

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ХАРІН Сергій Анатолійович

УДК 622.25+622.831

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПРОЕКТУВАННЯ
БУДІВНИЦТВА ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ НА ВЕЛИКИХ
ГЛИБИНАХ**

Спеціальність 05.15.04 – «Шахтне і підземне будівництво»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівництва і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Роєнко Анатолій Миколайович,
професор кафедри будівництва і геомеханіки
Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України
(м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Садовенко Іван Олександрович,
завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології
Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України
(м. Дніпропетровськ)

доктор технічних наук, професор
Федоренко Павло Йосипович,
завідувач кафедри маркшейдерії Державного ВНЗ «Кри-
ворізький національний університет» Міністерства осві-
ти і науки, молоді та спорту України

доктор технічних наук, професор
Гайко Геннадій Іванович,
професор кафедри будівельних геотехнологій і гірничих
споруд Донбаського державного технічного універси-
тету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту
України (м. Алчевськ).

Захист відбудеться "14" червня 2012 р. о 12.00 годині на засіданні спеці-
алізованої вченої ради Д 08.080.04 у Державному ВНЗ «Національний гірничий
університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою:
49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного ВНЗ «На-
ціональний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та
спорту України.

Автореферат розісланий "11" травня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ХАРІН Сергій Анатолійович

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПРОЕКТУВАННЯ
БУДІВНИЦТВА ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ НА ВЕЛИКИХ
ГЛИБИНАХ

(Автореферат)

Підписано до друку 03.05.12 р. Формат 60х90х16
Умовн. друк. арк. 2,0. Обліково-видавн. арк. 2,0.
Тираж 120 прим. Зам. № 157.
Видавництво «Мінерал». 50002, м. Кривий Ріг,
вул. Пушкіна, 44.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Дефіцит різних видів ресурсів стає ключовим чинником, стримуючим розвиток світової економіки. Значною мірою це відноситься до залізорудної сировини, активним експортером якої традиційно є Україна.

Виснаження існуючих родовищ на порівняно доступних глибинах (наприклад, глибина деяких кар'єрів в Кривбасі перевищує 400 м) примушує шукати способи вирішення проблеми розвитку сировинної бази гірничої промисловості.

До таких способів в Криворізькому басейні, зокрема, можуть бути віднесені: видобуток магнетитових кварцитів в полях шахт, що діють, вдосконалення системи розробки корисної копалини на кар'єрах, де можливе використання комбінованого відкрито-підземного способу, збагачення окислених руд, які раніше не використовувалися.

Вказані напрями, проте, пов'язані з видобутком руд з вмістом заліза 23-27 %, подальшим їх збагаченням до товарних кондицій, що є вельми енерговитратним і коштовним. Екологічна шкода від таких технологій виробництва також украй значна і постійно посилюється.

Традиційним способом розробки корисних копалин в Криворізькому басейні є підземний. При цьому на шахтах добувають природно багату руду з вмістом заліза 57-59 %. У найближчі 10-15 років запаси руд, що відпрацьовуються на підземних підприємствах за допомогою одного рівня розтину, будуть, в основному, вичерпані.

У 80-і роки групою дослідників, яку, зокрема, склали академіки М.П. Семененко і Я.М. Белєвцев, проф. Г.В. Тохтуєв і ін. було проведене вивчення структури рудних полів і покладів багатих залізних руд на глибоких горизонтах розробки, згідно якому можна передбачати наявність в Криворізькому басейні, в полях шахт, що діють сьогодні, в діапазоні глибин 1500-2500 м сумарних прогнозних запасів багаті руди порядку 730 млн. т. Вказана цифра може бути зіставлена з величиною товарної руди, видобутої підземним способом в басейні за період, що охоплює практично всю історію його існування (1880-2006 рр.), яка оцінюється в 2100 млн. т.

Розтин родовища з глибини понад 1500 м доцільно проводити з використанням другого рівня. Не дивлячись на великий досвід проектування будівництва виробок на менш значних глибинах, для умов дуже глибоких шахт питання розробки схем будівництва, що відрізняються декількома напрямками прохідницьких робіт, тривалості, темпів проходки виробок, вплив різних чинників на організаційно-технологічні параметри будівництва досліджені недостатньо.

Все вищевикладене визначає необхідність вирішення актуальної науково-технічної проблеми – розвитку основ проектування будівництва залізорудних шахт на великих глибинах розробки при використанні другого рівня розтину родовища в умовах реконструкції підприємств, що діють.

З в'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Робота виконана відповідно до програми науково-дослідних робіт Державного ВНЗ

"Національний гірничий університет", яка пов'язана з госпдоговорними темами ХТ-050380 "Розробка способу забезпечення стійкості нарізних виробок, що розташовані у гетерогенному масиві, порушеному внаслідок технологічних дій з видобутку залізняка, для умов ЗАТ "Запорізький ЗРК" та ХТ-050384 "Оказание научно-технической помощи в экспериментальной проверке несущей способности комбинированных систем крепи в подготовительных выработках шахт ОАО «Павлоградуголь» с целью повторного их использования".

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є розвиток наукових основ проектування будівництва залізородних шахт на великих глибинах розробки при використанні другого рівня розтину родовища в умовах реконструкції шахт Кривбасу для забезпечення їх безперервного ефективного функціонування.

Для досягнення вказаної мети були поставлені і вирішені наступні теоретичні і прикладні задачі:

1. Системний аналіз впливу гірничо-геологічних умов і технологічних чинників проходки вертикальних і горизонтальних виробок на темпи і тривалість їх спорудження.

2. Для умов ступінчастого розтину родовища визначення необхідних витрат часу на виконання робіт з будівництва комплексу вертикальних, горизонтальних і камерних виробок в рамках проектів реконструкції шахт, що діють, з врахуванням інтенсивності видобутку корисної копалини.

3. Розробка методики і дослідження темпів проходки комплексу виробок різного призначення при використанні другого рівня розтину родовища в умовах фіксованого часу виконання робіт.

4. Дослідження зміни експлуатаційної продуктивності засобів буріння, прибирання породи і кріплення виробок для вертикальних стволів шахт і протяжних горизонтальних виробок як чинників, що забезпечують у взаємодії, певні темпи проведення виробок, які відповідають директивному часу реконструкції шахти.

5. Розробка методики і дослідження значущості різних типів виробок із запропонованих технологічних параметрів.

6. Розробка схем, що дозволяють реалізувати можливість ведення робіт з розтину горизонту другого рівня за допомогою безлічі точок прикладання і схем, доцільних для використання в умовах шахт з великою протяжністю рудного тіла за простиранням.

7. Встановлення організаційно-технічних параметрів, як основи для визначення залежностей, що характеризують будівництво горизонтів другого рівня розтину при різному числі напрямів робіт.

8. Розробка методики і математичної моделі, а також комп'ютерної програми, на основі яких отримані поєднання швидкостей проходки комплексу різних виробок горизонтів другого рівня розтину родовища, що забезпечують директивний час будівництва таких горизонтів.

9. Впровадження у проектування шахт і будівництво. Розрахунок економічна ефективності при реконструкції шахт Криворізького басейну.

Ідея роботи полягає у використанні закономірностей зміни тривалості, а також швидкостей ведення робіт і продуктивності прохідницького устаткування для проектування будівництва горизонтів глибоких шахт за допомогою другого рівня розтину родовища.

