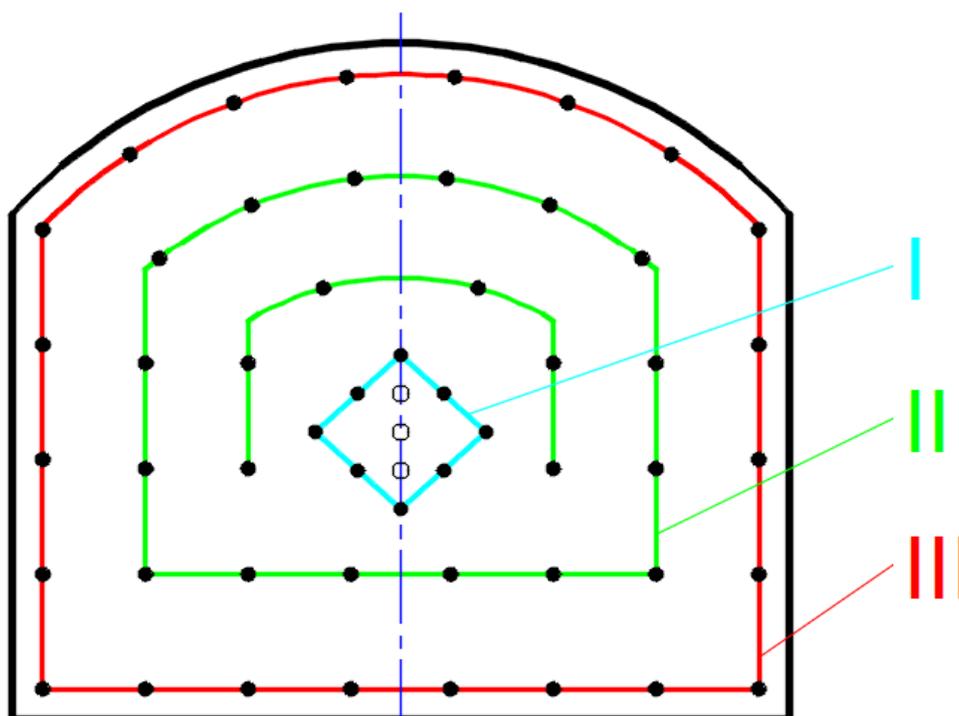


Рис. 3.1 – Типы шпуров при проходке горизонтальных выработок

Взрыв зарядов во *врубковых шпурах* создаёт дополнительную открытую поверхность в забое выработки и улучшает условия взрывания остальных шпуров. Врубковые шпуры бурят на 0,2-0,3 м глубже остальных, а величина зарядов в них на 15-20 % больше, чем в остальных.

*Отбойные шпуры*, заряды в которых взрывают после врубовых, предназначены для расширения полости, образованной врубом. При малом сечении выработки отбойных шпуров может и не быть, но при большом сечении отбойными шпурами разрушается основная часть породы в забое.

*Оконтуривающие шпуры*, заряды в которых взрывают последними, предназначены для придания выработке проектного сечения. Концы оконтуривающих шпуров в крепких породах выступают за контур на 100-150 мм, а в мягких породах располагаются на проектном контуре выработок.

Для бурения шпуров используются ручные перфораторы ПП-36, 1111 50, ПП-54, ПП-63 на пневмоподдержках с ходом подачи 800, 1100 и 1300 мм и самоходные буровые установки СБУ-2М, 2УБН-2П, Boomer L, Boomer L2D и т.д.

### Выбор типа вруба при проведении выработок

В настоящее время тип взрывного вруба определяется в зависимости от площади поперечного сечения горной выработки, её ширины, а также особенностями применяемого бурового оборудования и условиями залегания горных пород. Наиболее часто используемые типы врубов: 1) веерный; 2) клиновой; 3) параллельный с увеличенным диаметром скважины; 4) прямой. В свою очередь, данные типы взрывных врубов можно объединить в две более крупные группы [6]:

- наклонные врубы, образуемые шпурами, пробуренными под острым углом к забою (рис. 3.2, а);
- прямые врубы, образуемые шпурами, пробуренными параллельно друг другу под прямым углом к забою (шпуры параллельны друг другу) (рис. 3.2, б).

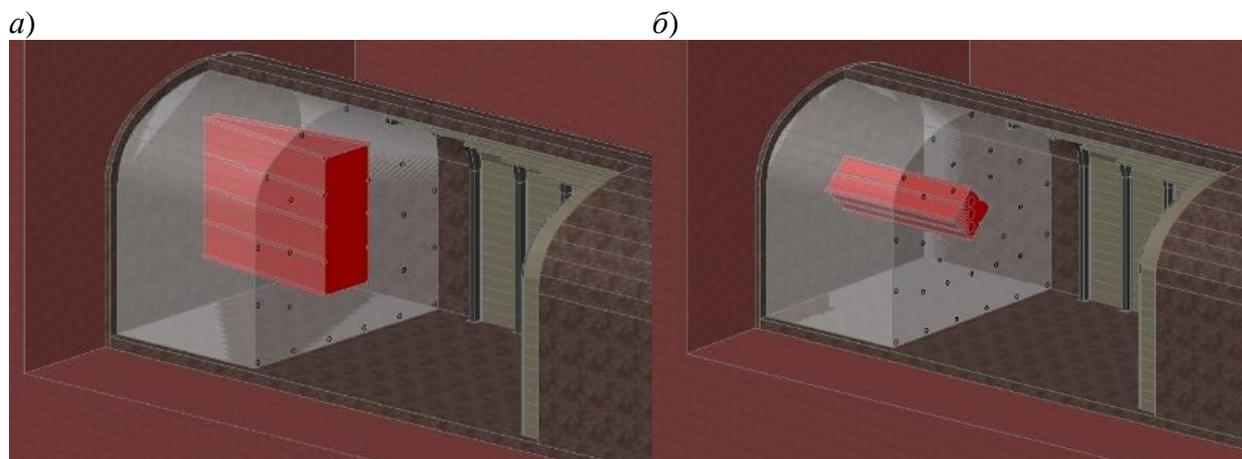


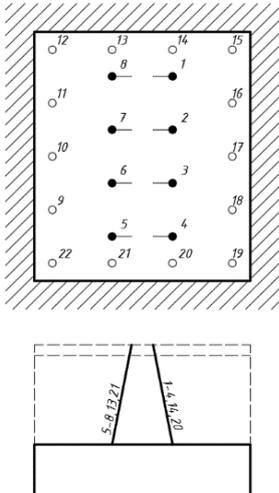
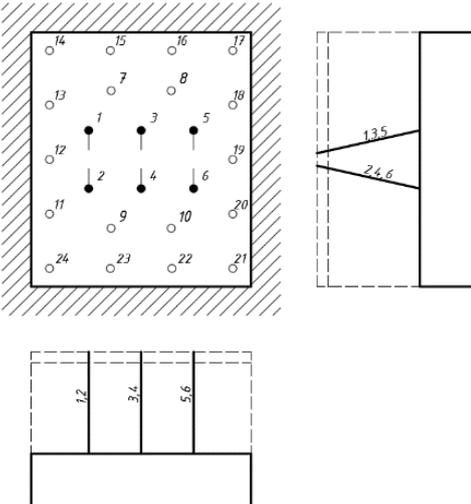
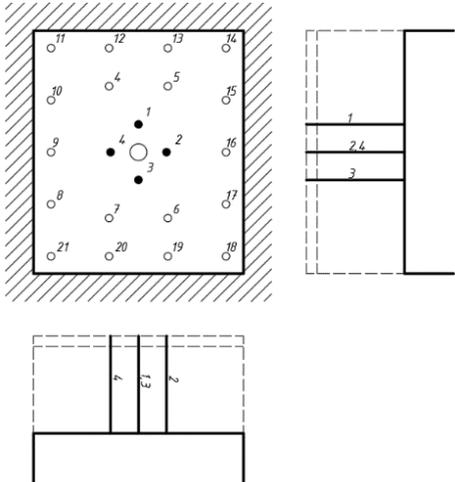
Рис. 3.2 – Пример конструкции наклонных и прямых врубов [6]

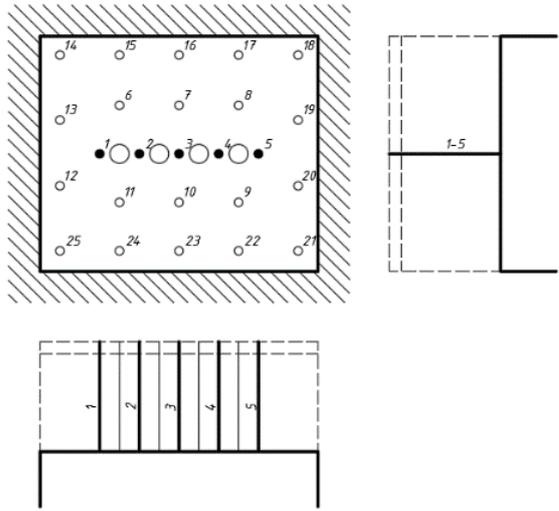
В таблице 3.1 представлена краткая характеристика и условия применения наиболее распространённых типов взрывных врубов.

Для дальнейших расчётов и графического построения принимается вертикальный клиновой вруб.

Таблица 3.1

## Условия применения и характеристики врубов

№ п/п	Наименование вруба и условия его применения	Конструктивное исполнение вруба
1.	<p>Вертикальный клиновой вруб – во всех подготовительных и капитальных выработках капитальных выработках сечением не менее 6 м<sup>2</sup>. В породах однородных при вертикальном направлении трещин или напластовании. Число врубовых шпуров от двух до десяти. Врубные шпур бурят под углом 65-70° к плоскости забоя. Рациональная глубина заходки 1,5-2,2 м. Длина врубовых шпуров 1,8-2,6 м.</p>	
2.	<p>Горизонтальный клиновой – двухсторонний вруб, образуемый несколькими парами сходящихся встречных шпуров, расположенных на расстоянии 0,2-0,8 м один от другого и ограничивающих врубовую полость в виде клина. Данный вруб характеризуется горизонтальным клином, его применяют в выработках площадью сечения более 4,0 м<sup>2</sup>, небольшой ширины при горизонтальном напластовании пород. Глубина заходки – 1,5-2,0 м. Длина врубовых шпуров – 1,8-2,6 м, угол наклона к плоскости забоя – 65-75°. Из-за сложности оформления применяют редко.</p>	
3.	<p>Прямой призматический вруб – условия применения те же, что и для прямого щелевого вруба. Расстояние между врубовыми шпурами 10-20 см, длина шпуров 2,5-4 м. Иногда используется выбрасывающий заряд в более глубоком центральном шпуре.</p>	

4.	<p>Прямой целевой вруб – прямой вруб, образуемый несколькими шпурами, расположенными в одну линию. Часть шпуров оставляют незаряженными (как правило, через один), они представляют собой дополнительные открытые поверхности, в сторону которых направлено действие взрыва зарядов остальных врубовых шпуров. Применяют в выработках любого сечения по породам средней крепости и крепким или при наличии в выработке прослойки более мягкой породы. Все врубовые шпуры (длина 2,5–4,0 м) бурят на расстоянии 10-20 см один от другого и взрывают одновременно.</p>	
----	--	--

### Расчёт параметров БВР при проходке выработок

Расчёт БВР выполняется по методике Н. М. Покровского. Первоначально выбираются взрывчатые материалы (тип ВВ и СИ, диаметр патрона). Далее определяется общее число шпуров в комплекте, затем уточняются количество шпуров и расход ВВ путём графического размещения шпуров по сечению выработки.

### Выбор взрывчатого вещества

Тип и характеристики ВВ принимаются исходя из коэффициента крепости породы, приведённым в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Характеристики наиболее распространённых ВВ, допущенных к применению в шахтах и на рудниках, не опасных по газу или пыли

Наименование ВВ	Коэффициент крепости пород, $f$	Работоспособность ВВ ( $P_{ВВ}$ ), $см^3$	Плотность заряжения ( $\Delta$ ), $г/см^3$	Параметры патрона ВВ		
				Диаметр патрона, мм	Масса патрона, г	Длина патрона, мм
Аммонит 6ЖВ	6-10	380	1,0	32, 36	200-250	200-250
Детонит М	10-16	(480)	1,1	32, 36	200-250	200-250
Аммонал водоустойчивый	до 16	(420)	1,0	32	200	200
Аммонит скальный №1	$\geq 12$	(460)	1,45	32, 36	200-250	200-250

**Выбор диаметра патрона ВВ.** По таблице 3.2 выбирается диаметр патрона  $d_{п.}$ . Согласно [7] диаметр патрона ВВ должен быть меньше диаметра шпура в соответствии с табл. 3.3.

Таблица 3.3

Увеличение диаметра шпура по отношению к диаметру патрона

Крепость Породы ( $f$ )	Увеличение диаметра по отношению к диаметру патрона, мм		
	Резца штанги		коронки
	Витой	Круглой	
<3	6	9	–
3-9	6	7	7
9-16	–	–	9
>16	–	–	11

Диаметр шпура  $d_{ш}$  определяется диаметром используемой коронки  $d_{к}$  ( $d_{к}=40$  либо 43 мм).

### Расчёт удельного расхода ВВ

Удельный расход ВВ определяется по следующей зависимости:

$$q_{ВВ} = 0,1 \cdot f \cdot f_0 \cdot U \cdot m \cdot e, \text{ кг/м}^3, \quad (3.2)$$

где  $f$  – коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протождяконова (табл. 3.8);  $f_0$  – коэффициент структуры породы (табл. 3.4 и табл. 3.8);  $U$  – коэффициент зажима, учитывающий величину площади забоя выработки и число обнаженных плоскостей (ф. 3.3);  $m$  – коэффициент, учитывающий диаметр коронки (ф. 3.4);  $e$  – коэффициент работоспособности ВВ, равный отношению работоспособности 62%-го динамита ( $P=380 \text{ см}^3$ ) к работоспособности применяемого ВВ ( $P_{ВВ}$ ) (ф. 3.5).

Коэффициент зажима:

$$U = \frac{6,5}{\sqrt{S_{вч}}}, \quad (3.3)$$

где  $S_{вч}$  – площадь поперечного сечения выработки сводчатой формы, м<sup>2</sup>.

Таблица 3.4

Коэффициент структуры породы ( $f_0$ )

Структура породы	Значение $f_0$
Мелкослоистые, плотные	0,7-0,9
Хрупкие, легко дробимые	1,0-1,1
Сланцевые с меняющейся крепостью; напластование, перпендикулярное направлению шпуров	1,2-1,3
Дислоцированное, неправильное залегание с мелкой трещиноватостью	1,3-1,4
Вязкие, упругие, пористые, сильно перемятые и спекшиеся	1,6-2,0

Коэффициент, учитывающий диаметр коронки:

$$m = \frac{32}{d_k}, \quad (3.4)$$

где  $d_k$  – диаметр коронки, мм.

Коэффициент работоспособности ВВ:

$$e = \frac{P}{P_{\text{ВВ}}}, \quad (3.5)$$

где  $P$  – работоспособность 62%-го динамита ( $P=380 \text{ см}^3$ );  
 $P_{\text{ВВ}}$  – работоспособность применяемого ВВ,  $\text{см}^3$  (табл. 3.2).

### Расчёт глубины шпуров

Глубина шпуров изменяется от 1,5-2,5 м при бурении ручными перфораторами, до 2,1-3,6 м при использовании самоходных буровых установок. На практике глубину шпуров определяют исходя из принятой скорости проходки горной выработки с учётом того, что в смену необходимо укладывать целое число циклов. По принятой скорости проходки горной выработки рассчитывают подвигание забоя за цикл (длина уходки):

$$l_{\text{ц}} = \frac{U_{\text{В}}}{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3}, \text{ м}, \quad (3.6)$$

где  $U_{\text{В}}$  – планируемая скорость проходки горной выработки, м/мес. (табл. 3.8);  $n_1$  – число рабочих суток в месяце (принять равным 30);  $n_2$  – число смен в сутки (принять равным 3);  $n_3$  – число циклов в смену (принять равным 1).

Таким образом, требуемую глубину шпуров с учётом КИШ вычисляют по формуле:

$$l_{\text{ш}} = \frac{l_{\text{ц}}}{\eta}, \text{ м}, \quad (3.7)$$

где  $\eta$  – коэффициент использования шпура (принять равным 0,9).

Вне зависимости от типа вруба длину забойки шпурах принимают равной:

$$l_{\text{заб}} = 0,25 \cdot l_{\text{ш}}, \text{ м}. \quad (3.8)$$

После определения длины уходки и средней длины шпуров производят подсчёт числа шпуров.

### Расчёт врубовых шпуров

Число врубовых шпуров определяется выбранным типом вруба. Число шпуров в вертикальном клиновом врубе (округлить до целого чётного числа):

$$N_{\text{ВР}} = \left( \frac{2 \cdot h_k}{a} \right) + 2, \text{ шт.}, \quad (3.9)$$

где  $h_k$  – высота (длина) клинового вруба, м (ф. 3.10);  $a$  – расстояние между парами сходящихся шпуров, (принять равным 0,7 м).

Минимальная высота клинового вруба должна быть не меньше величины сопротивления для отбойного шпура, работающего на вруб ( $W_{отб}$ ):

$$h_k = W_{отб} = 47 \cdot d_n \cdot \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma \cdot e \cdot U_{отб}}}, \text{ м}, \quad (3.10)$$

где  $d_n$  – диаметр патрона ВВ, м (табл. 3.2);  $\Delta$  – плотность заряжения, г/см<sup>3</sup> (табл. 3.2);  $\gamma$  – плотность породы, т/м<sup>3</sup>;  $U_{отб}$  – коэффициент зажима для отбойных шпуров:

- ( $U_{отб} = 0,6$  – для малых сечений выработки (менее 8 м<sup>2</sup>),
- $U_{отб} = 0,7-0,8$  – для средних сечений выработки (8-20 м<sup>2</sup>),
- $U_{отб} = 0,9$  – для больших сечений выработок (более 20м<sup>2</sup>).

Вычерчивается сечение выработки сводчатой формы и расставляются врубовые шпуры (рис. 3.3). Расстояние между врубовыми шпурами принимается равным 600-700 мм.

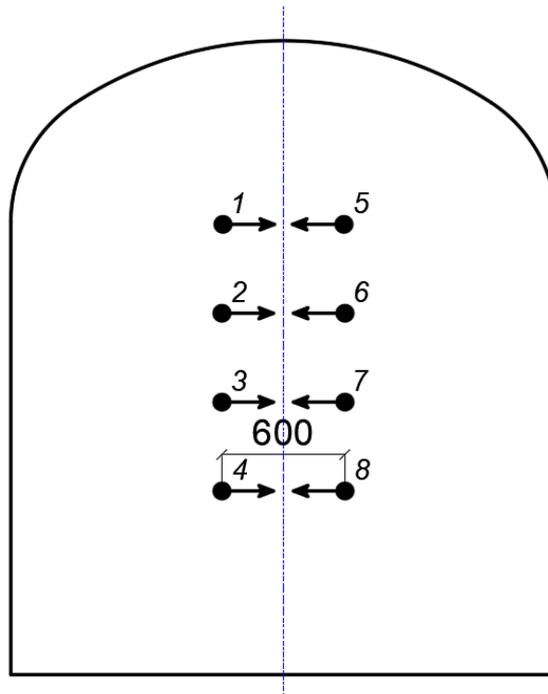


Рис. 3.3 – Расстановка врубовых шпуров при применении клинового вруба

### Расчёт оконтуривающих шпуров

Расстояние между оконтуривающими шпурами, м:

$$a_{ок} = 0,6 \cdot h_k, \text{ м}. \quad (3.11)$$

Ниже приведены формулы для расчёта количества шпуров и фактического расстояния между ними. После расчёта количества шпуров необходимо произвести их округление, причём если после запятой стоит число выше 3, то округление необходимо производить в большую сторону.

Расчётные формулы для определения числа оконтуривающих шпуров:

- по почве

$$n_{\text{ок}}^{\text{почва}} = \frac{B_1 - 0,2}{a_{\text{ок}}} + 1, \text{ шт.} \quad (3.12)$$

- по борту

$$n_{\text{ок}}^{\text{борт}} = \frac{h_3 - 0,1}{a_{\text{ок}}} + 1, \text{ шт.} \quad (3.13)$$

- по кровле

$$n_{\text{ок}}^{\text{кровля}} = \frac{P_{\text{кр}}}{a_{\text{ок}}} + 1, \text{ шт.} \quad (3.14)$$

Расчётные формулы для определения фактического расстояния между оконтуривающими шпурами:

- по почве

$$a_{\text{ф}}^{\text{почва}} = \frac{B_1 - 0,2}{a_{\text{ок}}^{\text{почва}} - 1}, \text{ м.} \quad (3.15)$$

- по борту

$$a_{\text{ф}}^{\text{борт}} = \frac{h_3 - 0,1}{n_{\text{ок}}^{\text{борт}} - 1}, \text{ м.} \quad (3.16)$$

- по кровле

$$a_{\text{ф}}^{\text{кровля}} = \frac{P_{\text{кр}}}{n_{\text{ок}}^{\text{кровля}} - 1}, \text{ м.} \quad (3.17)$$

где  $B_1$  – ширина выработки по почве вчерне, м;  $h_3$  – высота вертикальной стенки, м;  $P_{\text{кр}}$  – периметр кровли, м.

Значения  $B_1$ ,  $h_3$ ,  $P_{\text{кр}}$  определяются из 1 практической работы (табл.1.3).

Расставляются шпуры по контуру, который на 100 мм меньше, чем контур выработки (рис. 3.4).

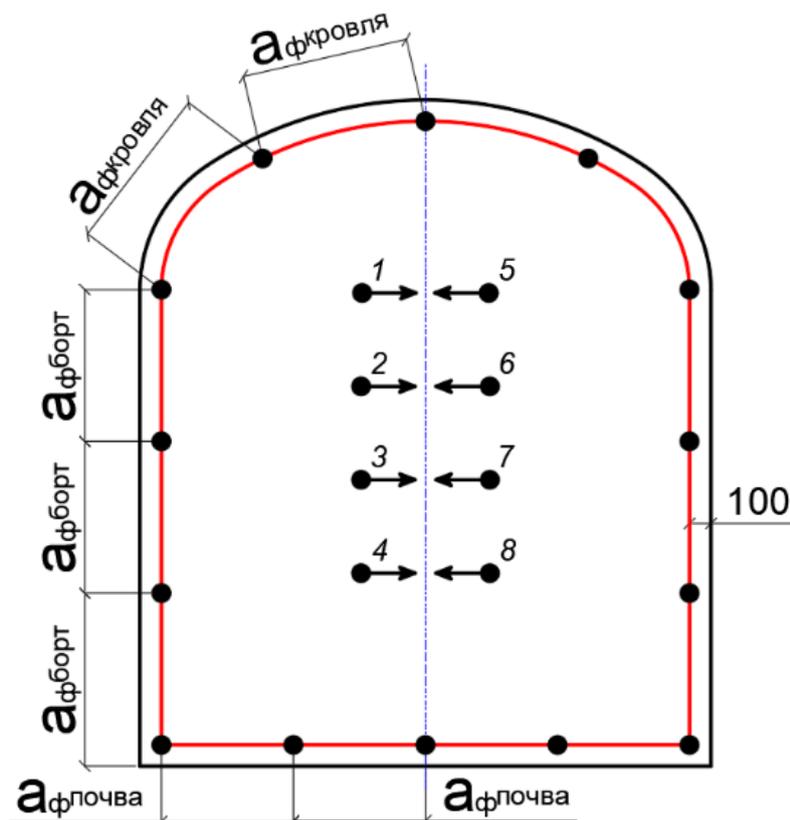


Рис. 3.4 – Расстановка оконтуривающих шпуров

### Расчёт отбойных (вспомогательных) шпуров

Необходимость расстановки отбойных шпуров определяем графическим способом.

Оконтуривающие шпуры в зависимости от крепости пород бурят на расстоянии 0,4-1,0 м один от другого или рассчитывают по формуле:

$$a_n = (0,6 \div 0,7) \cdot W_{отб}, \text{ м.} \quad (3.18)$$

При размещении в забое отбойных (вспомогательных) шпуров расстояние между ними и смежными рядами шпуров можно принимать по табл. 3.5 или в соответствии со значением ( $W_{отб}$ ). Отбойные шпуры следует располагать по квадратной сетке, что обличает их разбивку и разметку.

Таблица 3.5

Величина ЛНС между рядами отбойных (вспомогательных) шпуров и смежными с ними шпурами

Коэффициент крепости пород ( $f$ )	ЛНС в зависимости от работоспособности ВВ	
	$P = 320-395$	$P = 400-480$
6-8	0,66-0,7	0,72-0,08
9-10	0,6-0,64	0,66-0,7
11-13	0,52-0,6	0,6-0,64
14-18	0,45-0,5	0,52-0,6

На рисунке 3.5 изображена схема расположения всех шпуров на плоскости забоя.

На чертеже необходимо указать расстояние между оконтуривающими шпурами, между рядами вспомогательных шпуров, между врубовыми шпурами. Проставить номера шпуров: сначала врубовые, затем вспомогательные, после – оконтуривающие.

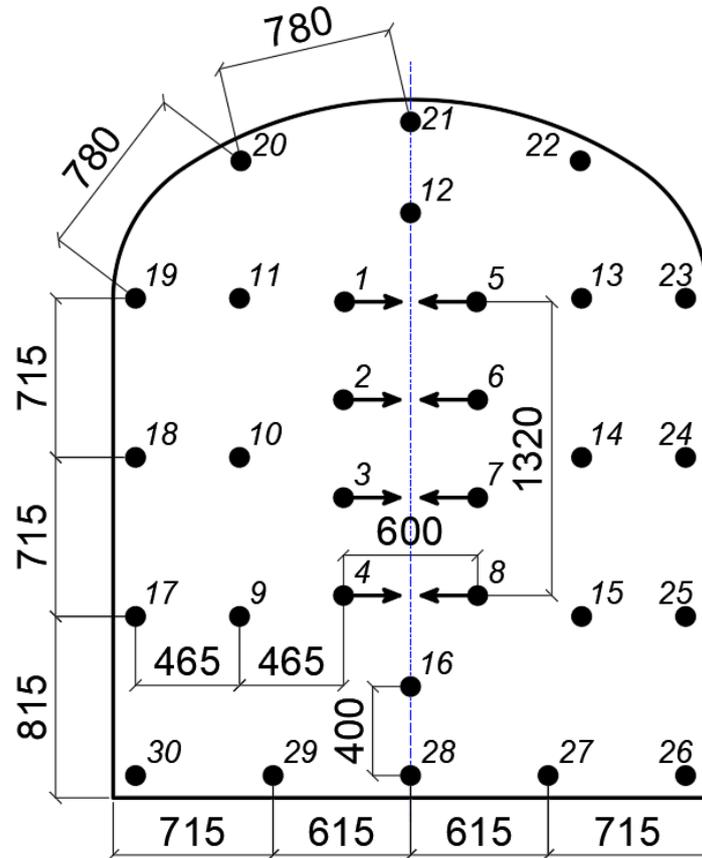


Рис. 3.5 – Схема расположения шпуров в фронтальной проекции

Далее производят уточнение параметров БВР.

#### Уточнение параметров БВР

Величина заряда в отдельных шпурах уточняется с учётом их назначения и глубины, при этом изменяется общий расход ВВ на цикл.

Первоначально определяется общий расчётный расход ВВ на цикл исходя из известного удельного расхода ВВ, затем рассчитывается средняя величина заряда в шпуре с учётом числа заряжаемых шпуров в комплекте.

$$Q_p = q_{вв} \cdot S_{вч} \cdot l_{ц}, \text{ кг.} \quad (3.19)$$

$$q_{ср} = \frac{Q_p}{N_{общ}}, \text{ кг,} \quad (3.20)$$

где  $N_{общ}$  – общее число заряжаемых шпуров в сечении, шт.

#### Уточнение величины заряда ВВ в каждом шпуре

Для врубовых шпуров величину заряда принимают на 15-20% больше средней величины заряда, для отбойных шпуров – на 15-20% меньше, а для оконтуривающих около средней величины заряда. При этом необходимо иметь в виду, что в каждом шпуре размещается целое число патронов ВВ (если заряд формируется патронированным ВВ).

Уточнённый общий расход ВВ на цикл должен быть в пределах рассчитанного и составлять:

$$Q_{\phi} = q_{\text{вр}}^{\phi} \cdot N_{\text{вр}} + q_{\text{отб}}^{\phi} \cdot N_{\text{отб}} + q_{\text{ок}}^{\phi} \cdot N_{\text{ок}}, \text{ кг.} \quad (3.21)$$

где  $q_{\text{вр}}^{\phi}$ ,  $q_{\text{отб}}^{\phi}$ ,  $q_{\text{ок}}^{\phi}$  – величина заряда соответственно во врубовом, отбойном (вспомогательном) и оконтуривающем шпурах, кг.

Величина заряда во врубовом шпуре:

$$q_{\text{вр}} = q_{\text{ср}} \cdot 1,2, \text{ кг.} \quad (3.22)$$

Число патронов во врубовом шпуре (округлить до целого):

$$n_{\text{п}}^{\text{вр}} = \frac{q_{\text{вр}}}{m_n}, \text{ шт.}, \quad (3.23)$$

где  $m_n$  – масса стандартного патрона, кг (таблица 3.2).

Уточнённая масса ВВ во врубовом шпуре:

$$q_{\text{вр}}^{\phi} = n_{\text{п}}^{\text{вр}} \cdot m_n, \text{ кг.} \quad (3.24)$$

Величина заряда в отбойном шпуре:

$$q_{\text{отб}} = q_{\text{ср}} \cdot 0,8, \text{ кг.} \quad (3.25)$$

Число патронов в отбойном шпуре (округлить до целого):

$$n_{\text{п}}^{\text{отб}} = \frac{q_{\text{отб}}}{m_n}, \text{ шт.} \quad (3.26)$$

Уточнённая масса ВВ в отбойном шпуре:

$$q_{\text{отб}}^{\phi} = n_{\text{п}}^{\text{отб}} \cdot m_n, \text{ кг.} \quad (3.27)$$

Величина заряда в оконтуривающем шпуре:

$$q_{\text{ок}} = q_{\text{ср}} \cdot 1,0, \text{ кг.} \quad (3.28)$$

Число патронов в оконтуривающем шпуре (округлить до целого):

$$n_{\text{п}}^{\text{ок}} = \frac{q_{\text{ок}}}{m_n}, \text{ шт.} \quad (3.29)$$

Уточнённая масса ВВ в оконтуривающем шпуре:

$$q_{\text{ок}}^{\phi} = n_{\text{п}}^{\text{ок}} \cdot m_n, \text{ кг.} \quad (3.30)$$

Длина заряда ВВ в шпуре:

- во врубовом

$$l_{\text{вв.вр}} = l_{\text{п}} \cdot n_{\text{п}}^{\text{вр}}, \text{ мм,} \quad (3.31)$$

- в отбойном

$$l_{\text{вв.отб}} = l_{\text{п}} \cdot n_{\text{п}}^{\text{отб}}, \text{ мм,} \quad (3.32)$$

- в оконтуривающем

$$l_{\text{вв.ок}} = l_{\text{п}} \cdot n_{\text{п}}^{\text{ок}}, \text{ мм,} \quad (3.33)$$

где  $l_{\text{п}}$  – длина стандартного патрона ВВ, мм (таблица 3.2).

### **Очередность взрывания**

При любом способе взрывания в первую очередь взрывают врубовые шпуры, затем отбойные (вспомогательные) и, наконец, оконтуривающие, при этом шпуры по почве взрывают последними. При электрическом способе взрывания - порядок взрывания общий, но очередность взрывания

шпуров регулируется замедлением принятых ЭД. Выполненные расчёты сводят в таблицу 3.6, являющуюся частью паспорта БВР.

Таблица 3.6

Параметры буровзрывных работ

№№ шпуров	Наименование шпуров	Глубина шпуров, м	Величина заряда в шпуре, кг	Длина заряда, м	Длина забойки в шпуре, м	Угол наклона шпуров, град.	Интервал замедления, мс
	Врубовые						0
	Отбойные						20
	Оконтуривающие						50

### **Расчёт основных показателей БВР**

К основным показателям БВР относятся: объём горной массы, оторванной за взрыв; общий и удельный расход шпурометров, взрывчатых материалов; а также скорость и продолжительность сооружения выработки. Все расчётные данные вносятся в таблицу 3.7, прилагаемую к паспорту БВР.

Объём горной массы, оторванной за взрыв:

$$V_{\text{ц}} = S_{\text{вч}} \cdot l_{\text{ц}}, \text{ м}^3, \quad (3.34)$$

Расход шпурометров на цикл:

$$L_{\text{ц}} = l_{\text{вр}} \cdot N_{\text{вр}} + l_{\text{отб}} \cdot N_{\text{отб}} + l_{\text{ок}} \cdot N_{\text{ок}}, \text{ м}, \quad (3.35)$$

где  $l_{\text{вр}}$ ,  $l_{\text{отб}}$ ,  $l_{\text{ок}}$  – глубина соответственно врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров в комплекте, м (табл. 3.6).