Об'єктом досліджень є проектування і будівництво глибоких горизонтів залізрудних шахт, що діють і знаходяться в процесі реконструкції.

Предметами досліджень є час і швидкості проходки вертикальних, камерних і протяжних горизонтальних виробок при використанні другого рівня розтину родовища і продуктивності засобів буріння, навантажування і кріплення, що забезпечують вказані швидкості як функції інтенсивності видобутку корисної копалини.

Методи досліджень. У роботі використаний комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі будівництва шахт, теоретичні дослідження, що базуються на методах математичного моделювання, а також методи техніко-економічного пошуку найбільш ефективних варіантів.

Основні наукові положення, що виносяться на захист:

1. Швидкість проходки виробок є експоненціальною функцією коефіцієнта міцності порід і зменшується, при зростанні цього показника з $f=8$ до $f=18$, в межах 1,92 ... 2,5 разів для різних виробок, причому більше значення зміни швидкості має місце у виробках з меншою площею поперечного перетину, що дозволяє визначати темпи їх проведення з врахуванням механічних властивостей гірських порід.

2. Швидкість проходки стволів шахт і протяжних виробок горизонтів є логарифмічною функцією продуктивності засобів буріння шпурів в забої, навантажування породи і кріплення, що дозволяє знаходити темпи проходки виробок і адекватних їм значень продуктивностей основних прохідницьких операцій, що відповідають директивному часу будівництва.

3. Час будівництва комплексу виробок глибоких горизонтів другого рівня розтину залізрудних шахт є лінійною функцією інтенсивності видобутку корисної копалини; у свою чергу, час і темпи будівництва кожної виробки комплексу є нелінійними функціями загальної тривалості будівництва, об'ємів і темпів робіт на проходку всіх виробок головного напрямку, а також витрат часу, не пов'язаних з проходкою виробок, що дозволяє знаходити різні поєднання швидкостей проведення виробок, забезпечуючи розтин і будівництво горизонту другого рівня в директивний час.

4. Залежність продуктивності устаткування для здійснення основних прохідницьких операцій від вартості його експлуатації характеризується логарифмічною функцією, що дозволяє знаходити мінімальні значення витрат на устаткування за умови будівництва комплексу виробок з темпами проходки, що забезпечують директивний час.

Наукова новизна результатів полягає в наступному:

1. Вперше отримані залежності швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт від міцності гірських порід, в яких здійснюється будівництво, при фіксованому часі прохідницького циклу.

2. Вперше знайдені залежності швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт від продуктивності засобів буріння шпурів і навантажування породи, а також від впливу низки чинників буропідривних робіт і при використанні контурного підривання в умовах фіксованого часу прохідницького циклу.

3. Вперше, для умов глибоких шахт, встановлені залежності, що відображають вплив глибини шахти на швидкість буріння шпурів і експлуатаційну продуктивність бурового устаткування.

4. Вперше отримані залежності експлуатаційної продуктивності засобів буріння шпурів, прибирання породи і кріплення виробок для вертикальних стволів шахт і протяжних горизонтальних виробок як чинників, що забезпечують у взаємодії, певні темпи проведення виробок, що відповідають директивному часу реконструкції шахти при використанні другого рівня розтину.

5. Вперше на основі системи запропонованих коефіцієнтів досліджена інтенсивність приросту швидкості проходки виробок, а також відповідних цій швидкості продуктивностей буріння, навантажування і кріплення за чинником часу спорудження об'єкту.

6. Вперше встановлена, на підставі запропонованих коефіцієнтів, значущість різних типів виробок за необхідною швидкістю проходки виробки або параметрами продуктивності засобів буріння, навантажування і кріплення, що забезпечують дану величину швидкості, при різній інтенсивності видобутку корисної копалини.

7. Запропоновані нові схеми ступінчастого розтину горизонтів глибоких шахт за допомогою сліпих капітальних стволів, що відрізняються від існуючих реалізацією можливості ведення робіт з розтину горизонту другого рівня за допомогою безлічі точок прикладання робіт; запропоновані також схеми, доцільні для використання в умовах шахт з великою протяжністю рудного тіла за простиранням.

8. Вперше, на основі запропонованих організаційно-технічних параметрів, отримані залежності, що характеризують будівництво горизонтів другого рівня розтину при різному числі напрямів робіт.

9. Вперше отримані поєднання швидкостей проходки комплексу різних виробок горизонтів другого рівня розтину родовища і експлуатаційних продуктивностей засобів буріння, навантажування і кріплення, що відповідають цим швидкостям, які дозволяють досягати мінімальних витрат на прохідницьке устаткування, що використовується.

10. Вперше знайдені залежності, що характеризують вплив міцності гірських порід, параметрів буропідривних робіт, числа точок робіт на мінімальні витрати на експлуатацію устаткування і організаційно-технологічні параметри проходки.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, підтверджуються статистично значущим об'ємом проаналізованої інформації про фактичний стан проходки протяжних вертикальних, горизонтальних та камерних виробок, коректністю поставлених завдань, адекватністю розроблених математичних моделей

реальним об'єктам, використанням досить надійних методів математичного моделювання, задовільною (різниця не перебільшує 20 %) збіжністю результатів аналітичних і натурних досліджень, достатньою апробацією наукових положень та висновків роботи, позитивним досвідом впровадження у виробництво результатів досліджень.

Наукове значення роботи полягає в розвитку наукових основ проектування будівництва глибоких залізородних шахт в умовах ступінчастого розтину родовищ.

Практичне значення роботи полягає в розробці:

- методики визначення швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт в залежності від міцності гірських порід, продуктивності засобів буріння шпурів і навантажування породи;

- рекомендацій з визначення швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт в залежності від продуктивності устаткування для кріплення;

- рекомендацій з врахування міри впливу різних видів прохідницького устаткування на темпи спорудження виробок;

- методики визначення швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт залежно від: коефіцієнта структури гірських порід, коефіцієнта працездатності ВР, коефіцієнта заповнення шпурів, а також при використанні контурного підривання;

- методики визначення експлуатаційної продуктивності засобів буріння шпурів, навантажування породи і кріплення виробок для вертикальних стволів шахт і протяжних горизонтальних виробок, як чинників, що забезпечують темпи будівництва, які відповідають директивному часу реконструкції шахти;

- рекомендацій з оптимального підбору прохідницького устаткування за параметрами продуктивності і вартості експлуатації.

Реалізація висновків і рекомендацій роботи. Результати досліджень реалізовані у ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств гірничорудної промисловості «Кривбаспроект» при проектуванні будівництва глибоких шахт в Криворізькому басейні, у ПАТ «Криворізький залізородний комбінат» при будівництві горизонтів 1390 м ш. «Родіна» і 1350 м ш. «Гвардійська» з очікуваним економічним ефектом 430 тис. грн., у ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка» при будівництві комплексу виробок горизонтів 1260 і 1340 м ш. «Ювілейна», при складанні програми наукових досліджень ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут», у ПАТ «Державна холдингова компанія «Спецшахтобуріння» при проектуванні глибоких шахт і проходки вертикальних виробок в умовах Донбасу, в навчальному процесі Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» при підготовці бакалаврів, спеціалістів і магістрів зі спеціальності «Шахтне і підземне будівництво».