Расход шпурометров на 1 м выработки:

$$L_{1\text{м}} = \frac{L_{\text{ц}}}{l_{\text{ц}}}, \text{ м/м}. \quad (3.36)$$

Расход шпурометров на 1 м<sup>3</sup> выработки:

$$L_{1\text{м}^3} = \frac{L_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}}, \text{ м/м}^3. \quad (3.37)$$

Расход ВВ на 1 м выработки:

$$Q_{1\text{м}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{l_{\text{ц}}}, \text{ кг/м}, \quad (3.38)$$

где  $Q_{\text{ф}}$  – уточнённый общий расход ВВ (ф. 3.21).

Расход ВВ на 1 м<sup>3</sup> выработки:

$$q_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{V_{\text{ц}}}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.39)$$

Расход средств инициирования (СИ) определяется на цикл, на 1 м проходки выработки, на 1 м<sup>3</sup> проходки выработки. При этом расход капсулей-детонаторов за цикл соответственно равен числу взрывааемых зарядов.

Расход электрических проводов при электрическом способе взрывания равен длине магистрального провода, повреждаемого разлетающимися кусками породы при взрыве (до 25-35 м).

Фактическая месячная скорость проходки выработки ( $E_{\phi}$ , м/мес.):

$$E_{\phi} = l_{\text{ц}} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \text{ м/мес.}, \quad (3.40)$$

где  $n_1$  – число рабочих суток в месяце (принять равным 30);  $n_2$  – число смен в сутки (принять равным 3);  $n_3$  – число циклов в смену (принять равным 1).

Продолжительность сооружения выработки ( $T$ , мес.):

$$T = \frac{L}{E_{\phi}}, \text{ мес.}, \quad (3.41)$$

где  $L$  – длина горной выработки, м (принять равным 100).

Таблица 3.7

Основные показатели буровзрывных работ

№ п/п	Технико-экономические показатели	Значение
1	Сечение горной выработки в проходке, м <sup>2</sup>	
2	Длина уходки забоя за цикл, м	
3	Коэффициент использования шпура (КИШ)	
4	Объем отбитой горной массы за цикл, м <sup>3</sup>	
5	Общее количество заряжаемых шпуров на цикл, шт.: - врубовых - вспомогательных - оконтуривающих	
6	Длина шпуров, м: - врубовых - вспомогательных - оконтуривающих	
7	Количество шпурометров, м: - на цикл - на 1 п.м. выработки - на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы	
8	Количество патронов в шпурах, шт.: - врубовых - вспомогательных - оконтуривающих	
9	Величина заряда ВВ в шпурах, кг: - врубовых - вспомогательных - оконтуривающих	

10	Расход ВВ, кг: - на цикл - на 1 п.м. выработки - на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы	
11	Расход СИ на цикл: - ДШ, м - СИНВ-Ш, шт.	
12	Месячная скорость проходки выработки, м/мес.	
13	Продолжительность сооружения выработки, мес.	

После окончания расчётов, производят построение паспорта БВР.

### Графическое построение паспорта БВР

Графическое построение паспорта представляет собой вычерченную в трёх проекциях схему расположения шпуров на плоскости забоя с указанием всех основных размеров (рис. 3.6).

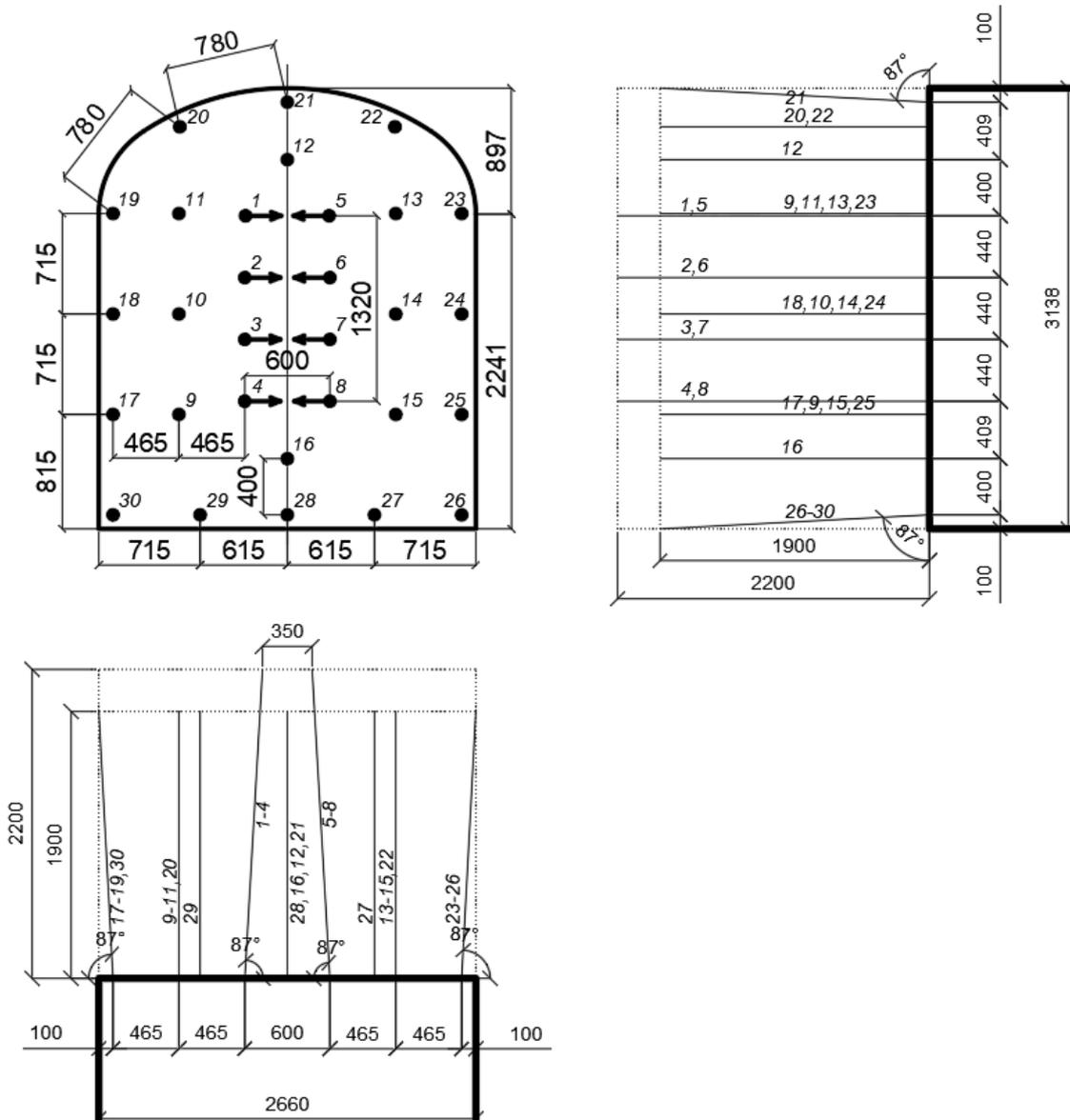
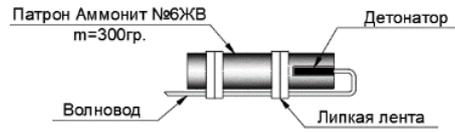


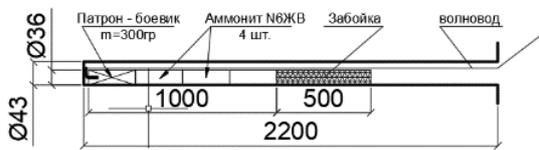
Рис. 3.6 – Схема расположения шпуров в забое

Также в паспорте указываются данные о конструкции заряда и конструкции патрона-боевика (рис. 3.7).

### Конструкция патрона-боевика



### Схема конструкции заряда ВВ обратного инициирования №1-8



### Схема конструкции заряда ВВ обратного инициирования №9-30

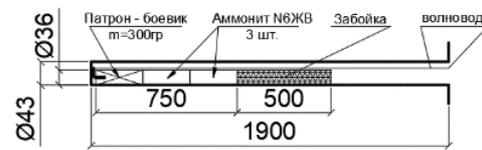


Рис. 3.7 – Схема конструкции зарядов и патрона-боевика

Вычерчивается схема коммутации зарядов (рис. 3.8), и вставляются данные из расчётных таблиц 3.6 и 3.7.

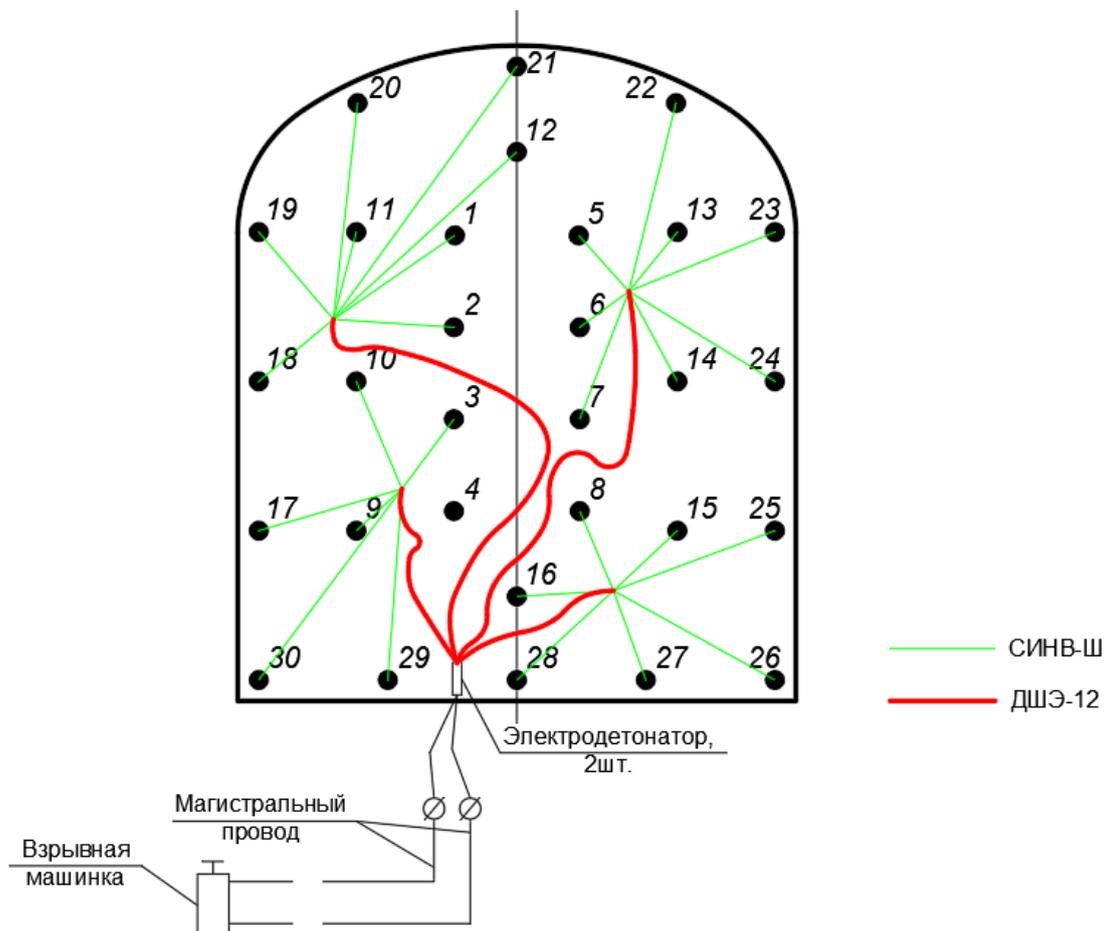


Рис. 3.8 – Схема коммутации зарядов ВВ

Схема коммутации зарядов ВВ представляет собой фронтальную проекцию сечения проводимой выработки, с указанием мест расположения шпуров и их нумерацией. На эту проекцию схематично наносится порядок соединения зарядов с указанием применяемых средств инициирования. В данной работе применяется неэлектрическая система инициирования шпуровых зарядов СИНВ-Ш, которая получает инициирующий взрывной импульс от детонирующего шнура ДШЭ-12.

Устройство ИСКРА-Ш (рис. 3.9, а) предназначено для замедления инициирования боевиков шпуровых и скважинных зарядов при взрывных работах в рудниках и угольных шахтах, где допущено применение неприехохранительных ВВ II класса, а также на земной поверхности. Представлено в 51 серии замедления – от мгновeнного до 10000 мс [8].

Детонирующий шнур экструзионный нормальной мощности и повышенной водостойкости ДШЭ-12 (рис. 3.9, б) предназначен для передачи на расстояние детонации взрывчатым веществам и различным системам инициирования при проведении взрывных работ на земной поверхности и в подземных выработках рудников и шахт, не опасных по газу и (или) пыли. Взрывчатая сердцевина из ТЭНа заключена в полиамидные нити. Наружное покрытие – полиэтилен [9].

а)

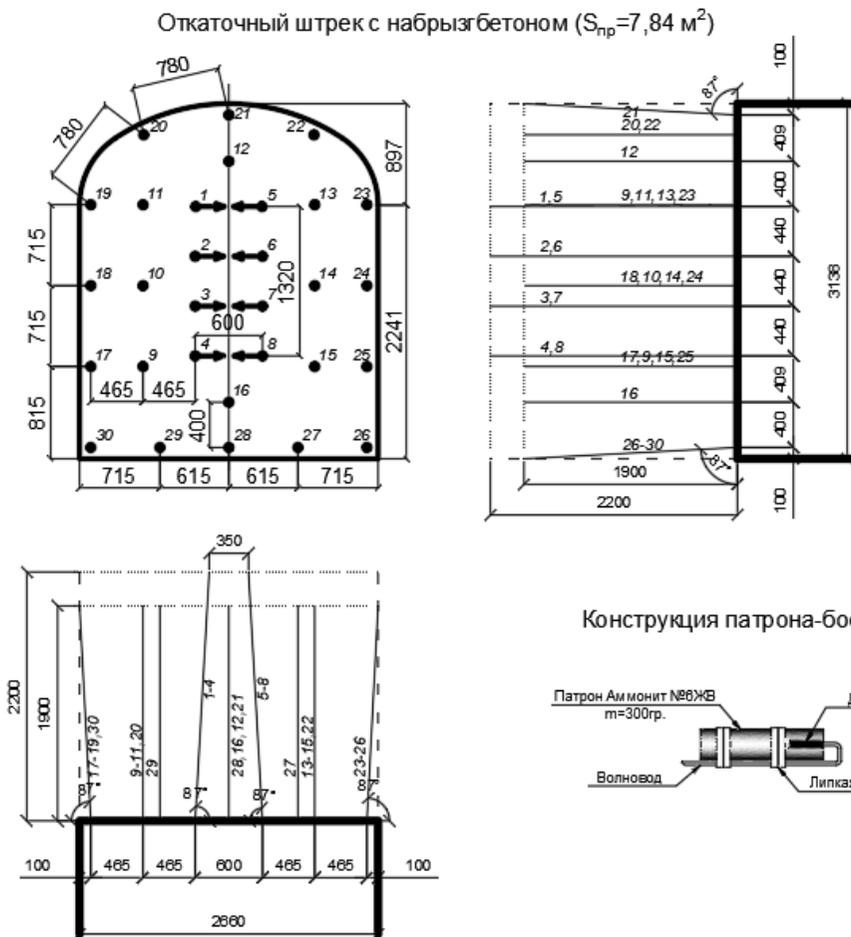


б)



Рис. 3.9 – Внешний вид неэлектрической системы инициирования СИНВ-Ш (а) и детонирующего шнура (б)

Пример итогового паспорта БВР представлен на рисунке 3.10



№ п/п	Технико-экономические показатели	Значение
1	Длина заряды заряда за цикл, м	1,71
2	Коэффициент использования шпура (КИШ)	0,80
3	Объем отбитой горной массы за цикл, м <sup>3</sup>	0,41
4	Общее количество зарядов шпура за цикл, шт	30
5	В том числе: Вульвайт	8
6	Вспомогательных	8
7	активированных	14
8	Длина шпура, м: Вульвайт	2,2
9	Вспомогательных	1,8
10	активированных	1,8
11	Количество шпуров/шпур, м за цикл	89,40
12	на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы	34,74
13	на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы	4,43
14	Количество патронов в шпуре, шт: Вульвайт	4
15	Вспомогательных	3
16	активированных	3
17	Величина заряда ВВ в шпуре, кг: Вульвайт	1,70
18	Вспомогательных	0,80
19	активированных	0,80
20	Расход ВВ, кг за цикл	29,40
21	на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы	19,19
22	на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы	2,19
23	Расход средств инициирования на цикл: СИВ-Ш шт	30,00
24	шт, м	18,00
25	Расход средств инициирования на 1 м <sup>3</sup> отбитой горной массы: СИВ-Ш шт/м	17,84
26	шт/м	8,77