Особистий внесок автора. Автором самостійно поставлена і сформульована наукова проблема, ідея, мета і завдання досліджень, проведений аналіз впливу комплексу чинників на темпи проведення протяжних горизонтальних і вертикальних виробок, обґрунтовані схеми будівництва горизонтів глибоких шахт з використанням ступінчастого розтину родовища, проведені дослідження

тривалості робіт для різних умов, швидкостей проведення комплексу виробок при зміні числа точок прикладання робіт, продуктивності засобів проходки, що забезпечують задані темпи проведення виробок, виконана оптимізація організаційно-технологічних параметрів будівництва за критерієм витрат на прохідницьке устаткування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорені і схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях гірничо-металургійного напрямку: «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2006...2009 р.р.); «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» (Кривий Ріг, 2005...2011 р.р.); «Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки України» (Дніпропетровськ, 2008 р.), «Перспективи освоєння підземного простору» (Дніпропетровськ, 2009, 2011 рр.), «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку» (Кривий Ріг, 2009 р.), V Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2010» (Прага, 2010), «80 лет кафедре шахтного строительства» (Дніпропетровськ, 2010 р.), «Строительство шахт и подземных сооружений» (Донецьк, 2010 р.), VI Mezinárodní vědecko - praktická konference «Dny vědy - 2010» (Прага, 2010).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладені в 48 наукових працях, в тому числі в 33 наукових працях, опублікованих у фахових виданнях України, 13 - у матеріалах конференцій та 2 - у інших виданнях.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновку, списку використаних джерел з 253 найменувань на 29 сторінках і 12 додатків на 35 сторінках. Містить 300 сторінок машинописного тексту, зокрема 158 рисунків і 87 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 454 сторінки.

Автор висловлює вдячність співробітникам кафедри, які допомагали у дослідженнях. Особливу подяку автор виражає науковому консультантові д.т.н, проф. А.М. Роенку за постійну увагу і д.т.н, проф. О.М. Шашенку, д.т.н., проф. О.В. Солодянкіну за цінні поради, які сприяли покращенню роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність досліджень і розробок, сформульовані наукова проблема, мета і завдання досліджень, відображені наукова новизна і практичне значення роботи, наведені наукові положення, які виносяться на захист, а також дані щодо апробації і публікації результатів досліджень.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу розвитку залізорудної промисловості України і Криворізького басейну в контексті ефективності функціонування, співвідношення способів видобутку, перспектив розвитку, сировинної бази. Досліджені, також, наявний досвід ведення робіт і стан методологічного забезпечення проектування будівництва глибоких шахт.

Світовий попит на залізорудну продукцію характеризується постійним зростанням. Лише за період з 2000 по 2004 рр. використання товарної залізної руди зросло з 1030 млн. т до 1330 млн. т, на 29 % за короткий проміжок часу. Відбувається вичерпання багатих легкодоступних родовищ і видобуток поши-

рюється на великі глибини. Останніми роками, за даними ДНДГРІ, у виробництві товарної залізної руди в басейні частка шахт, відносно до гірничозбагачувальних комбінатів, складає 15-28%, в абсолютному вираженні – близько 10-11 млн. т на рік (рис. 1).

55

Рис. 1. Динаміка виробництва товарної руди в Кривбасі за способами розробки і частка шахт до ГЗК

У 2010 р. на шахтах Кривбасу було вироблено понад 13 млн. т товарної руди, що перевершує всі показники останніх двох десятиліть. Серед них найбільшими об'ємами видобутку характеризуються шахти «Родіна» і «Октябрська». Так, наприклад, в передкризовому 2007 р. на них було вироблено відповідно 2267 тис. т і 1939 тис. т товарної руди (рис. 2).

Розвитку підземних гірничих робіт, проектуванню будівництва й реконструкції шахт в різний час приділяли значну увагу провідні вчені Агошков М.І., Борщевський С.В., Бронніков Д.М., Бузило В.І., Гайко Г.І., Гузеєв О.Г., Дрібан В.О., Дружко В.П., Задорожній О.М., Капленко Ю.П., Левіт В.В., Литвинський Г.Г., Малахов Г.М., Мінеєв С.П., Перегудов В.В., Покровський М.М., Полозов Ю.А., Роєнко А.М., Сдвижкова О.О., Садовенко І.О., Солдатов В.І., Солодянкін О.В., Шашенко О.М., Шевяков Л.Д., Штельмах А.С., Уманський Р.З., Усаченко Б.М., Халимендик Ю.М., Федоренко П.Й., Федоров С.О., Ягодкін Ф.І. та інші. Проте, попри наявності значного досвіду будівництва гірничих підприємств, для умов глибоких шахт питання розробки схем будівництва, тривалості, темпів проходки виробок, а та-

кож вплив різних чинників на організаційно-технологічні параметри будівництва досліджені недостатньо глибоко, що визначає необхідність вирішення актуальної науково-технічної проблеми – розвитку основ проектування будівництва залізородних шахт на великих глибинах розробки при використанні другого рівня розтину родовища в умовах реконструкції підприємств, що діють.

250

Рис. 2. Виробництво товарної продукції на ряді шахт Кривбасу

Аналіз робіт (Агошков М.І., Малахов Г.М., Борисов С.С., Тітов В.Д., Бронніков Д.М., Замесов М.Ф., Богданов Г.І.), в яких висвітлені питання розтину глибоких залізородних родовищ, показав, що найбільш раціональним для умов Криворізького басейну є ступінчастий розтин з використанням сліпих вертикальних стволів, графічна інтерпретація якого може бути відбита наступним (рис. 3, а). В той же час, як в роботах згаданих авторів, так і в інших, не розглянуті схеми, що дозволяють реалізувати можливість ведення робіт з будівництва горизонту другого рівня за допомогою декількох точок прикладання робіт і які доцільні для використання в умовах шахт з великою протяжністю рудного тіла за простиранням.

У дисертації показано, що для різних умов, з врахуванням необхідних витрат часу і об'ємів робіт, ведення будівництва на глибоких горизонтах може здійснюватися за наступними схемами (рис. 3), в яких застосовуються різне число напрямів проходки і устаткування відповідного складу і продуктивності.