№ п/п	Наименование шпура	Глубина шпура, м	Величина заряда в шпуре, кг	Длина заряда, м	Длина работы в шпуре, м	Всего на клан шпуров, град	Интервал закладки, м
1-8	Вульвайт	2,2	1,7	1,000	0,5	87	0
9,11	Вспомогательные	1,8	0,8	0,750	0,5	90	25
10	Вспомогательные	1,8	0,8	0,750	0,5	90	50
13-15	Вспомогательные	1,8	0,8	0,750	0,5	90	75
16	Вспомогательные	1,8	0,8	0,750	0,5	90	100
17-19	Активированные	1,8	0,8	0,750	0,5	87	125
20-22	Активированные	1,8	0,8	0,750	0,5	87	150
23-25	Активированные	1,8	0,8	0,750	0,5	87	175
26-30	Активированные	1,8	0,8	0,750	0,5	87	200

Конструкция патрона-боевика

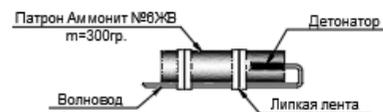


Схема коммутации зарядов ВВ

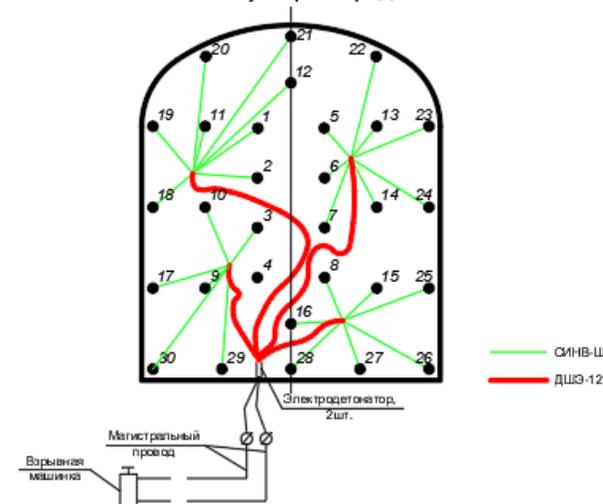


Схема конструкции заряда ВВ обратного инициирования №1-8

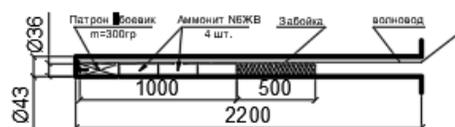


Схема конструкции заряда ВВ обратного инициирования №9-30

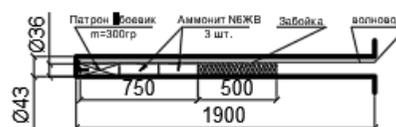


Рис. 3.10 – Итоговый паспорт БВР

## Порядок выполнения работы

1. Принимаем для построения вертикальный клиновидный вруб.
2. По таблице 3.2 подбираем тип взрывчатого вещества.
3. Рассчитываются формулы 3.2-3.10.
4. Строится сечение прямоугольно-сводчатой выработки (аналогичное сечению из практической работы №1), и наносятся врубовые шпуры.
5. Производится расчёт числа оконтуривающих шпуров и фактических расстояний между ними (ф. 3.11-3.17).
6. На чертёж наносятся оконтуривающие шпуры.
7. Согласно ф. 3.18 или табл. 3.5 выполняется расчёт вспомогательных (отбойных) шпуров.
8. На чертеж наносятся вспомогательные шпуры.
9. Выполняются уточняющие расчёты параметров БВР по формулам 3.19-3.41, результаты которых заносятся в таблицы 3.6 и 3.7.
10. Оформляется готовый паспорт БВР, аналогичный рис. 3.10.
11. Оформляется отчёт о практической работе.

Таблица 4.3

Варианты заданий для построения паспорта крепления

№	Коэффициент крепости, $f$	Коэффициент структуры породы, $f_0$	Скорость проходки ( $U_v$ ), м/мес.
1	7	Мелкослоистые, плотные	60
2	8	Хрупкие, легко дробимые	80
3	9	Сланцевые с меняющейся крепостью	75
4	10	Дислоцированное, неправильное залегание с мелкой трещиноватостью	90
5	11	Вязкие, упругие, пористые, сильно перемятые и спекшиеся	95
6	12	Сланцевые с меняющейся крепостью	100
7	13	Хрупкие, легко дробимые	65
8	7	Мелкослоистые, плотные	75
9	8	Вязкие, упругие, пористые, сильно перемятые и спекшиеся	70
10	9	Мелкослоистые, плотные	85
11	10	Хрупкие, легко дробимые	65
12	11	Мелкослоистые, плотные	90
13	12	Хрупкие, легко дробимые	85
14	13	Вязкие, упругие, пористые, сильно перемятые и спекшиеся	80
15	7	Хрупкие, легко дробимые	75
16	8	Хрупкие, легко дробимые	95
17	12	Мелкослоистые, плотные	65
18	9	Напластование, перпендикулярное направлению шпуров	100
19	10	Хрупкие, легко дробимые	80
20	11	Мелкослоистые, плотные	75

## Список вопросов для самоконтроля

1. Назовите основные технологические процессы при проходке буровзрывным способом. Какие процессы относятся к основным, а какие к вспомогательным?
2. Назовите определение шпура и скважины. Расскажите об оборудовании для их бурения и заряжания.
3. От каких показателей зависит схема расположения шпуров в забое?
4. Для чего нужны врубовые, отбойные и оконтуривающие шпуры?
5. Назовите основные типы применяемых на практике взрывных врубов при проведении подземных горных выработок. Какие показатели влияют на выбор вруба?
6. Что такое прямой и обратный способ инициирования заряда?
7. На что влияет глубина шпуров?
8. Какие требования предъявляют к буровзрывным работам?
9. От чего зависит эффективность буровзрывных работ?
10. Что такое коэффициент использования шпура и коэффициент излишка сечения? Как рассчитываются, от чего зависят.
11. Что такое паспорт буровзрывных работ. Что в него входит?
12. Что такое взрываемость и буримость горной породы, чем они характеризуются?
13. Дайте определения следующим понятиям: взрыв; взрывчатое вещество.
14. Для каких целей применяется забойка в шпурах и скважинах?

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4**

### **РАСЧЁТ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ПРЯМОУГОЛЬНО-СВОДЧАТОЙ ФОРМЫ**

**Цель работы:** ознакомление с назначением и областью применения различных конструкций анкерной крепи и получение практических навыков по её расчёту; построение схемы анкерного крепления.

#### **Краткие теоретические сведения**

Под анкерной крепью понимают систему закрепленных определенным образом в кровле, боках и почве выработок анкеров для упрочнения массива горных пород и повышения устойчивости обнажений, благодаря скреплению породных слоев или структурных блоков между собой.

Анкерную крепь применяют для крепления горной выработки самого различного назначения, размеров поперечного сечения и срока службы.

Анкерная крепь представляет собой стержни – анкеры (металлические, деревянные, железобетонные или из полимерных и других материалов), закрепляемые различными способами в толще пород. Эту крепь применяют как в качестве самостоятельной крепи, так и в сочетании с другими видами крепей. Анкерная крепь имеет значительные технико-экономические и эксплуатационные преимущества перед обычными видами рамной крепи. Она обеспечивает повышение безопасности работ, улучшает состояние выработок и снижает затраты на их крепление и поддержание. По сравнению с другими видами крепи анкерная крепь позволяет легко механизировать процесс возведения крепи.

Анкер – стержень, имеющий на одном конце (замковом, несущем) замок или участок стержня для закрепления в шпуре, а на другом – (контурном) – резьбу под гайку или другое устройство для натяжения закрепленного анкера и установки на контуре выработки поддерживающих элементов (опорных плит, подхватов).

Классификацию анкеров крепи проводят по:

- разновидности закрепления анкеров – замковые, беззамковые;
- характеру податливости анкеров: жёсткие, податливые, ограниченно-податливые;
  - материалу стержней анкеров – металл, стекловолокно, полимеры;
  - конструктивному исполнению стержней – цельные, составные;
  - полноте соприкосновения со стенками скважины – на отдельном участке, по всей длине;
  - виду закрепления анкеров быстротвердеющими составами – на полимерной (химической) основе, цементной основе;
  - способу закрепления анкеров быстротвердеющими составами – нагнетание раствора в скважину и с помощью ампул (патронов);
  - форме стержней анкеров – круглая, квадратная, прямоугольная, комбинированная, витая из прядей, трос, пакет прутков.

Детали анкеров классифицируют по элементам:

- демпфирующие податливые элементы – деревянные распилы, деревянные или резиновые прокладки, отрезки из уголка, швеллера, спецпрофиля и др.;
- подхваты – из стальных (стеклопластиковых) прутков, полос, швеллеров, спецпрофилей;
- опорные шайбы – металлические (объемные или плоские), стеклопластиковые (объемные или плоские);
- уплотнительные шайбы – пластмассовые или из другого соответствующего материала.

Параметрами анкерной крепи являются:

- отставание крепи от забоя;
- схема установки штанг по периметру сечения выработки;
- длина штанг (глубина их установки в массив);
- шаг установки штанг по длине и ширине выработки;

Выбор типа анкера можно сделать в зависимости от коэффициента крепости пород по табл. 4.1. На рудниках наибольшее распространение имеет железобетонный анкер. Перспективным является применение сталеполимерных анкеров.

Таблица 4.1

Выбор типа анкера

Тип анкера	Коэффициент крепости пород $f$	Несущая способность, кН	Примечание
Клинощелевой	6-10	Не более 60-70	При $10 < f < 6$ прочность закрепления замка резко уменьшается
Распорно-конусный и распорно-клиновой	$< 4$ $> 4$	Более 60-100, не более 15-20	Практически несущая способность замка при $f > 4$ 60-80 кН; полное сцепление замков с породой достигается при натяжении 40-50 кН
Железобетонный	2-3 10-15 и более	Около 100 Не более 200-250	Несущая способность дана при полном заполнении шпура бетоном
Сталеполимерный	Любой	140 (средняя)	Заполнение шпура полимербетоном 0,25-0,3 м; начальное натяжение 35 - 60 кН

Расчёт несущей способности железобетонного анкера ведут в следующей последовательности.

1. Определяется расчётная несущая способность стержня анкера ( $P_c$ ) из условия его прочности на разрыв:

$$P_c = \pi \cdot r^2 \cdot R_p \cdot m, \text{ Н}, \quad (4.1)$$

где  $r$  – радиус стержня, м;  $R_p$  – расчётное сопротивление материала стержня растяжению, Па ( $R_p=210$  МПа для горячекатаной круглой гладкой стали класса А-I;  $R_p=270$  МПа для стали периодического профиля класса А-II;  $R_p=360$  МПа для стали периодического профиля класса А-III);  $m$  – коэффициент условий работы стержня анкера, который в обычных условиях работы можно принять равным 0,9-1.

2. Устанавливается расчётная несущая способность стержня анкера ( $P_{сд}$ , Н) из условия прочности его закрепления в бетоне (или полимербетоне):

$$P_{сд} = \pi \cdot d_{ш} \cdot \tau \cdot l_3 \cdot k_3 \cdot m_1, \text{ Н}, \quad (4.2)$$

где  $d_{ш}$  – диаметр шпура, м;  $\tau$  – удельное сцепление бетона с породой, Па (удельное сцепление бетона М300 с породой, равно  $\tau = 1$  МПа);  $l_3$  – расчётная длина заделки, м;  $k_3$  – поправочный коэффициент на длину заделки (табл. 4.2);  $m_1$  – коэффициент условий работы замка, значение которого принимают при влажном шпуре 0,75, при сухом шпуре – 0,9.

На основании экспериментальных данных величину поправочного коэффициента ( $k_3$ ) рекомендуется принимать по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значения поправочных коэффициентов

Условия работы	Значения ( $k_3$ ) от длины заделки ( $l_3$ ), м				
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4
При цементном бетоне	1	0,65	0,62	0,58	0,55

В качестве расчётной несущей способности анкера  $P_a$  принимается меньшее из значений ( $P_c$  или  $P_{сд}$ ).

Длину анкера  $l_a$  определяют с учётом зон возможного обрушения или отслоения пород, зависящих от запаса прочности пород кровли и боков, формы выработки и расчётной схемы горного давления. Типовыми паспортами крепления горных выработок для рудников цветной металлургии длину анкера определяют по формуле:

$$l_a = \frac{B_l}{\sqrt{f}} + K, \text{ м} \quad (4.3)$$

где  $B_l$  – ширина выработки в черне, м (табл. 1.3);  $K$  – коэффициент, принимаемый равным 0,4-0,5 при ширине выработки  $B < 3,5$  м и 0,15-0,2 при  $B > 3,5$  м;  $f$  – коэффициент крепости пород по М.М. Протождьяконову.

Длина анкера в кровле выработки принимается равной не менее 1,0 м и не более 2,5 м (редко 3 м).

Плотность расстановки анкеров:

- в кровле

$$s_{кр} = \frac{q_{кр} \cdot n_{п}}{P_a}, 1/\text{м}^2, \quad (4.4)$$

- в боку

$$s_6 = \frac{q_n \cdot n_n}{P_a}, 1/\text{м}^2, \quad (4.5)$$

где  $n_n$  – коэффициент перегрузки ( $n_n = 1,2$ );  $P_a$  – расчётная несущая способность анкера (наименьшая из значений  $P_C$  и  $P_{CD}$ ), Н.  $q_{кр}$  – нормативное давление на крепь со стороны кровли, определяемое в зависимости от расчётной схемы горного давления, Па.  $q_n$  – интенсивность бокового давления у почвы, зависящая от расчётной схемы горного давления, формы выработки, Па.

Для выработки прямоугольно-сводчатой формы нормативное давление на крепь составляет:

- со стороны кровли

$$q_{кр} = \left[ \left( \frac{a}{\text{tg}\phi} \right) - h_c \right] \gamma \cdot 10^4, \text{ Па.} \quad (4.6)$$

- боковое

$$q_n = \left[ \left( \frac{a + h_1 \cdot \text{ctg}(45^\circ + \phi/2)}{\text{tg}\phi} \right) + h_1 \right] \gamma \cdot 10^4 \cdot \lambda_2, \text{ Па,} \quad (4.7)$$

где  $a$  – полупролёт выработки в черне, м;  $\phi$  – угол внутреннего трения пород, град,  $\phi = 45^\circ$ ;  $h_c$  – высота свода выработки, м,  $h_1$  – высота вертикальной стенки выработки, м;  $\lambda_2$  – коэффициент бокового распора, принимается равным 0,17;  $\gamma$  – плотность пород, т/м<sup>3</sup>.

Значения  $a$ ,  $h_c$ ,  $h_1$  определяются из 1 практической работы (табл. 1.3).

Расстояние между анкерами в кровле, м, при их расположении по квадратной сетке:

$$a_{кр} = \sqrt{\frac{1}{S_{кр}}}, \text{ м.} \quad (4.8)$$

Расстояние между анкерами в борту, м, определяется по формуле:

$$a_6 = \sqrt{\frac{1}{S_6}}, \text{ м.} \quad (4.9)$$

Расчёт числа анкеров (округлить до целого):

- в кровле

$$n_{кр} = S_{кр} \cdot P_{кр} \cdot a_{кр}, \text{ шт.} \quad (4.10)$$

- в боку

$$n_6 = S_6 \cdot h_1 \cdot a_6, \text{ шт.} \quad (4.11)$$

где  $P_{кр}$  – периметр кровли выработки в черне, м (практическая работа №1).

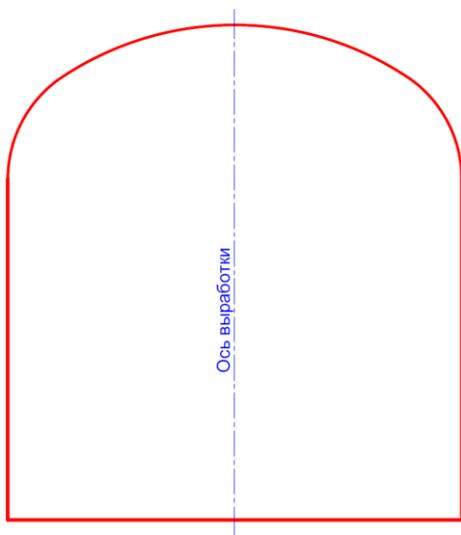
Объём закрепляющего состава, см<sup>3</sup>:

$$V = 0,825 \cdot (d_{ш}^2 - d_c^2) \cdot l_3. \quad (4.12)$$

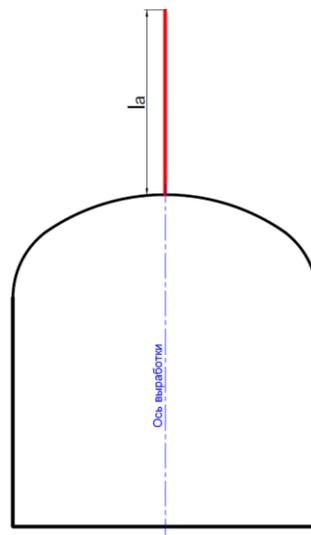
где  $d_{ш}$ ,  $d_c$  – соответственно диаметр шпура и армирующего стержня, см (табл. 4.3);  $l_3$  – длина заделки анкера в бетон или полимербетон, см.

На рисунке 4.1 представлена последовательность выполнения построения паспорта крепления выработки прямоугольно-сводчатой формы.

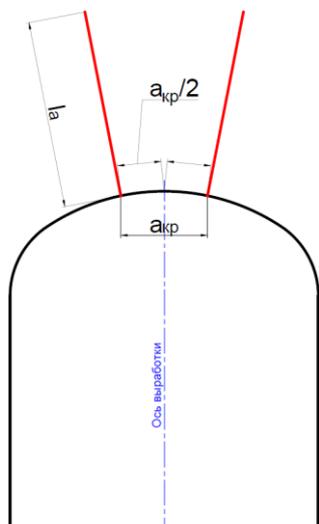
а)



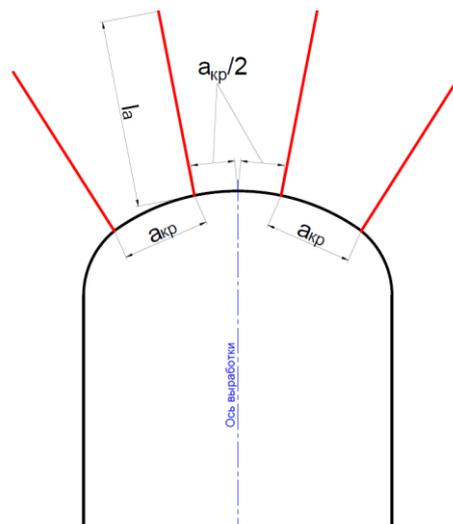
б)



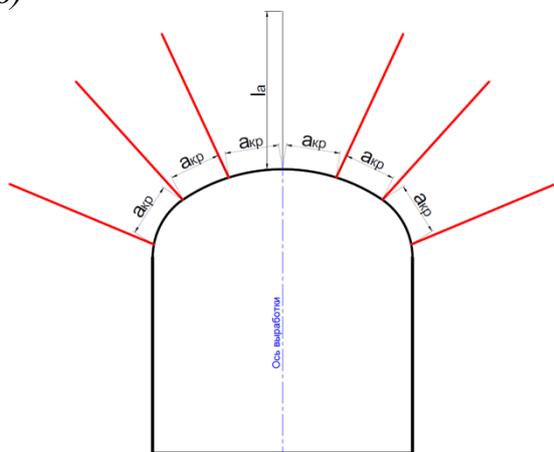
в)



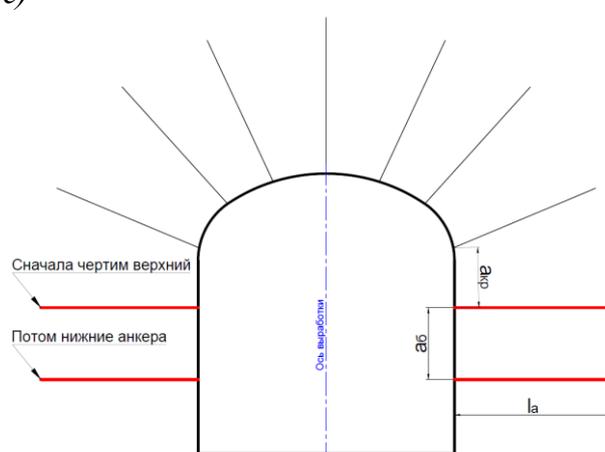
г)



д)



е)



ж)

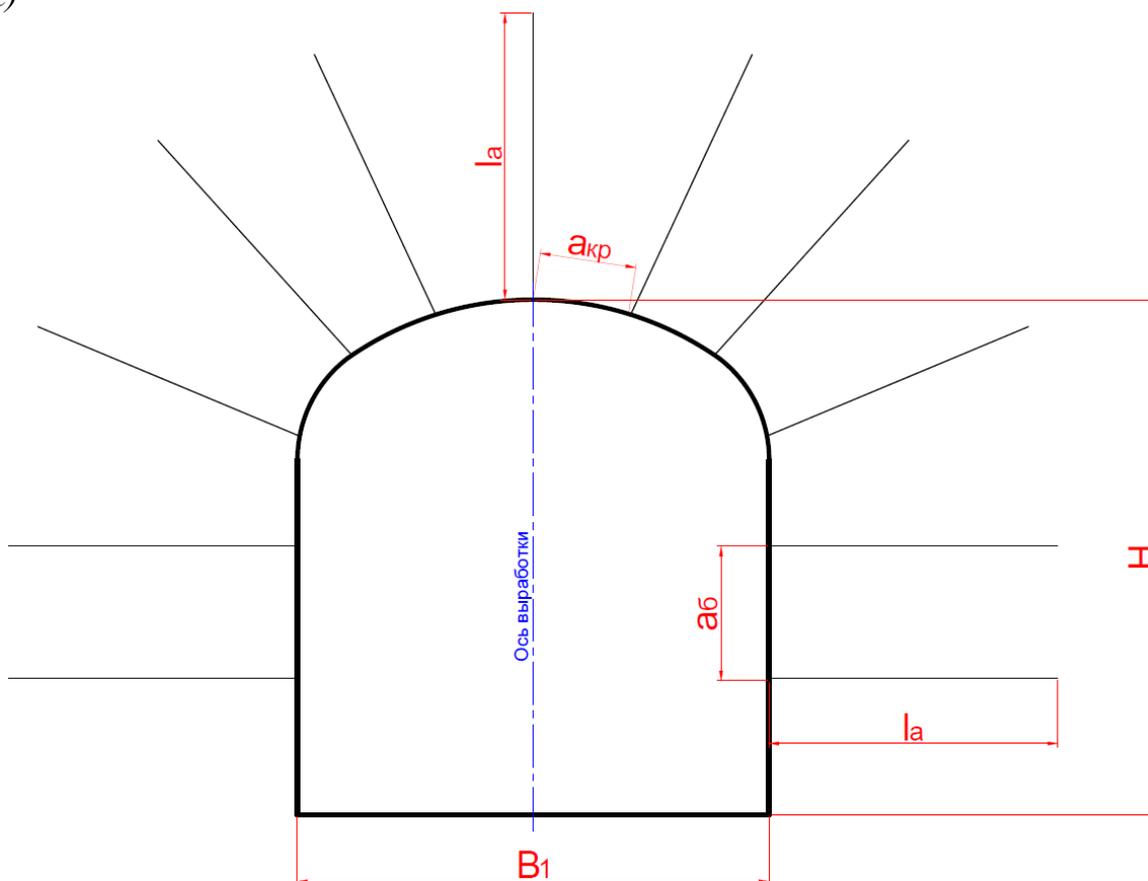
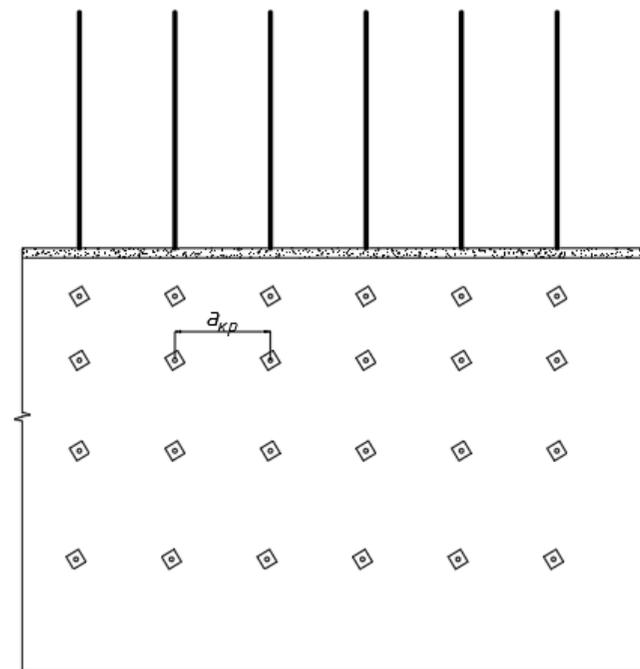
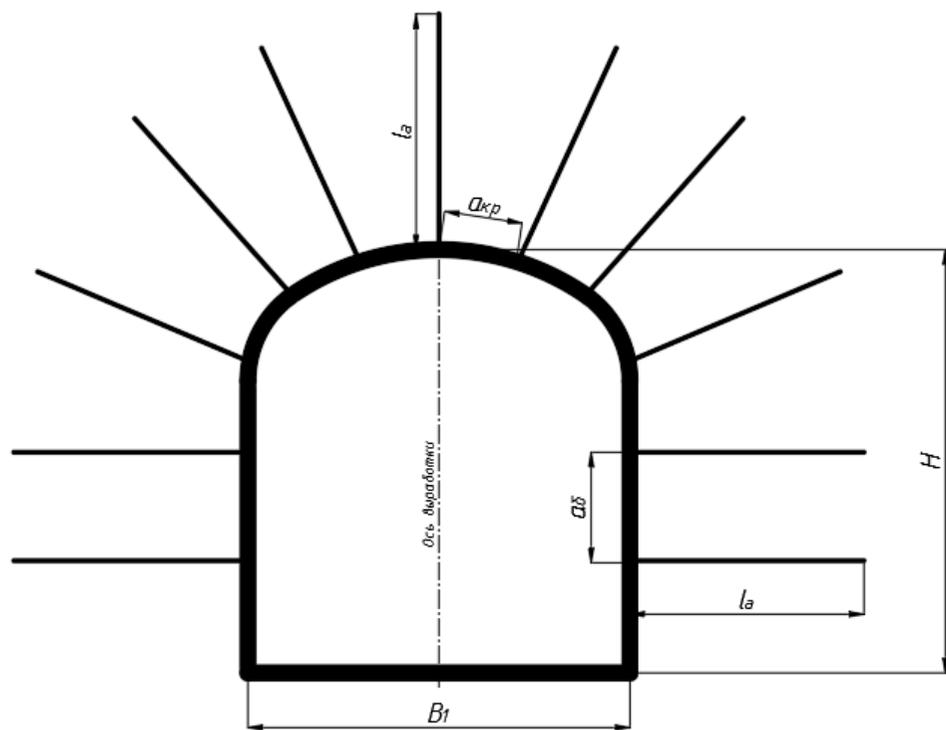


Рис. 4.1 – Последовательность вычерчивания анкерной крепи

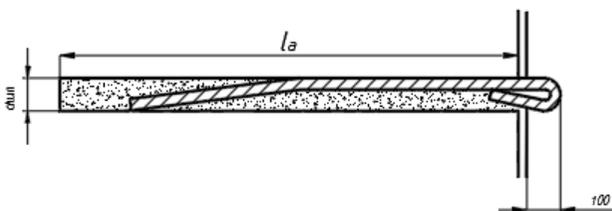
Таким образом, рассчитав необходимое количество анкеров в кровле и бортах выработки, и произведя их графическое построение согласно представленной на рисунке 4.1 последовательности, можно приступить к завершающему этапу – построению паспорта крепления.

Для этого на фронтальной проекции наносят все необходимые размеры, вычерчивают вид сверху, в специальной таблице заполняют информацию о параметрах крепи и расчётной потребности в крепёжных материалах, а также схематично изображают конструкцию применяемого анкера.

Пример итогового паспорта крепления анкерами представлен на рисунке 4.2.



конструкция анкера в кровле выработки



Параметры крепи		
Наименование	ед. изм.	значение
Глубина штангования	м	
Сетка штангования	мхм	
Число штанг в ряду	шт	
Толщина набрызгбетона	мм	

Расчет потребности в крепежном материале на 1 п.м. выработки		
Наименование	ед. изм.	значение
ЖБШ	шт	
Закрепляющий состав	м <sup>3</sup>	
Набрызгбетон	м <sup>3</sup>	

Рис. 4.2 – Схема крепления выработки анкерной крепью

## Порядок выполнения работы

1. Анкерная крепь рассчитывается для выработки сводчатой формы. Исходными данными являются конструктивные размеры выработки (практическая работа № 1) и таблица 4.3.

2. Рассчитываются формулы 4.1-4.12.

3. Производится построение анкерной крепи в масштабе 1:20 на миллиметровой бумаге или с помощью программы AutoCAD в следующей последовательности:

3.1. Перечерчивается внешний контур горной выработки сводчатой формы из практической работы № 1. Оборудование, размеры не нужны (рис. 4.1, а).

3.2. Расставляются анкера по кровле:

3.2 а. Если число анкеров в кровле ( $n_{кр}$ ) по расчёту получилось нечётное (5, 7, 9 и т.д.), то начинать расставлять анкера в кровле нужно с оси выработки. По центру кровли чертится анкер, длина его должна составлять расчётное значение  $l_a$ . (рис. 4.1, б).

3.2 б. Если число анкеров в кровле ( $n_{кр}$ ) по расчёту получилось чётное (4, 6, 8 и т.д.), то в кровле выработки вычерчиваются 2 анкера таким образом, чтобы расстояние от оси выработки до анкера составляло  $a_{кр}/2$ . Длина анкеров должна составлять расчётное значение  $l_a$ . (рис. 4.1, в)

3.3. Вычерчиваются остальные анкера по кровле согласно рис. 4.1, г или 4.1, д. Расстояние между анкерами должно составлять  $a_{кр}$ . Анкера строятся под прямым углом к выработке (по нормали к касательной). Общее количество анкеров в кровле определяется расчётом ( $n_{кр}$ ).

3.4. Вычерчиваются анкера в боку. Количество анкеров в боку ( $n_б$ ) по расчёту показывает их количество с одного боку. Расстояние между анкерами в боку –  $a_б$ . Длину анкера в боку принять аналогичной длине анкера в кровле. От крайнего анкера по кровле необходимо отложить расстояние, равное  $a_{кр}$ . и вычерчивать первый анкер в боку (рис. 4.1, е).

4. По окончанию построения выработки на чертёж наносятся размеры согласно рис. 4.1, ж.

5. Дистраивается продольный разрез выработки, заполняются таблицы «Параметры крепи» и «Расчёт потребности в крепёжном материале на 1 п. м. выработки», вычерчивается конструкция анкера (рис. 4.2).

6. Оформляется отчёт о практической работе.

Таблица 4.3

## Варианты заданий для построения паспорта крепления

№	Коэффициент крепости, $f$	Плотность пород $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Класс арматуры	Длина заделки стержня $l_3$ , м	Диаметр стержня $d_c$ , мм	Диаметр шпура $d_{ш}$ , мм
1	7	2,5	A-I	0,25	16	43
2	8	2,6	A-II	0,4	18	48
3	9	2,7	A-III	0,25	20	51
4	10	2,8	A-I	0,3	22	43
5	11	2,9	A-II	0,4	24	48
6	12	3,0	A-III	0,25	16	51
7	13	3,1	A-I	0,4	18	43
8	7	3,2	A-II	0,25	20	48
9	8	3,3	A-III	0,3	22	51
10	9	3,4	A-I	0,4	24	43
11	10	3,5	A-II	0,25	16	48
12	11	3,6	A-III	0,4	18	51
13	12	3,7	A-I	0,25	20	43
14	13	3,8	A-II	0,3	22	48
15	7	3,9	A-III	0,4	24	51
16	8	4,0	A-I	0,25	16	43
17	12	4,4	A-II	0,4	18	48
18	9	4,1	A-III	0,25	20	51
19	10	4,2	A-I	0,3	22	43
20	11	4,3	A-II	0,4	24	48

## Список вопросов для самоконтроля

1. Что такое анкер? Назовите основные параметры анкерной крепи.
2. Какие виды анкеров в настоящее время применяют на горном производстве? Опишите их конструкцию и принцип действия.
3. Что из себя представляет конструкция клинщелевого анкера и железобетонного анкера?
4. Достоинства и недостатки анкерной крепи. Область применения.
5. Для каких целей используют вяжущие вещества при креплении горных выработок анкерной крепью?
6. Назовите способы закрепления анкера в шпуре, дайте их краткую характеристику.
7. Расскажите о технологии возведения анкерной крепи.
8. От каких параметров зависит длина анкера и шаг расстановки.
9. Для каких целей составляется паспорт крепления? Что в него входит?
10. Какие схемы крепления выработки анкерами (схемы работы крепи) вы знаете?
11. Способы закрепления кровли выработки анкерной крепью.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 РАСЧЁТ ДЕРЕВЯННОЙ КРЕПИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ ФОРМЫ

**Цель работы:** получить практические навыки по расчёту и построению деревянной крепи выработок.

### **Краткие теоретические сведения**

Для изготовления горной крепи применяют обычно те же материалы, что и для строительства сооружений на земной поверхности. Вместе с тем специфические условия горных выработок (различный характер проявления горного давления, воздействие подземных вод, влияние шахтной атмосферы и др.) предъявляют к материалам повышенные требования [10].