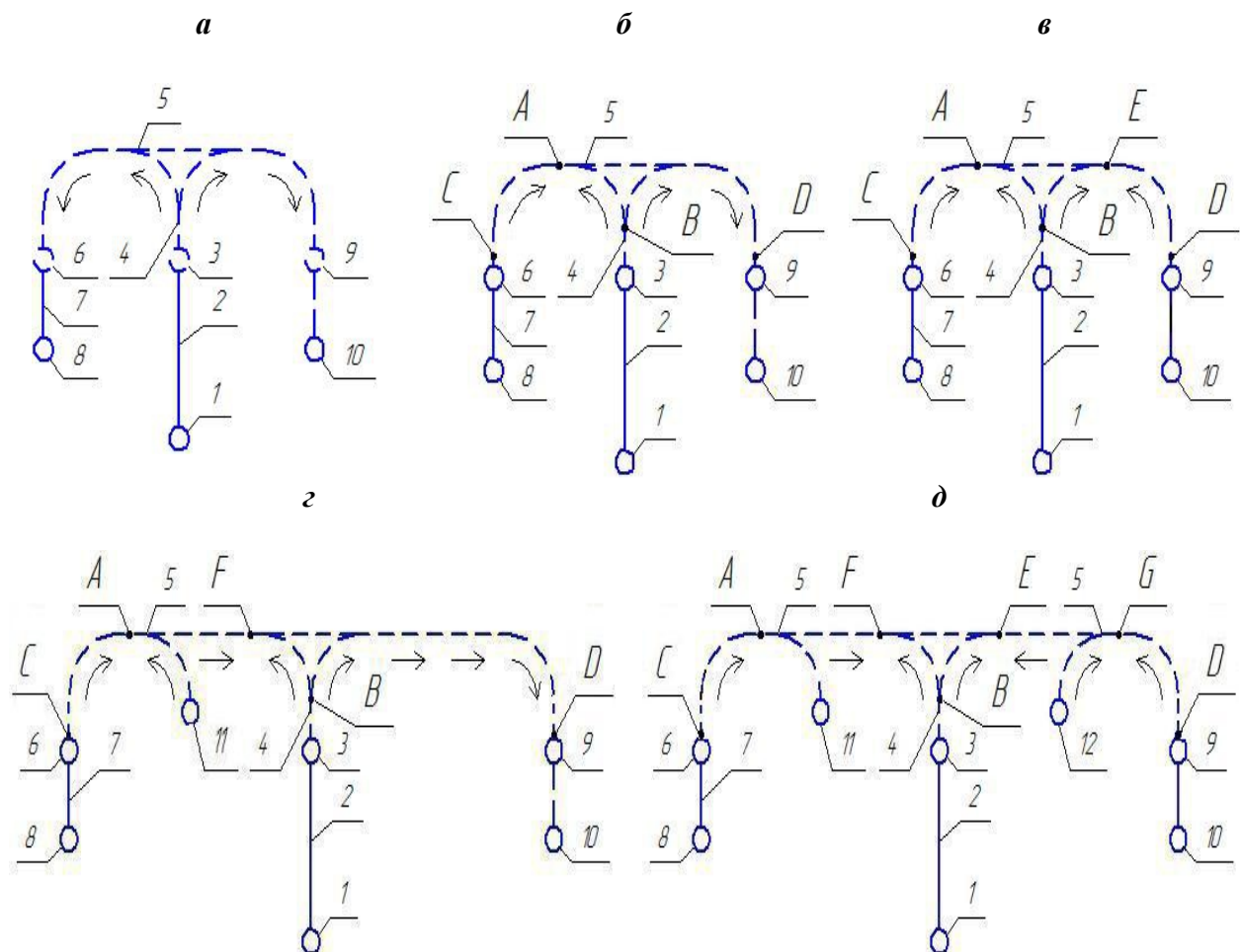


Рис. 3. Будівництво горизонту другого рівня з використанням: а - однієї точки прикладання робіт (від головного ствола); б - двох точок прикладання робіт (від головного ствола і одного з флангових); в - трьох точок прикладання робіт (від головного ствола і обох флангових); г - трьох точок прикладання робіт (від головного ствола, флангового і тимчасового приштрекового); д - п'яти точок прикладання робіт (від головного ствола, двох флангових і двох тимчасових приштрекових); 1- головний ствол горизонту першого рівня розтину; 2- головний квершлаг горизонту першого рівня розтину; 3 - головний сліпий вертикальний ствол, що розкриває горизонт другого рівня; 4 - головний квершлаг горизонту другого рівня розтину; 5 - штрек горизонту другого рівня розтину; 6, 9 - флангові сліпі вертикальні стволи, що розкривають горизонт другого рівня; 7- вентиляційний квершлаг горизонту першого рівня розтину; 8, 10 - флангові стволи горизонту першого рівня розтину; 11, 12 - тимчасові приштрекові сліпі стволи; А, Е, F, G – точки зустрічі; ← - напрямки розвитку прохідницьких робіт.

Другий розділ дисертації присвячений аналізу впливу різних фізико-механічних і організаційно-технічних чинників на темпи проведення протяжних горизонтальних виробок.

В результаті зміни міцності гірських порід, в яких проходяться виробки, відбувається подвійна дія на швидкість їх спорудження: за рахунок збільшення числа шпурів в забої при зростанні коефіцієнта міцності порід (f) за шкалою

проф. М.М. Протодьяконова, а також зниження у вказаному випадку продуктивності бурового устаткування.

Встановлено, що для виробки площею поперечного перетину $S = 16 \text{ м}^2$ при зміні f з 6 до 17 число шпурів зростає в 2,8 раза, що, відповідно, вимагає додаткового часу на їх буріння. У вказаному випадку, за даними ДНДГРІ, експлуатаційна продуктивність установки СБКН-2М знижується з 20 м/г до 9,6 м/г, тобто майже в 2 рази.

З врахуванням викладеного розглянемо вплив міцності порід на швидкість (v) проходки горизонтальної виробки. Найбільша швидкість спостерігається при мінімальному значенні коефіцієнта міцності порід і складає 45,94 м/міс. (100 %). При $f = 17$ швидкість скоротиться до 18,13 м/міс. (39,46 %). Таким чином, швидкість проходки виробки, як інтегральний показник різних чинників, скоротиться в 2,5 раза, що дозволяє вважати міцність порід визначальним параметром при організації робіт.

У загальному вигляді залежність швидкості проходки горизонтальних виробок від коефіцієнта міцності порід має експоненціальний вираз

$$v = 78,87e^{-0,087f}. \quad (1)$$

Дослідження дії продуктивності засобів буріння на інтенсивність проведення виробок різного перетину показали, що, наприклад, для типового в умовах глибоких горизонтів шахт Кривбасу випадку, при $S = 16 \text{ м}^2$ і $f = 16$ залежність швидкості проходки виробки (рис. 4) від продуктивності бурового устаткування (B) носить логарифмічний характер і має вигляд

$$v = 18,67\text{Ln}(B) - 20,25. \quad (2)$$

55

Рис. 4. Залежність швидкості проходки виробки від продуктивності бурового устаткування

В ході дослідження залежності швидкості проходки протяжних виробок горизонту від продуктивності бурового устаткування, виконаного для широкого діапазону умов, встановлено також, що: в міру зростання експлуатаційної продуктивності бурового устаткування зміна швидкості проходки виробки буде все менш виражена. Так, при зростанні швидкості проходки виробки з 25 до 50 м/міс., тобто в 2 рази, потрібна для забезпечення такої швидкості експлуатаційна продуктивність бурового устаткування повинна збільшуватися інтенсивніше, залежно від умов, в 3,55-3,67 рази. Відмічена тенденція інтенсивнішого збільшення, у міру зростання експлуатаційної продуктивності бурового устаткування, швидкості проходки виробки з меншим значенням площі поперечного перетину.

На підставі аналізу встановлена залежність часу ($T_{ш}$) чистого буріння 1 м (l_m) шпура від глибини шахти (H), яка, з найбільшою точністю, може бути подана експоненціальною функцією $T_{ш} = 4,64e^{0,0004H}$ при $R^2 = 0,82$. Вивчення чисельних випадків експлуатації бурового устаткування в Криворізькому басейні дозволило встановити, що із збільшенням швидкості проходки виробок, в цілому, спостерігається тенденція зростання питомої ваги часу чистого буріння в загальній тривалості операції буріння (рис. 5). Експлуатаційна продуктивність бурового устаткування може бути розглянута як функція технічної продуктивності цього устаткування ($B_{тх}$) і питомої ваги (τ_b) часу чистого буріння в загальній тривалості операції буріння шпурів в забої $B = B_{тх} \tau_b$.



Рис. 5. Залежність питомої ваги чистого часу буріння від швидкості проходки

При зміні технічної продуктивності бурового устаткування, але незмінному часі на допоміжні операції, матиме місце зміна питомої ваги часу чистого буріння в загальній тривалості операції буріння. У таких випадках доцільно використовувати значення питомої ваги часу чистого буріння в загальній тривалості операції буріння за базових

умов ($\tau_{вб}$). Тоді матиме місце вираз $B = B_{тх} \tau_{вб}$. Введемо показник Q_B , що дозволяє оцінювати зміну експлуатаційної продуктивності бурового устаткування при збільшенні глибини шахти $Q_B = B_{H_i} / B_{H_j}$, де Q_B - зміна експлуатаційної продуктивності бурового устаткування; B_{H_i} , B_{H_j} - експлуатаційна продуктивність бурового устаткування відповідно на глибині H_i і H_j м/год.

Дослідження зміни експлуатаційної продуктивності бурового устаткування показали, що при зростанні глибини з 800 м до 1200 м час чистого буріння 1 м шпура за інших рівних умов збільшиться з 6,3 до 7,42 хв.л., тобто в 1,18 рази. В той же час, у відповідних випадках, зміна експлуатаційної продуктивності бурового устаткування при $\tau_{вб}$ рівних 0,6; 0,7 і 0,85 буде помітно меншою, відповідно складаючи $Q_B = 1,11; 1,12$ і $1,15$, причому ця зміна буде тим помітнішою, чим вище питома вага часу чистого буріння в загальній тривалості операції буріння.

Введемо також показник, що оцінює зміну експлуатаційної продуктивності бурового устаткування зі зміною глибини робіт $R_{BH} = (B_{Hi} / B_{Hj}) / (H_i / H_j)$. При переході до буріння шпурів з горизонту 800 м на горизонт 1200 м має місце $R_{BH} = 0,752$, тобто експлуатаційна продуктивність бурового устаткування знижується з глибиною у меншій мірі, ніж змінюється глибина робіт.

У відомій формулі М.М. Покровського замінимо час буріння швидкістю, а саме $v_M = 1/t_M$, а також візьмемо до уваги встановлену раніше залежність продуктивності устаткування від глибини ведення робіт. Тоді матимемо вираз:

$$B = \frac{60nK_oK_H l_M}{4,6438e^{0,0004H} + \Sigma t}, \quad (3)$$

де n – число бурильних машин на установці; K_o – коефіцієнт одночасності у роботі машин; K_H – коефіцієнт надійності установки; Σt – тривалість допоміжних робіт, віднесена до 1 м шпура; v_M – механічна швидкість буріння (м/хв.л.) шпурів. Залежність швидкості проходки виробки $S = 20$ м² від експлуатаційної продуктивності бурового устаткування при $f=8$ з врахуванням глибини шахти матиме вигляд

$$v = 22,416 \ln\left(\frac{60nK_oK_H l_M}{4,6438e^{0,0004H} + \Sigma t}\right) - 10,019. \quad (4)$$

Для протяжних горизонтальних виробок дослідимо вплив експлуатаційної продуктивності засобів навантажування (P) на швидкість проходки (рис. 6).

На підставі аналітичних розрахунків встановлено, що швидкість проходки виробки логарифмічно залежить від продуктивності засобів навантажування. Проведений в ході досліджень для різних умов аналіз показав також, що:

- у виробках, з незмінною площею поперечного перетину, у міру підвищення експлуатаційної продуктивності вантажного устаткування, спостерігатиметься зростання темпів проходки виробки, з більшими значеннями швидкості при меншому коефіцієнті міцності порід. В той же час, динаміка відносного зростання швидкості проходки виробки при зростанні значень експлуатаційної продуктивності засобів навантажування буде все менш помітною і характеризується зниженням інтенсивності при проходці виробки в породах з вищим f ;

- у виробках, що мають меншу площу поперечного перетину, у міру зростання рівня експлуатаційної продуктивності засобів навантажування, відносна

інтенсивність зростання швидкості проходки виробки нижча, ніж у виробках з більшою площею поперечного перетину.

32

Рис. 6. Залежність швидкості проходки від продуктивності засобів навантажування

Порівняння міри впливу різних чинників на швидкість проходки горизонтальних виробок дозволило встановити наступне. У досить широкому діапазоні розглянутих нами значень параметрів збільшення в 2 рази, відносно до певного базового рівня, коефіцієнта міцності порід призводить до зниження швидкості проведення виробки в середньому в 1,64 рази. Зростання в 2 рази експлуатаційної продуктивності засобів буріння призводить до зростання шви-

джості проходки виробки для різних випадків в 1,5-1,72 рази. Збільшення в 2 рази продуктивності засобів навантажування призводить до зростання швидкості проходки виробки в 1,17 рази.

Таким чином, з розглянутих вище чинників найбільший вплив на швидкість проходки виробки має міцність порід. З чинників, управляти якими можливо, вельми значимий вплив на швидкість має продуктивність бурового устаткування (B). Менш значним впливом характеризується продуктивність засобів навантажування. Вплив інтенсивності кріплення виробки, що складається з набризкбетону у поєднанні з анкерами, обмежується 25 %, а за відсутності анкерів – ще меншою величиною.

Аналізуючи вплив різних чинників на структуру витрат часу прохідницького циклу при фіксованій його тривалості необхідно відзначити наступне: визначальний вплив на структуру часу здійснює міцність порід, в яких здійснюється будівництво; навіть при різному поєднанні інших чинників, в міцних і дуже міцних породах спостерігається стійка тенденція до вираженого домінування витрат часу на буріння шпурів у вибої.

У сучасних умовах, при значному зносі прохідницького устаткування шахтобудівних організацій і у зв'язку з проблемами його оновлення, має інтерес дослідження можливості управління темпами прохідницьких робіт за допомогою менш витратних чинників. У зв'язку з цим актуальна оцінка міри впливу на швидкість проходки виробки коефіцієнта працездатності ВР (e_p), коефіцієнта заповнення шпурів (k_3) і коефіцієнта структури порід (f_c).

Розглянемо спорудження виробки $S = 20 \text{ м}^2$, $f = 16$, при цьому $B = 11,1$ м/год, $P = 10 \text{ м}^3/\text{год}$. Можна вказати, що з коефіцієнтом детерміації $R^2 = 0,96$ залежність швидкості проходки виробки від коефіцієнта структури порід характеризуватиметься лінійною функцією $v = -13,87 f_c + 46,56$. Слід відзначити значну мінливість коефіцієнта структури порід і його здатність суттєво впливати на швидкість проходки виробки. Так, при зміні f_c в 2,5 рази v зміниться в 1,84 рази. Для ВР з високою працездатністю, наприклад, $e_p = 0,7$, характерна швидкість проходки 40,3 м/міс., тоді як з низькою, при $e_p = 1,2$, лише 29 м/міс. Таким чином, зміна e_p в 1,7 рази призводить до зміни v в 1,39 рази. У загальному вигляді залежність швидкості проходки виробки від коефіцієнта працездатності ВР, при $R^2 = 0,97$, характеризується лінійною функцією $v = -23,6 e_p + 56,73$.

При зростанні k_3 від 0,6 до 0,85 (у 1,42 рази) має місце збільшення v з 29,92 м/міс. до 36,96 м/міс. (у 1,24 рази). Залежність швидкості проходки виробки від коефіцієнта заповнення шпурів, при $R^2 = 0,9831$, характеризується лінійною функцією $v = 27,55 k_3 + 13,69$.