Деревянные материалы в шахтах применяется в виде круглого леса (брёвна и стойки) и пиленого (пластины, брус, доски, обаполы). Для крепления горных выработок преимущественно используются хвойные породы дерева (сосна, ель, кедр, пихта).

*Брёвна* – отрезки ствола дерева длиной 2-9 м и диаметром более 12 см; *стойки* – длиной 0,5-5 м и диаметром 7-34 см.

*Пластины (распилы)* – две части бревна (стойки), полученные при распиливании по продольной оси.

*Брус* – брёвна, опиленные с четырёх сторон прямоугольного или квадратного поперечного сечения.

*Доски* – получают при распиливании брусьев или брёвен (различают обрезные и необрезные доски).

*Обаполы (горбыли)* – крайние части бревна, распиленного на брусья или доски.

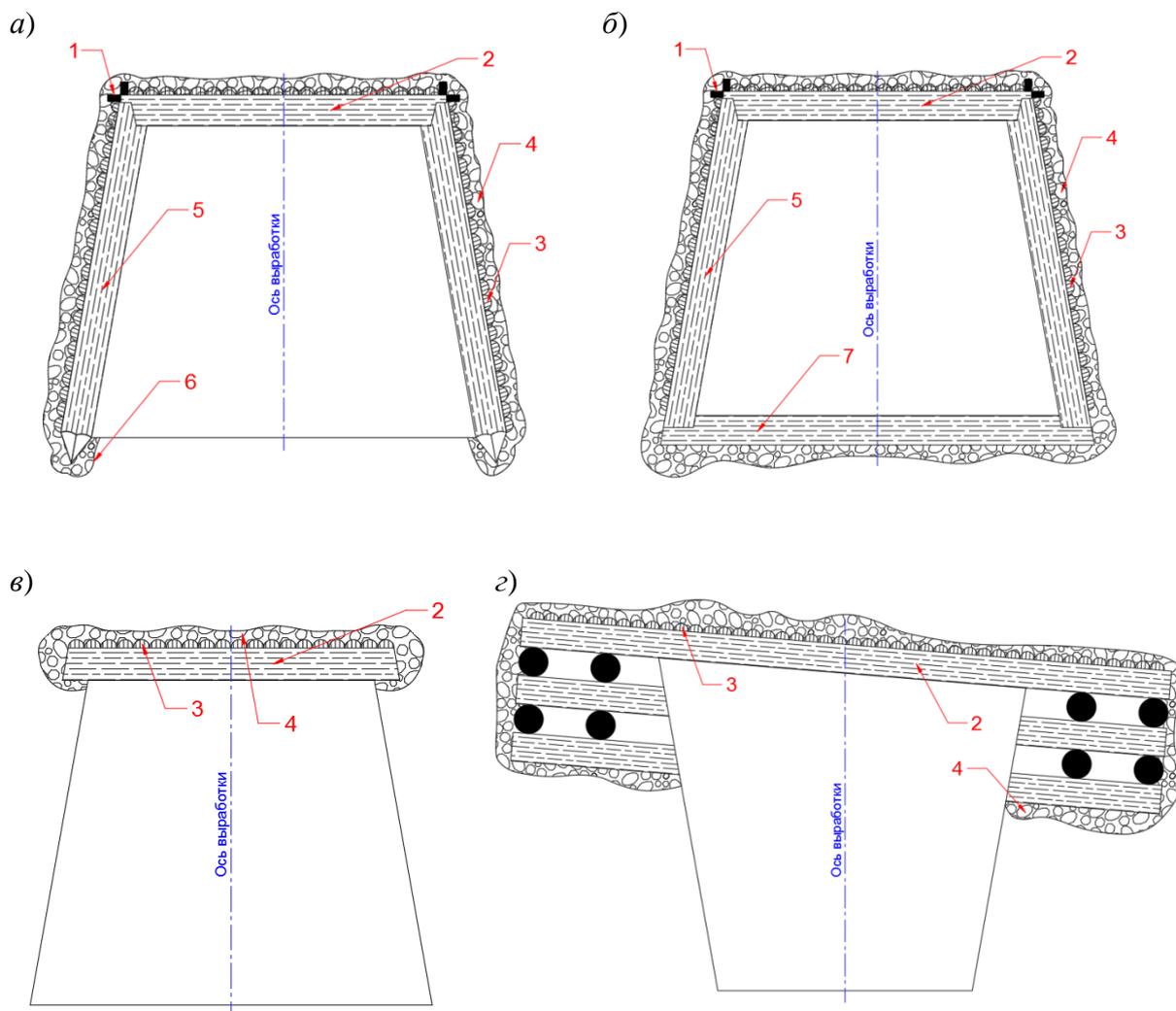
Срок службы лесных материалов до 3-х лет. Для увеличения срока службы в 1,5-2 раза применяется пропитка леса антисептиками (водными растворами фтористого натрия).

Брёвна и стойки применяются в качестве элементов рамной или органной крепи (стоек и верхняков), а пиленые материалы используются для перетяжки кровли и боков выработок.

Доля деревянной крепи для крепления подготовительных выработок на угольных шахтах и рудниках ежегодно сокращается. Её заменяют более прогрессивными видами крепи: анкерной, металлической, набрызгбетонной и др. Однако при креплении подготовительных выработок на предприятиях цветной металлургии доля деревянной крепи ещё велика. Деревянная крепь находит также широкое применение при креплении выработок, пройденных в талых и «вялых» россыпях, и имеет ограниченное применение для крепления выработок, пройденных в мерзлых россыпях.

Горно-разведочные выработки, как правило, крепят деревом. Основным видом крепи в горизонтальных выработках является неполная крепёжная рама (рис. 5.1, а). В слабых пучащих породах применяют

полную крепёжную раму (рис. 5.1, б). Крепёжные рамы обычно бывают трапецевидной, реже прямоугольной формы. В устойчивых породах в стенках выработки применяют потолочную крепь в виде верхняков (рис. 5.1, в), укладываемых в лунки в стенках выработки или на деревянные костры (рис. 5.1, г) [3].

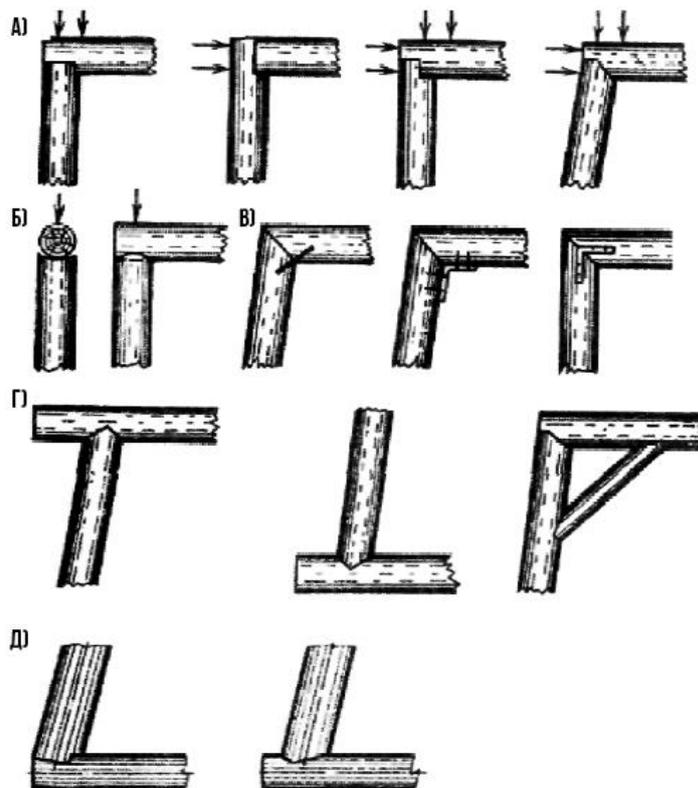


а – неполная крепёжная рама; б – полная крепёжная рама; в – потолочная крепь;  
 г – деревянные костры; 1 – клин; 2 – верхняк; 3 – затяжка; 4 – забутовка;  
 5 – стойка; 6 – лунки для стоек; 7 – лежень

Рис. 5.1 – Деревянная крепь

Элементы рам изготавливают из круглого леса диаметром 14...24 см (иногда до 30 см). Крепёжные рамы устанавливают вплотную одна к другой (сплошная крепь) или на расстоянии в осях 0,5...1,5 м (крепь вразбежку). В последнем случае по правилам безопасности кровля выработки должна быть затянута обоим (горбылём) или досками, стенки – по необходимости. Стойки с верхняками соединяют в лапу, в шип, в паз. При вертикальном горном давлении соединяют в лапу с прямым (прямая лапа) или скошенным (косая лапа) вырезом (рис. 5.2, а). При преобладающем боковом давлении применяют соединение в лапу несколько иной конструкции (рис. 5.2, а). Соединение в паз (рис. 5.2, б)

применяется при наличии незначительного давления горных пород со стороны кровли, соединение в зуб – при наличии давления со стороны кровли и почвы (рис. 5.2, з). Однако соединения встык, в шип и в паз обладают сравнительно невысокой устойчивостью и применяются весьма редко. Лежни соединяют в лапу или в зуб (рис. 5.2, д) [3].



а – соединение элементов рам в лапу; б – в паз; в) встык; з – в зуб;  
 д – соединение стоек с лежнем

Рис. 5.2 – Схемы соединений деревянной крепи

При наличии давления со стороны кровли и отсутствии давления со стороны боков определяют только прочностные размеры верхняка и затяжки, поскольку стойки являются малонагруженными элементами и поэтому не рассчитываются. Диаметр стойки по конструктивным соображениям принимают равным диаметру верхняка.

### **Расчёт верхняка**

Верхняк уподобляется балке, лежащей на двух опорах. Диаметр верхняка определяется из выражения:

$$d = 1,61 \cdot a \cdot \sqrt[3]{\frac{10 \cdot m \cdot \gamma \cdot L}{n_y \cdot \text{tg} \varphi \cdot R_{из}}}, \text{ м}, \quad (5.1)$$

где  $a$  – полупролёт выработки по кровле вчерне, определяется из следующего выражения:

$$a = \frac{B_{кр}}{2} + 0,22, \text{ м}, \quad (5.2)$$

где  $B_{кр}$  – ширина выработки по кровле, м (практическая работа №1);  $m$  – коэффициент перегрузки, равный 1,2;  $\gamma$  – плотность пород, т/м<sup>3</sup>;  $L$  – расстояние между смежными крепёжными рамами, м;  $R_{из}$  – расчётное сопротивление древесины изгибу, кПа;  $n_y$  – коэффициент условий работы деревянной крепи, (табл. 5.1);  $tg\varphi$  – коэффициент внутреннего трения пород (табл. 5.2).

Паспортами крепления рекомендуется принимать диаметр верхняка не менее 16 см и не более 24 см.

Таблица 5.1

Величина коэффициента условий работы крепи

Величина ( $n_y$ )	Условия работы крепи
0,75	Для конструкций, длительно работающих в условиях повышенной влажности
0,85	При кратковременном увлажнении
0,9	В сухих выработках на свежей струе

### **Расчёт межрамных ограждений**

Межрамные ограждения (затяжки), бортов и кровли выработок могут сооружаться из досок, обапола, распилов, а также из гибких материалов, металлических сеток, решеток, стеклоткани.

При расчёте межрамных ограждений нормативные и расчётные нагрузки на них от горного давления принимаются такими же, как и при расчёте крепёжной рамы. Для расчёта выбирается та затяжка, которая наиболее нагружена, т.е. лежащая на участке периметра рамы, где интенсивность давления максимальная. Обычно это характерно для кровли выработки.

Затяжка рассчитывается как балка, свободно лежащая на двух опорах – соседних рамах, её пролёт принимается равным ( $L$ ) – шагу рамы.

Толщина затяжек из досок ( $\Delta$ ):

$$\Delta = 0,87 \cdot L \cdot \sqrt[3]{\frac{m \cdot q}{n_y \cdot R_{из}}}, \text{ м}, \quad (5.3)$$

где  $q$  – максимальная интенсивность нагрузки, кН/м<sup>2</sup>:

$$q = \frac{a}{f} \cdot 10\gamma, \text{ кН/м}^2, \quad (5.4)$$

где  $f$  – коэффициент крепости пород, м (принять равным 8);  $\gamma$  – плотность пород, т/м<sup>3</sup>.

Толщина затяжек из обапола ( $\Delta_{об}$ ):

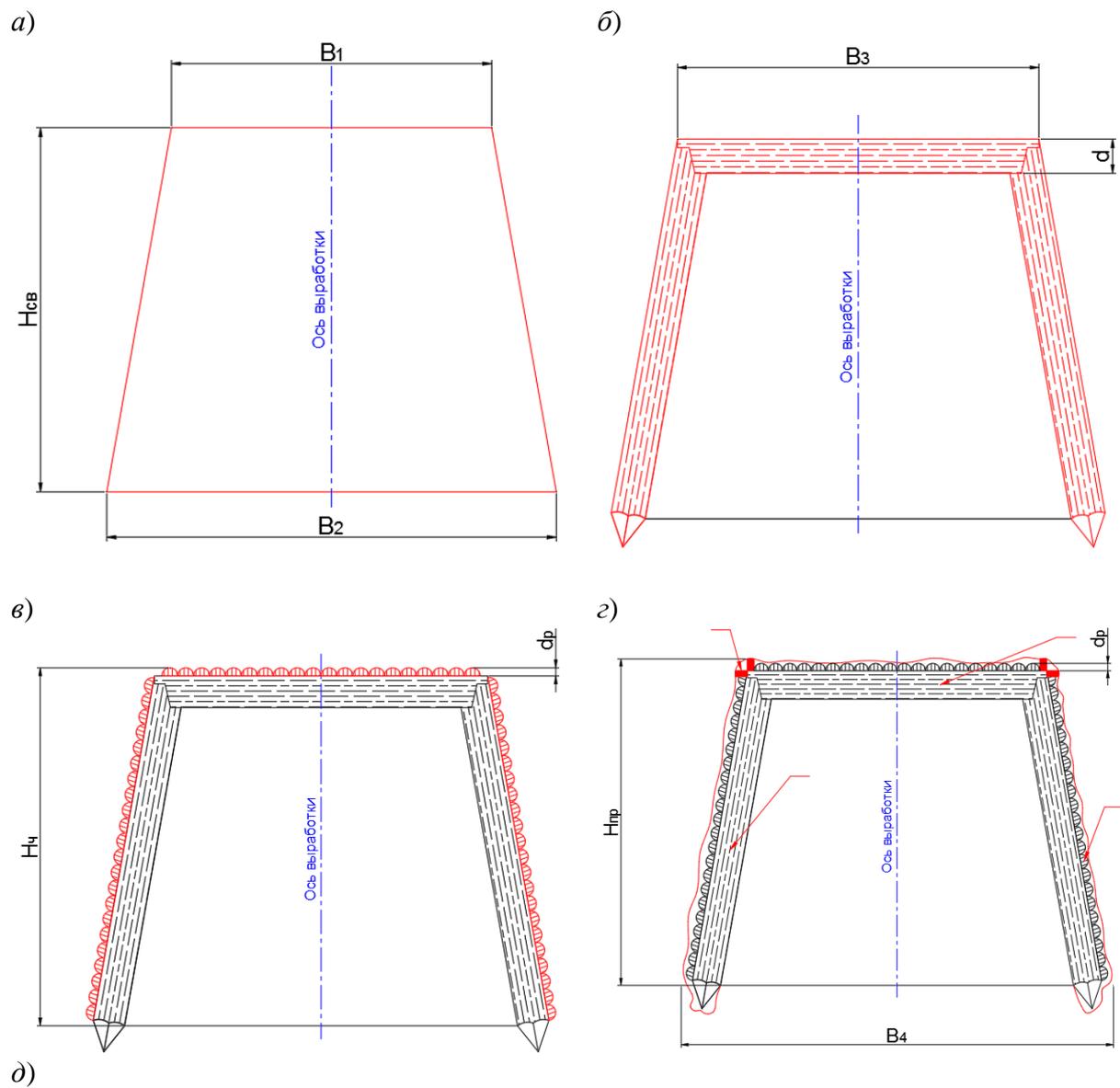
$$\Delta_{об} = 1,5 \cdot \Delta, \text{ м}, \quad (5.5)$$

Толщина затяжек из распилов ( $d_p$ , м):

$$d_p = 2,3 \cdot L \cdot \sqrt{\frac{m \cdot q}{n_y \cdot R_{из}}}, \text{ м}, \quad (5.6)$$

Если  $d_p < 0,06$ , то принимаем  $d_p = 0,06$ .