Розглянемо характер зміни швидкості проходки виробки при спільній дії чинників, вплив яких окремо ми оцінювали раніше (табл. 1).

Таблиця 1

Варіант умов	Характеристика поєднання чинників	f_c	e_p	k_3
1	Несприятливе для всіх чинників	2	1,2	0,6
2	Середнє для всіх чинників	1,4	1	0,725

3	Сприятливе для всіх чинників	0,8	0,7	0,85
4	Середнє значення f_c і $\max e_p$ і k_3	1,4	0,7	0,85
5	Середнє значення f_c і $\min e_p$ і k_3	1,4	1,2	0,6

Аналіз отриманих даних (рис. 7) свідчить про істотні зміни швидкості проходки виробки. Якщо за базовий рівень прийняти варіант умов 1 (табл. 1), що передбачає найбільш несприятливе поєднання чинників, то в найбільш сприятливому поєднанні швидкість збільшиться в 3 рази. Якщо прийняти середній рівень коефіцієнта структури порід, чинника, яким ми не можемо управляти, $f_c = 1,4$ і розглянути його у поєднанні з \max (варіант 4) і \min (варіант 5) значеннями керованих чинників, то отримані швидкості проходки виробки, відповідно 37,3 і 20,6 м/міс. розрізнятимуться в 1,8 рази, що найбільш показово.

Дослідження залежності впливу контурного підривання на швидкість проходки виробок в різних умовах показали наступне: виникає необхідність в бурінні додаткового числа шпурів, що складає, для різних умов, 19-28% для виробки з $S=10$ м² або 17-24% для виробки з $S=20$ м². Причому із збільшенням f має місце відносне скорочення приросту числа шпурів. Швидкість проходки виробки з $S = 10$ м² при контурному підриванні знизиться в 1,14 при $f=10$ і в 1,18 рази при $f=20$; для виробки з $S=20$ м² вказані показники складуть відповідно 1,1 і 1,24 рази. Інтенсивніше падіння швидкості проходки при підвищенні f можна пояснити зниженням в цьому випадку продуктивності бурового устаткування.

60

Рівневий аналіз темпів спорудження протяжних горизонтальних виробок показав наступне: найбільш важливими з чинників, що формують величину швидкості проходки виробки, є коефіцієнт міцності порід і експлуатаційна продуктивність бурового устаткування; певну швидкість проходки виробки, принаймні, до

Рис. 7. Динаміка швидкості проходки виробки для варіантів умов

деякого її рівня, можна досягти різним поєднанням формуючих чинників; збільшення швидкості проходки виробки з 20 до 35 м/міс. (у 1,75 рази) вимагає зростання продуктивності бурового устаткування для виробок при $S = 16$ м² – в 4-4,8 рази, залежно від конкретних умов, а з $S = 8$ м² в 2,2-2,77 рази; при пере-

ході від проведення виробки площею поперечного перетину 16 м^2 до 8 м^2 відповідні рівневим швидкостям продуктивності бурового устаткування знижуються в 2,3-4,7 рази, причому, із збільшенням швидкості спостерігається тенденція зростання цього відношення.

Третій розділ дисертації присвячений дослідженню впливу різних чинників на швидкість проведення вертикальних стволів. Розглянуті параметри, що показують динаміку темпів проходки при зміні міцності порід в стволах постійного діаметру, а також при зміні перетину ствола. На основі запропонованих коефіцієнтів виконаний аналіз співвідношення зростання швидкості і збільшення продуктивності засобів проходки, що викликало його.

Розглянемо залежність швидкості проведення стволів від експлуатаційної продуктивності бурового устаткування за наступних умов: проходка здійснюється звичайним способом із застосуванням буропідричних робіт. Стволи закріплені монолітним бетоном. Для ствола діаметром в проходці $D = 6 \text{ м}$, при $S = 28,3 \text{ м}^2$, в породах з $f = 12$ при експлуатаційній продуктивності бурового устаткування 6 м/год має місце швидкість проходки $14,1 \text{ м/міс.}$ (прийmemo її за базову для даних умов). Високі рівні продуктивності бурового устаткування сприяють досягненню помітно більших темпів проходки. Так, при $B = 24 \text{ м/год}$ швидкість зростає до $20,9 \text{ м/міс.}$ Характер залежності v від B для ствола $D = 6 \text{ м}$ при $f=12$ з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,9837$ може бути описаний логарифмічною залежністю (табл. 2). Аналогічним чином розглянемо залежність v від B для даного ствола, але при збільшенні f до 18.

Таблиця 2

Залежності швидкості проходки ствола від продуктивності бурового устаткування

Параметр	Діаметр ствола у проходці, м	Коефіцієнт міцності порід, f	Залежність	Діапазон змін величин	Висновки
Залежність v від B	6	12	$v = 4,3 \ln(B) + 7,1$ при $R^2 = 0,98$	При $B=6 \text{ м/год}$ $v=14,1 \text{ м/міс.}$; при $B=30 \text{ м/год}$ $v=21,56 \text{ м/міс.}$; $v_{30}/v_6 = 1,53$	Швидкість проходки логарифмічно залежить від продуктивності бурового устаткування. При зростанні f знижується v . Відношення швидкостей, наприклад, v_{30}/v_6 при більшому f зростає
		18	$v = 5,17 \ln(B) + 2,88$ при $R^2 = 0,98$	При $B=6 \text{ м/год}$ $v=11,7 \text{ м/міс.}$; при $B=30 \text{ м/год}$ $v = 20,33 \text{ м/міс.}$; $v_{30}/v_6 = 1,74$	
	8	12	$v = 2,65 \ln(B) + 5,18$ при $R^2 = 0,98$	При $B=6 \text{ м/год}$ $v=9,6 \text{ м/міс.}$; при $B=30 \text{ м/год}$ $v=13,9 \text{ м/міс.}$; $v_{30}/v_6 = 1,46$	
		18	$v = 3,09 \ln(B) + 2,86$ при $R^2 = 0,98$	При $B=6 \text{ м/год}$ $v=8,1 \text{ м/міс.}$; при $B=30 \text{ м/год}$ $v=13,2 \text{ м/міс.}$; $v_{30}/v_6 = 1,63$	
Співвідношення швидкостей при	6	-	$\Delta_B = -0,087 \ln(B) + 1,35$ при $R^2 = 0,98$	При $B=6 \text{ м/год}$ $\Delta_B = 1,205$; при $B=30 \text{ м/г}$ $\Delta_B = 1,061$	При зростанні B і збільшенні f з 12 до 18 спів-

$f=12$ і $f=18$	8	-	$\Delta_B = -0,079Ln(B) + 1,318$ при $R^2 = 0,97$	При $B=6$ м/год $\Delta_B = 1,184$; при $B=30$ м/год $\Delta_B = 1,059$	відношення швидкостей Δ_B знижується
Співвідношення швидкостей при $D = 6$ м і $D = 8$ м	-	12	$Z_B = 0,0028B + 1,47$ при $R^2=0,84$	При $B=6$ м/год $Z_B=1,47$; при $B=30$ м/год $Z_B=1,54$	При збільшенні D з 6 до 8 співвідношення швидкостей Z_B зростає із збільшенням B
	-	18	$Z_B = 0,0034B + 1,4431$ при $R^2 = 0,87$	При $B=6$ м/год $Z_B=1,44$; при $B=30$ м/год $Z_B=1,54$	

Дослідимо далі цей процес для ствола з $D = 8$ м. В цьому випадку, в цілому, повторюватимуться тенденції, відмічені нами раніше, але при менших рівнях v для даних значень B . Розглянемо міру зміни швидкості проходки (позначимо Δ_B) ствола з $D = 6$ м при переході від $f=12$ до $f=18$ (табл. 2). При $B = 6$ м/год швидкість проходки ствола при $f=12$ буде в 1,2 рази вище, ніж при $f=18$. Співвідношення швидкостей при вищих значеннях B поступово зменшуватиметься. При високих значеннях продуктивності бурового устаткування співвідношення швидкостей проходки ствола істотно знизиться.

Дослідимо зміну співвідношення швидкостей (позначимо Z_B) при $D = 6$ м і $D = 8$ м при відповідних рівнях коефіцієнта міцності порід (табл. 2). Тоді як співвідношення площ перетину даних стволів складає 1,77 співвідношення швидкостей при $f=12$ і $B = 6$ м/год буде $Z_B = 1,47$, а у випадку $B = 30$ м/год зросте до $Z_B = 1,54$.

Виконаємо далі аналіз залежності швидкості проходки стволів від продуктивності засобів навантажування породи. Для ствола з $D = 6$ м, що проходиться в породах з $f=12$ при експлуатаційній продуктивності (P) засобів навантажування (тут і далі в масиві порід) 1 м³/год має місце швидкість проходки 9,68 м/міс. (базова). При $P = 5$ м³/год швидкість проходки ствола зростає до 22,18 м/міс. Високі рівні продуктивності засобів навантажування забезпечують підтримку помітно більших темпів проходки. Так, при $P = 20$ м³/год швидкість зростає до 29,3 м/міс. (у 3 рази відносно до базових умов). Характер залежності v від P для ствола з $D = 6$ м при $f=12$ з $R^2 = 0,95$ може бути описаний виразом $v = 5,72Ln(P) + 12,28$. Ступінь зміни швидкості проходки (позначимо ΔP) ствола з $D = 6$ м при переході від $f=12$ до $f=18$ можна описати залежністю $\Delta P = 0,08Ln(P) + 1,17$ при $R^2 = 0,95$. У дисертації також досліджені зміни співвідношення швидкостей проходки стволів при різних значеннях продуктивності засобів навантажування (Z_P) при $D = 6$ м і $D = 8$ м.

Для проходки стволів, на відміну від протяжних горизонтальних виробок, навіть багатократно (відносно до деякого, обгрунтованого з практичної точки зору рівню) зростання продуктивності окремо лише засобів буріння шпурів або навантажування породи не призводить до радикального збільшення швидкості проходки. Так, наприклад, для ствола діаметром 8 м при коефіцієнті міцності порід $f = 18$ при $B = 6$ м/год має місце $v = 8,1$ м/міс., при $B = 30$ м/год $v = 13,2$ м/міс., тобто при 5-кратному збільшенні продуктивності засобів буріння, швидкість зростає лише в 1,63 разу. Схожа картина спостерігається і в разі збільшен-

ня продуктивності засобів навантажування. При $P=5$ м³/год $v = 11,79$ м/міс.; при $P=30$ м³/год швидкість складе лише $v = 15,75$ м/міс., тобто, швидкість зростає лише в 1,34 рази. В зв'язку з цим актуальним може бути дослідження залежності швидкості проходки стволів від сумісного впливу продуктивності бурового і навантажувального устаткування.

Дослідимо сумісний вплив B і P на швидкість проходки ствола з $D = 8$ м, при $f=12$ і $f=18$ (рис. 8). Приведемо далі дані про відношення швидкості проходки ствола до різних базових її значень, умови утворення яких обмовляються нижче. Позначимо відношення швидкості проходки при даних (v_n) і базових (v_0) умовах як $W = v_n/v_0$. З врахуванням того, як сформувався це відношення, позначимо його у вигляді W_{ij} , де індекс i показує продуктивність буріння (м/год), а індекс j показує продуктивність навантажування (м³/год). Дослідимо міру зміни швидкості проходки ствола $D = 6$ м при $f=12$ від спільної дії зміни продуктивності буріння і навантажування. Тут слід розглянути окремо низку випадків.

При постійному значенні продуктивності буріння, наприклад, $B=6$ м/год і переході від базового значення до продуктивності вантаження $P=4$ м³/год відношення швидкості до базового її рівня (при $P=2$ м³/год) складе $W_6^4=1,284$. При подальшому зростанні лише продуктивності вантаження матиме місце $W_6^{10}=1,54$ і $W_6^{20}=1,64$. При $B=12$ м/год спостерігається зростання інтенсивності зміни швидкості у відповідних випадках: $W_{12}^4=1,36$, $W_{12}^{10}=1,73$ і $W_{12}^{20}=1,91$. При $B=30$ м/год має місце найбільша інтенсивність зміни швидкості проходки – $W_{30}^{20}=2,22$.

Рис. 8. Залежність v від B для ств. $D = 8$ м при зміні P : а - при $f = 12$; б - при $f = 18$

При зростанні міцності порід і сумісному збільшенні B і P відношення швидкості до базового рівня збільшується: при $f=12$ – $W_{30}^{20}=2,76$, при $f=18$ – $W_{30}^{20}=3,29$. При збільшенні діаметру ствола до 8 м підтверджуються раніше відмічені тенденції, але при сумісному збільшенні B і P відношення швидкості до базового рівня буде відносно значнішим: при $f=12$ – $W_{30}^{20}=3,39$, при $f=18$ – $W_{30}^{20}=3,56$. Це відображає значущість забезпечення високої продуктивності бурового і навантажувального устаткування, особливо в міцних породах і для стволів великого діаметру.

Для оцінки співвідношення зростання швидкості проходки ствола і збільшення продуктивності буріння, що викликало таке зростання (або, в інших випадках, будь-якого іншого чинника) введемо показник, який назвемо питомим коефіцієнтом приросту швидкості за чинником буріння (K_{vB})

$$K_{vB} = \frac{v_i B_o}{v_o B_i} \quad (5)$$

Аналогічним чином можна встановити питомі коефіцієнти приросту швидкості за чинниками навантажування (K_{vP}) $K_{vP} = v_i P_o / v_o P_i$ і кріплення (K_{vK}) $K_{vK} = v_i K_o / v_o K_i$.

Рівневий аналіз темпів спорудження ствола діаметром $D = 6$ м в проходці, закріпленого бетоном, показав наступне. При продуктивності засобів навантажування $P = 10$ м³/год і кріплення $K = 1,5$ м³/год на ділянці швидкості від 10 м/міс. до 20 м/міс. має місце $K_{vB} = 0,725$, на ділянці швидкості від 10 м/міс. до 30 м/міс. $K_{vB} = 0,45$, на ділянці швидкості від 10 м/міс. до 40 м/міс. $K_{vB} = 0,18$. Для підтримки швидкості 43 м/міс. за даних умов було б потрібно мати продуктивність засобів буріння $B = 103,6$ м/год. У даних умовах можливість зростання темпів проходки практично втрачається на рубежі $v = 40$ м/міс. Так, наприклад, для приросту швидкості проходки всього на 3 м/міс. (7,5 %) потрібно збільшити

продуктивність буріння на 51,29 м/год або майже в 2 рази, що не лише не доцільно, але і у край важко здійснити.