На рисунке 5.3 представлена последовательность построения деревянной крепи для трапециевидной формы выработки.



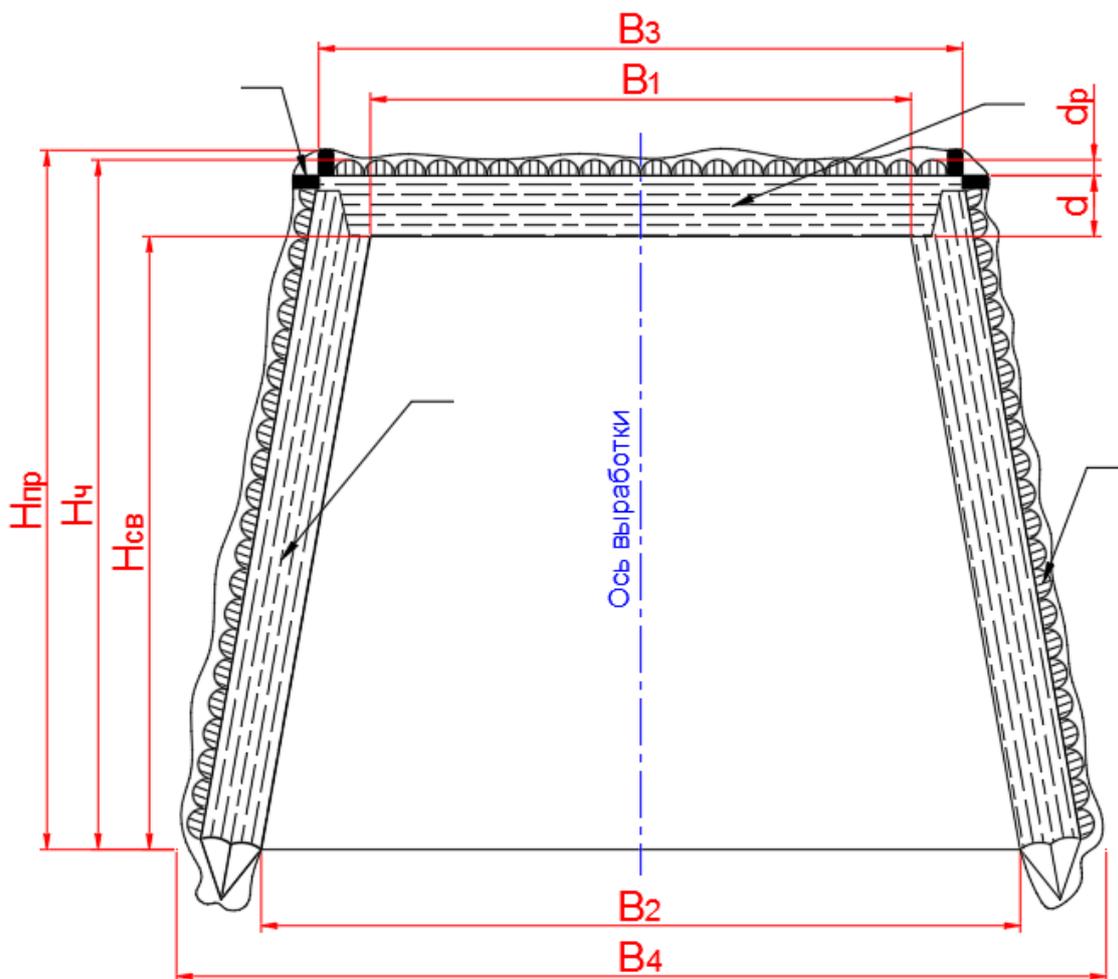


Рис. 5.3 – Порядок построения деревянной крепи в выработке трапециевидной формы

### Порядок выполнения работы

1. Деревянная крепь рассчитывается для выработки трапециевидной формы. Исходными данными являются конструктивные размеры выработки (практическая работа № 1) и таблица 5.2.

2. Рассчитываются формулы 5.1-5.6.

3. Произвести построение деревянной крепи (согласно рис. 5.3) в масштабе 1:20 (на миллиметровой бумаге или с помощью программы AutoCAD) в следующем порядке:

- вычертить сечение однопутной выработки трапециевидной формы (практическая работа 1) без размеров и оборудования;

- достроить верхняк и стойки, диаметром  $d$  (формула 5.1);

- затяжки принять из распилов (формула 5.6);

- заострённые концы стоек заглубить в почву на 200 мм.

4. На чертеже выставить все обозначения: высоту выработки в проходке, вчерне, в свету ( $h_{пр}$ ,  $h_{ч}$ ,  $h_{св}$ ), ширину выработки по кровле и по почве ( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ ).

5. Указать конструктивные элементы деревянной крепи (верхняк, стойка, клинья, затяжки).

6. Оформляется отчёт о практической работе

Таблица 5.2

## Варианты для выполнения практической работы

№	Порода древесины	Расчётное сопротивление древесины изгибу ( $R_{из}$ ), кПа	Условия работы крепи	Плотность пород, т/м <sup>3</sup>	Коэффициент внутреннего трения пород $\text{tg}\varphi$	Расстояние между смежными рамами $L$ , м
1	Сосна	16000	Повышенная влажность	2,5	0,93	1,0
2	Пихта	13400	Сухие выработки	2,7	1,3	0,5
3	Лиственница	19500	Повышенная влажность	2,2	1,5	1,0
4	Сосна	16000	Кратковременное увлажнение	2,9	0,9	0,75
5	Ель	15000	Сухие выработки	3,0	0,82	0,5
6	Пихта	13400	Повышенная влажность	3,1	1,8	1,0
7	Лиственница	19500	Кратковременное увлажнение	2,4	0,9	0,5
8	Сосна	16000	Сухие выработки	3,3	0,92	0,5
9	Ель	15000	Повышенная влажность	2,2	0,84	1,0
10	Сосна	16000	Кратковременное увлажнение	2,9	0,9	0,5
11	Пихта	13400	Сухие выработки	3,0	0,82	0,5
12	Лиственница	19500	Повышенная влажность	3,1	1,8	1,0
13	Сосна	16000	Кратковременное увлажнение	2,4	0,9	0,5
14	Ель	15000	Сухие выработки	3,3	0,92	0,5
15	Пихта	13400	Повышенная влажность	2,9	0,9	1,0
16	Сосна	16000	Повышенная влажность	2,5	0,93	1,0
17	Пихта	13400	Сухие выработки	2,7	1,3	0,5
18	Лиственница	19500	Повышенная влажность	2,2	1,5	1,0
19	Сосна	16000	Кратковременное увлажнение	2,9	0,9	0,75
20	Ель	15000	Сухие выработки	3,0	0,82	0,5

## Список вопросов для самоконтроля

1. Область применения деревянной крепи.
2. Какие породы дерева используют при креплении выработок?  
Что такое комель и обапол (горбыль)?
3. Достоинства и недостатки деревянной крепи. Срок службы.  
Назовите сортамент пиленного материала.
4. Конструктивные элементы деревянной крепи. Что такое рудничная стойка?
5. В каких случаях производят крепление горных выработок в разбежку и в каких сплошную?
6. Понятия полные и неполные деревянные крепёжные рамы.  
В каких горных породах они применяются.
7. Расскажите, что такое замок и какие его виды бывают.
8. Назовите конструктивные элементы усиленной крепёжной рамы.
9. Что такое забутовка, и для каких целей она используется?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6 РАСЧЁТ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК

**Цель работы:** получение практических навыков по расчёту параметров вентиляции и выбору марки вентилятора при нагнетательной схеме проветривания проходческих забоев горизонтальных выработок с учётом требований правил безопасности.

### Краткие теоретические сведения

При проектировании вентиляции тупиковых выработок требуется выбрать способ и схему проветривания, рассчитать количество воздуха, необходимое для подачи в забой  $Q_3$ , выбрать вентиляционный трубопровод и рассчитать его аэродинамическое сопротивление и утечки, выбрать вентилятор (рассчитать их количество и места установки, если требуется не один вентилятор), определить производительность  $Q_v$  и напор  $h_v$ , выбранного вентилятора (вентиляторов).

Количество воздуха, необходимое для подачи в забой определяют по нескольким факторам: газовыделению в выработку из пород, количеству одновременно взрываемого ВВ, условию выноса пыли, условию разжижения вредных компонентов выхлопа двигателей внутреннего сгорания (ДВС), при температуре в забое более 24°C – по тепловому фактору.

Количество воздуха  $Q_3$  по выделению горючих газов (метана и водорода) либо углекислого газа  $CO_2$ , вычисляют по формуле:

$$Q_3^r = 100 \cdot \frac{i}{C - C_0}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.1)$$

где  $i$  – газовыделение в выработке (выделение  $CO_2$ ),  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $C$  – допустимая по [12] суммарная концентрация горючих газов ( $CO_2$ ) в исходящей из выработки струе, % (для метана и водорода, а также углекислого газа на рабочих местах  $C = 0,5$  % по объёму);  $C_0$  – содержание соответствующего газа в свежей струе, поступающей в выработку, %.

При расчётах  $Q_3^r$  по  $CO_2$  значение  $C_0$  принимать равным его концентрации на поверхности шахты (0,02-0,045 %). При расчётах  $Q_3^r$  по горючим газам значение  $C_0$  принимать равным 0.

Количество воздуха по выносу пыли:

$$Q_3^p = 60 \cdot V_{\min}^p \cdot S, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.2)$$

где  $V_{\min}^p$  – минимальная скорость воздуха по качественному выносу пыли,  $\text{м}/\text{с}$  (0,4 – 0,6);  $S$  – сечение выработки в свету,  $\text{м}^2$ .

Количество воздуха по разжижению выхлопов ДВС:

$$Q_3^w = q \cdot \sum_{i=1}^n W_i, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.3)$$

где  $q$  – норма подачи воздуха на 1 кВт мощности ДВС (6,8  $\text{м}^3/\text{кВт} \cdot \text{мин}$ );  $\sum W_i$  – суммарная мощность всех двигателей, одновременно работающих в забое машин, кВт.

Количество воздуха по наибольшему числу людей в забое:

$$Q_3^n = 6 \cdot n, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.4)$$

где 6 – норма подачи воздуха на одного человека, м<sup>3</sup>/мин;  
n – максимальное число людей в забое, чел.

Количество воздуха по тепловому фактору:

$$Q_3^t = 20 \cdot V_{\min} \cdot S, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.5)$$

где  $V_{\min}$  – минимальная скорость движения воздуха, м/с; S – сечение выработки в свету, м<sup>2</sup>.

Количество воздуха, необходимое для разжижения вредных газов от взрывных работ при нагнетательном способе проветривания:

$$Q_3^{\text{ВВ}} = \frac{2,25}{t} \cdot \sqrt[3]{\frac{A \cdot b \cdot L^2 \cdot S^2 \cdot \phi}{K_{\text{ут}}^2}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.6)$$

где t – время проветривания забоя после взрыва, мин (согласно [5]  $t \leq 30$  мин); A – масса одновременно взрываемого ВВ, кг; b – газовость ВВ (при взрывании по породе – 40 л/кг, по углю – 100 л/кг); L – длина тупиковой выработки, м; S – площадь сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>; φ – коэффициент обводнённости (в стволах глубиной до 200 м с притоком до 1 м<sup>3</sup>/ч и в сухих выработках φ = 0,8; в стволах с притоком до 6 м<sup>3</sup>/ч и во влажных выработках φ = 0,6; в стволах с притоком 6 - 15 и обводнённых выработках φ = 0,3);  $K_{\text{ут}}$  – коэффициент утечек воздуха.

При известном расходе воздуха в конце гибкого трубопровода  $Q_{\text{кт}}$  ( $Q_3$ ), составленного из звеньев длиной 20 м, для труб  $M_y$  коэффициент утечек  $K_{\text{ут}}$  определяется по табл. 6.1.

### Выбор вентилятора

Для надёжного проветривания забоя тупиковой выработки необходимо выбрать (по рабочим характеристикам ВМП) вентилятор с такой производительностью  $Q_v$  и с таким напором  $h_v$ , которые с учётом утечек в трубопроводе и его сопротивления обеспечат подачу в забой требуемого количества воздуха  $Q_3^{\text{max}}$ .

Таблица 6.1

$K_{\text{ут}}$  для труб  $M_y$  в зависимости от  $L_T$ ,  $d_T$  и  $Q_{\text{кт}}$

$L_T$ , м	Диаметр труб $d_T$ , м					
	0,6		0,8		1,0	
	$Q_{\text{кт}}$ , м <sup>3</sup> /с	$K_{\text{ут}}$	$Q_{\text{кт}}$ , м <sup>3</sup> /с	$K_{\text{ут}}$	$Q_{\text{кт}}$ , м <sup>3</sup> /с	$K_{\text{ут}}$
200	0,5 – 8,0	1,02 – 1,05	0,5 – 10,0	1,04 – 1,08	0,5 – 10,0	1,04
400	0,5 – 5,5	1,21 – 1,53	0,5 – 10,0	1,13 – 1,29	0,5 – 10,0	1,10 – 1,15
600	0,5 – 4,0	1,43 – 2,03	0,5 – 10,0	1,24 – 1,66	0,5 – 10,0	1,16 – 1,31
800	0,5 – 3,0	1,72 – 2,65	0,5 – 8,5	1,39 – 2,13	0,5 – 10,0	1,26 – 1,56
1000	0,5 – 2,5	2,10 – 3,57	0,5 – 6,5	1,57 – 2,57	0,5 – 10,0	1,38 – 1,91
1200	0,5 – 2,0	2,60 – 4,54	0,5 – 4,5	1,79 – 2,85	0,5 – 9,5	1,51 – 2,35
1400	0,5 – 1,5	3,23 – 5,32	0,5 – 4,5	2,04 – 3,82	0,5 – 7,0	1,67 – 2,55
1600	0,5 – 1,0	4,06 – 5,37	0,5 – 4,0	2,35 – 4,75	0,5 – 6,0	1,84 – 2,93
2000	0,5	6,47	0,5 – 2,0	3,13 – 4,90	0,5 – 4,5	2,27 – 3,80

Дебит (производительность) вентилятора, работающего на жёсткий или гибкий трубопровод, должен быть:

$$Q_3 = Q_3^{\max} \cdot K_{yt}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6.7)$$

Депрессия трубопровода (напор вентилятора  $H_B$ ) состоит из статического давления  $H_C$ , местных потерь напора  $H_M$  и динамического давления  $H_D$ :

$$H_B = H_C + H_M + H_D, \quad (6.8)$$

$$H_C = K_{yt} \cdot R \cdot 2Q_3, \quad (6.9)$$

$$H_M = 0,2 \times H_C, \quad (6.10)$$

$$H_D = \frac{v_T^2 \cdot \gamma}{2}, \quad (6.11)$$

где  $R$  – аэродинамическое сопротивление трубопровода;  $\gamma$  – плотность воздуха, равная  $1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $v_T$  – скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с.

Аэродинамическое сопротивление трубопровода – это сопротивление, которое преодолевает воздух при его движении по трубопроводу. В основном его величина определяется силой трения воздуха о внутреннюю поверхность трубопровода:

$$R = \frac{6,5 \cdot \alpha \cdot L}{d_T^5}, \quad (6.12)$$

где  $\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода (для всех диаметров прорезиненного трубопровода коэффициент аэродинамического сопротивления (без учёта утечек воздуха по длине) может быть принят  $\alpha = 45 \cdot 10^{-5}$ ).

В соответствии с рассчитанными значениями дебита и напора по табл. 6.2 выбирают вентилятор с требуемыми характеристиками.

Таблица 6.2

Характеристика вентиляторов местного проветривания

Вентилятор	Диаметр рабочего колеса, мм	Подача, м <sup>3</sup> /мин		Давление, Па		Мощность двигателя, кВт
Осевые с электроприводом						
ВМ-3М	300	42	100	400	1000	2,2
ВМ-4М	400	50	155	700	1450	4,0
ВМ-5М	500	95	270	600	2120	11,0
ВМ-6М	600	140	480	750	3400	24,0
Осевые с пневмоприводом						
ВМП-3М	300	30	100	400	1200	2,0
ВМП-4	400	45	100	400	2200	5,0
ВМП-5М	500	70	270	800	2200	9,0
ВМП-6М	600	120	480	600	2900	24,0

Центробежные						
ВЦД-8	800	300	1320	2500	9200	125,0
ВЦО-0,6	600	50	462	2600	6000	50,0
ВЦ-7	750	84	660	1000	10800	75,0
ВЦП-16	1600	560	2790	2000	9400	60,0-200,0

**Пример 6.1.** Выбрать вентилятор для нагнетательной схемы (предварительно рассчитав требуемую подачу и напор) с целью проветривания тупиковой выработки после взрывных работ. Длина выработки  $L = 400$  м; площадь поперечного сечения в свету  $S = 8$  м<sup>2</sup>; ВВ – гранулит АС-8; количество одновременно взрываемого ВВ  $A = 47$  кг. Выработка сухая ( $\varphi = 0,8$ ).

### Решение

1. При нагнетательном способе проветривания применяем прорезиненные трубы типа  $M_y$  диаметром  $d_T = 600$  мм; время проветривания  $t = 30$  мин; газовость ВВ  $b = 40$  л/кг.

2. Рассчитываем количество воздуха для подачи в забой по разжижению газов после взрывных работ по формуле (5.6), принимая по таблице 6.1  $K_{yT} = 1,36$

$$Q_3^{BB} = \frac{2,25S}{60t} \cdot \sqrt[3]{\frac{A \cdot b \cdot L^2 \cdot \varphi}{S K_{yT}^2}} = \frac{2,25 \cdot 8}{60 \cdot 30} \sqrt[3]{\frac{47 \cdot 40 \cdot 400^2 \cdot 0,8}{8 \cdot 1,36^2}} = 2,74 \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Определяем количество воздуха для подачи в забой по выносу пыли

$$Q_3^p = 60V_{min}^n \cdot S = 60 \cdot 0,5 \cdot 8 = 240 \text{ м}^3/\text{мин} = 4 \text{ м}^3/\text{с},$$

4. Определяем дебит (производительность) вентилятора по формуле (6.7):

$$Q_B = Q_3^{max} \cdot K_{yT} = 4 \cdot 1,21 = 4,84 \text{ м}^3/\text{с}$$

5. Определяем аэродинамическое сопротивление трубопровода по формуле (6.12):

$$R = 65 \cdot 0,00045 \cdot 400 / 0,6^5 = 150,46 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{М}^4$$

6. Рассчитываем депрессию трубопровода (напор вентилятора) по формулам (6.8) предварительно определив скорость движения воздуха по трубопроводу  $v_i = Q_3 / \pi r_T^2 = 2,53 / 3,14 \cdot 0,3^2 = 8,95$  м/с:

$$H_c = K_{yT} R Q_3^2 = 1,36 \cdot 150,46 \cdot 2,53^2 = 1310 \text{ Па};$$

$$H_M = 0,2 H_c = 0,2 \cdot 1310 = 262 \text{ Па};$$

$$H_d = v_i^2 \gamma / 2 = 8,95^2 \cdot 1,2 / 2 = 48 \text{ Па};$$

$$H_B = H_c + H_M + H_d = 1310 + 262 + 48 = 1620 \text{ Па}.$$

7. Подбираем вентилятор исходя из значений:  $Q_B = 2,53$  м<sup>3</sup>/с = 151,8 м<sup>3</sup>/мин и  $H_B = 1620$  Па. Согласно таблицы 6.2 принимаем вентилятор ВМП5М.

8. Вырисовываем схему проветривания с обязательным указанием расстояний, регламентированных [2]: максимально допустимого отставания конца трубопровода от забоя, минимальной установки вентилятора до выхода исходящей струи загрязненного воздуха (рис. 6.1).

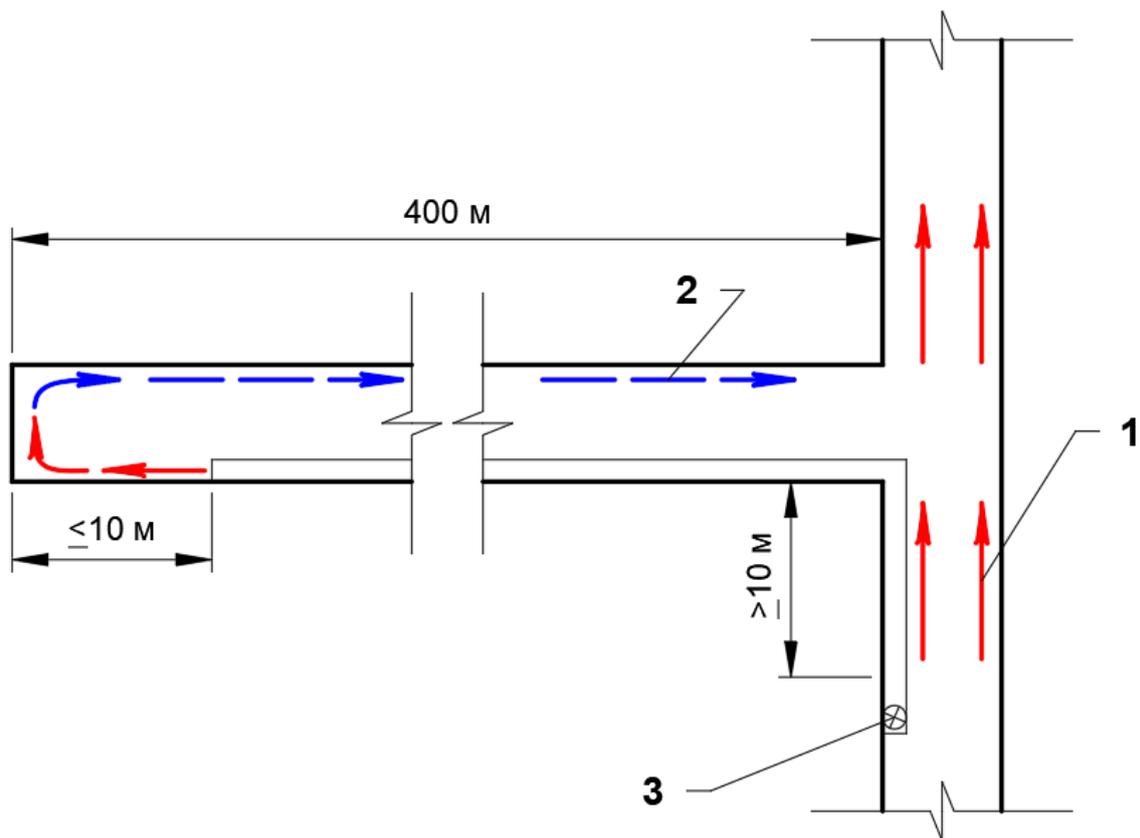


Рис. 6.1 – Нагнетательная схема проветривания горизонтальных и наклонных тупиковых выработок: 1 – свежая струя и свежий воздух; 2 – исходящая струя и испорченный воздух; 3 – нагнетательный вентилятор

**Пример 6.2.** Выбрать способ и рассчитать проветривание тупиковой выработки, где уборка породы производится погрузочной машиной 2ПНБ-2 и автосамосвалом МоАЗ-6401–9585. Площадь поперечного сечения выработки в проходке  $17,05 \text{ м}^2$ . Длина выработки  $300 \text{ м}$ . Одновременно взрывается  $62 \text{ кг ВВ}$ . Проветривание после взрыва должно закончиться через  $30 \text{ мин}$ .

**Решение**

1. При нагнетательном способе проветривания применяем прорезиненные трубы типа  $M_y$  диаметром  $d_T = 800 \text{ мм}$ ; время проветривания  $t = 30 \text{ мин}$ ; газовость ВВ  $b = 40 \text{ л/кг}$ .

2. Рассчитываем количество воздуха для подачи в забой по разжижению газов после взрывных работ по формуле (6.6), принимая по таблице 6.1  $K_{yt} = 1,1$

$$Q_3^{ВВ} = \frac{2,25S}{60t} \cdot \sqrt[3]{\frac{A \cdot b \cdot L^2 \cdot \varphi}{S K_{yt}^2}} = \frac{2,25 \cdot 17,05}{60 \cdot 30} \cdot \sqrt[3]{\frac{62 \cdot 40 \cdot 300^2 \cdot 0,6}{17,05 \cdot 1,1^2}} = 4,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Количество воздуха для подачи в забой по выносу пыли по формуле (6.2):

$$Q_3^п = 60 V_{min}^п S = 60 \cdot 0,5 \cdot 17,05 = 511,5 \text{ м}^3/\text{мин},$$

количество воздуха для подачи в забой по разжижению выхлопов ДВС по формуле (6.3), принимая  $q = 6,8 \text{ м}^3/\text{кВт} \cdot \text{мин}$ :

$$Q_3^w = q \cdot \sum_{i=1}^n w_i = 6,8 \cdot 140 = 952 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

В соответствии с выбранным способом проветривания к дальнейшим расчётам принимаем максимальное из полученных значений  $Q_3$ , т.е.  $Q_3^w = 15,9 \text{ м}^3/\text{с}$ .

4. Определяем дебит (производительность) вентиляторов по формуле (6.7)

$$Q_v = Q_3^{\max} \cdot K_{yT} = 15,9 \cdot 1,1 = 17,49 \text{ м}^3/\text{с}.$$

5. Определяем аэродинамическое сопротивление трубопровода по формуле (5.41) [11]:

$$R = r_{\text{тр}} \cdot (L_{\text{тр}} + 20 \cdot d_{\text{т}} \cdot n_1 + 10 \cdot d_{\text{т}} \cdot n_2),$$

где  $r_{\text{тр}}$  – удельное аэродинамическое сопротивление гибкого трубопровода без утечек, кМ/м (при длине звена 20 м и  $d_{\text{т}} = 0,8\text{м}$ ,  $r_{\text{тр}} = 0,0161$ );  $n_1$  и  $n_2$  – число поворотов трубопровода на  $90^\circ$  и  $45^\circ$  соответственно:

$$R = 0,0161 \cdot (300 + 20 \cdot 0,8 \cdot 1 + 10 \cdot 0,8 \cdot 0) = 5,1 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$$

6. Рассчитываем депрессию трубопровода (напор вентилятора) по формулам (6.8) предварительно определив скорость движения воздуха по трубопроводу  $v_t = Q_3 / \pi r_{\text{т}}^2 = 17,49 / 3,14 \cdot 0,4^2 = 35 \text{ м/с}$

$$H_c = K_{yT} R Q_3^2 = 1,1 \cdot 5,1 \cdot 15,9^2 = 1418,3 \text{ Па}$$

$$H_m = 0,2 H_c = 0,2 \cdot 1418,3 = 283,6 \text{ Па}$$

$$H_d = v_t^2 \gamma / 2 = 35^2 \cdot 1,2 / 2 = 735 \text{ Па}$$

$$H_v = H_c + H_m + H_d = 1418,3 + 283,6 + 735 = 2436,9 \text{ Па}$$

7. Подбираем вентилятор исходя из значений:  $Q_v = 17,49 \text{ м}^3/\text{с} = 1049,4 \text{ м}^3/\text{мин}$  и  $H_v = 2436,9 \text{ Па}$ . Согласно табл. 6.2 принимаем центробежный вентилятор ВЦПД8.

### Порядок выполнения работы

1. Необходимо произвести расчёт проветривания тупиковой выработки и выбрать вентилятор.

2. Исходные данные для выполнения работы приведены в табл. 6.3.

3. Конструктивные размеры выработки сводчатой формы принять согласно выполненной практической работы №1.

4. Количество и наименование одновременно взрываемого ВВ принять согласно выполненной практической работы №3.

5. Вычертить нагнетательную схему проветривания тупиковой выработки.

6. Оформить отчёт о практической работе.

Таблица 6.3

## Исходные данные для расчёта количества воздуха

№ вар	Длина выработки, L, м	Кол-во одновременно взрываемого ВВ, А, кг	Обводнённость выработки	Дополнительные условия
1	150	38,2	сухая	-
2	175	42,6	влажная	-
3	200	47	сухая	-
4	225	51,4	влажная	-
5	250	55,8	сухая	-
6	275	60,2	влажная	-
7	300	64,6	сухая	-
8	325	69	влажная	-
9	350	73,4	сухая	-
10	375	77,8	влажная	-
11	400	79,2	сухая	Погрузка в выработке ППН-1с
12	380	66,3	влажная	комплекс оборудования в забое ППН-2э, ВПК-7
13	360	61,5	сухая	комплекс оборудования в забое 2ПНБ-2Б, 5ВС-15
14	340	62,8	влажная	погрузка ПД-4
15	320	58,9	сухая	количество забойных рабочих 6 чел.
16	300	70,5	влажная	выделение CO <sub>2</sub> 0,25 м <sup>3</sup> / мин,
17	280	74,1	сухая	комплекс оборудования в забое 2ПН2Б, МоА3 – 6401
18	260	69,4	влажная	газовыделение (СН <sub>4</sub> +Н <sub>2</sub> ) 0,15 м <sup>3</sup> / мин
19	240	53,6	сухая	комплекс оборудования в забое ЛН410, ТН430
20	220	80	влажная	СБУ DD321

Примечание: схема проветривания – нагнетательная.

### Список вопросов для самоконтроля

1. В чем сущность проветривания горных выработок?
2. Какое оборудование и средства проветривания применяют при вентиляции тупиковых горных выработок
3. Состав и физические свойства рудничного воздуха

4. Какие способы и схемы подачи воздуха в забой применяют при проветривании?

5. Перечислите какие проектные решения по вентиляции тупиковых выработок необходимо обосновать расчетами.

6. От чего зависит выбор способа проветривания выработки во время ее проходки.

7. Перечислите факторы, влияющие на выбор схемы проветривания проходческого забоя.

8. Перечислите факторы, влияющие на количество воздуха, необходимого для подачи в забой.

9. Перечислите основные характеристики вентиляторов местного проветривания.

10. Что такое аэродинамическое сопротивление трубопровода и как его определить?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахтное и подземное строительство: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп.: В 2 т. / Б. А. Картозия, Б. И. Федунец, М. Н. Шуплик и др. – М.: Издательство московского государственного горного университета, 2003. – 732 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». №505 (редакция, действующая с 1 января 2021 года).
3. Лукьянов, В. Г. Технология проведения горно-разведочных выработок: учебник / В. Г. Лукьянов, А. В. Панкратов, В. А. Шмурыгин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 550 с.
4. Шехурдин, В. К. Задачник по горным работам, проведению и креплению горных выработок / авт. Шехурдин В. К. – М.: Недра, 1985. – 240 с.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» (с изменениями на 30 ноября 2017 года), 2017 г.
6. Кирсанов, А. К. Обоснование параметров буровзрывных работ при строительстве подземных горизонтальных и наклонных горных выработок : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / Кирсанов Александр Константинович. – Красноярск, 2019. – 186 с.
7. СП 69.13330.2016. Свод правил. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП 3.02.03-84. Дата введения 21.04.2017 г.
8. Устройство инициирующее шпуровое ИСКРА-Ш [Электронный ресурс] / официальный сайт Новосибирского механического завода ИСКРА. Режим доступа: [http://nmz-iskra.ru/initiation/neelektricheskie\\_sistemy\\_initiirvaniya/iskra\\_sh/#characteristics](http://nmz-iskra.ru/initiation/neelektricheskie_sistemy_initiirvaniya/iskra_sh/#characteristics), свободный. – Загл. с экрана.
9. Детонирующий шнур экструзионный нормальной мощности ДШЭ-12 [Электронный ресурс] / официальный сайт Новосибирского механического завода ИСКРА. Режим доступа: [http://nmz-iskra.ru/initiation/detoniruyushchie\\_shnury/dshe\\_12/#characteristics](http://nmz-iskra.ru/initiation/detoniruyushchie_shnury/dshe_12/#characteristics), свободный. – Загл. с экрана.
10. Долгий, И. Е. Основы горного производства: Учеб. пособие / И. Е. Долгий, А. А. Силантьев. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2003. 96 с.
11. Дубинный, А. Ф. Строительство горных предприятий: учеб. пособие / авт. Дубинный А. Ф. – ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1997. – 136 с.
12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (редакция, действующая с 1 января 2014 года).

13. Шахтное и подземное строительство : [лабораторный практикум] : учебное пособие / Д. А. Урбаев ; Сибирский федеральный университет [СФУ]. – Красноярск : Сибирский федеральный университет [СФУ], 2010. – 63 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Практическая работа №1. Расчёт размеров и построение поперечного сечения горизонтальных и наклонных горных выработок.....	4
Практическая работа №2. Выбор типа крепи и расчёт горного давления..	19
Практическая работа №3. Расчёт и построение паспорта буровзрывных работ при проходке горизонтальных горных выработок.....	33
Практическая работа №4. Расчёт анкерной крепи для выработки прямоугольно-сводчатой формы.....	54
Практическая работа №5. Расчёт деревянной крепи для выработки трапециевидной формы.....	63
Практическая работа №6. Расчёт проветривания тупиковых выработок ...	71
Библиографический список.....	79