У дисертації встановлено, що продуктивність засобів буріння, навантаження і кріплення експоненціально залежить від швидкості проходки виробок; значення параметрів K_{vB} , K_{vP} , K_{vK} лінійно спадають із збільшенням рівня швидкості проходки виробки.

Показано, що залежність зміни числа шпурів при контурному підриванні може бути описана наступними виразами. Для ствола $D = 6$ м: $\beta = -0,2078\text{Ln}(f) + 1,7267$ при $R^2 = 0,97$. Для ствола $D = 8$ м: $\beta = -0,2462\text{Ln}(f) + 1,8858$ при $R^2 = 0,97$. Ця зміна формується під впливом наступних чинників: менш значимого, ніж в горизонтальних виробках, впливу, який здійснює на швидкість проходки продуктивність буріння, порівняно більшого числа контурних шпурів в стволах, збільшення загального числа шпурів із збільшенням міцності порід, зниження, із зростанням міцності порід, продуктивності бурового устаткування.

Четвертий розділ дисертації присвячений дослідженню витрат часу на розтин і будівництво горизонту другого рівня, встановленню залежностей від директивного часу будівництва швидкостей проходки різних виробок, з врахуванням їх взаємозв'язку. На основі запропонованих параметрів визначені закономірності зміни питомих коефіцієнтів приросту швидкості за часом будівництва. Проведена оцінка значущості конкретних виробок при будівництві горизонту з точки зору темпів робіт, необхідних для їх своєчасної проходки.

Загальні витрати часу на розтин і будівництво горизонту другого рівня визначаються тривалістю часу будівництва виробок головного напрямку. Особливістю ступінчастого розтину родовища є наявність витрат часу на підготовку до проходки сліпого ствола другого рівня з горизонту, що діє, з проведенням навколоствольного двору на горизонті переходу, а також проходки копрові частини ствола з монтажем устаткування підйому, часу власне проходки сліпого ствола другого рівня, навколоствольних дворів, протяжних горизонтальних виробок, часу дренажних робіт, часу на монтаж устаткування і інші роботи.

Час власне проходки виробок горизонту ($T_{гор}$) може бути знайдено виходячи із загального часу на розтин і будівництво горизонту другого рівня і питомої ваги в цьому часі тривалості будівництва горизонту ($k_{гор}$) $T_{гор} = T_{соб} \cdot k_{гор}$. Відомо, що для забезпечення безперебійної роботи шахти необхідне дотримання умови, при якій час розтину і будівництва нижчележачих горизонтів другого рівня розтину дорівнює часу відробки вищерозміщених горизонтів $T_o = T_{соб}$.

Швидкість проходки головного квершлягу горизонту 2-го рівня розтину ($v_{зкв}$) можна представити у вигляді:

$$v_{зкв} = \frac{W_{зкв}}{T_{гор} - \left(\frac{W_{ш}}{v_{ш}} + \frac{W_{зкв}}{v_{зкв}} + \frac{W_{з}}{v_{з}} + \frac{W_{окгл}}{v_{окгл}} + \frac{W_{окф}}{v_{окф}} \right)}, \quad (6)$$

де $W_{зкв}$, $W_{зкв}$, $W_{ш}$, $W_{з}$, $W_{окгл}$, $W_{окф}$ - об'єми робіт зі спорудження відповідно головного, вентиляційного квершлягів, штреку, зарубок, навколоствольних дворів

головного і флангового стволів; $v_{ш}$, $v_{вкв}$, $v_з$, $v_{окзл}$, $v_{окф}$ - швидкості проходки відповідно штреку, вентиляційного квершлягу; зарубок, навколоствольних дворів головного і флангового стволів.

Для оцінки співвідношення зміни швидкості проходки виробки і зміни часу будівництва горизонту введемо показник (K_{vT}), що іменується питомим коефіцієнтом приросту швидкості за часом

$$K_{vT} = v_i T_i / v_б T_б, \quad (7)$$

де v_i , $v_б$ - швидкість проходки виробки і базова швидкість; T_i , $T_б$ – відповідно тривалість спорудження горизонту і базова тривалість. Залежність швидкості проходки головного квершлягу (рис. 9) від часу будівництва горизонту може бути описана ступіневою функцією, яка, при швидкостях проходки протяжних виробок 25 м/міс. і навколоствольних дворів 250 м³/міс. має вигляд $v_{зкв} = 2 \cdot 10^8 \cdot T_{гор}^{-3,68}$ при $R^2 = 0,92$, а при швидкостях проходки протяжних виробок 50 м/міс. і навколоствольних дворів 400 м³/міс. – вигляд $v_{зкв} = 36574 \cdot T_{гор}^{-1,93}$ при $R^2 = 0,97$.

Встановлено, що залежність питомого коефіцієнта приросту швидкості проходки головного квершлягу за часом будівництва горизонту може бути відображена ступіневою функцією $K_{vT} = 82,28 \cdot T_{гор}^{-0,97}$ при $R^2 = 0,92$.

У дисертаційній роботі проведено також дослідження темпів проходки і коефіцієнтів приросту швидкості проходки для інших виробок горизонту другого рівня розтину, зокрема, вентиляційного квершлягу, штреку, навколоствольних дворів для широкого діапазону умов.

Введемо для оцінки значущості тієї або іншої виробки при будівництві горизонту, з точки зору витрат часу і темпів робіт, коефіцієнти значущості: погонажні $\omega_n = v_i / v_б$, кубажні $\omega_k = v_i S_i / v_б S_б$, де ω_n , ω_k – відповідно коефіцієнти значущості протяжної виробки горизонту за чинником швидкості, при вимірюванні в м/міс. і м³/міс.

Рис. 9. Залежність швидкості проходки головного квершлягу від часу будівництва горизонту

Аналіз швидкостей проходки протяжних виробок за порівняльних умов показує вищий рівень швидкості проходки вентиляційного квершлягу. Особливо це виявляється при великій тривалості будівництва горизонту, наприклад, 108 міс. В цьому випадку ω_n для головного квершлягу відносно до зарубок (базова швидкість) буде 2,88, а вентиляційного квершлягу - вже 3,19. В той же час швидкість головного квершлягу складає 0,9 швидкості вентиляційного. При скороченні тривалості будівництва горизонту домінування вентиляційного квершлягу буде виражено не настільки очевидно.

Залежно від тривалості будівництва горизонту ω_k як відношення швидкості головного квершлягу до швидкості вентиляційного складає від 1,81 (при тривалості 108 міс.) до 1,97 (при 36 міс.).

Можна констатувати, що при розрахунку інтенсивності спорудження виробок в м³, істотно зростає роль головного квершлягу. Крім того, при скороченні тривалості будівництва горизонту ω_k як відношення швидкості головного квершлягу до швидкості вентиляційного має тенденцію до зростання.

У загальному вигляді співвідношення швидкості проходки головного квершлягу до вентиляційного $\omega_{k\text{звк}}$, може бути описано ступіневою залежністю $\omega_{k\text{звк}} = 2,495 T^{-0,072}$ при $R^2 = 0,79$. При зіставленні швидкостей вказаних виробок ступінева залежність набере вигляду $\omega_{n\text{звк}} = 1,249 T^{0,728}$ при $R^2 = 0,79$.

П'ятий розділ дисертації присвячений аналізу експлуатаційної продуктивності засобів проходки, що дозволяє забезпечувати швидкості проведення виробок горизонту 2-го рівня розтину, які відповідають директивному часу будівництва. Для оцінки співвідношення зміни продуктивності засобів буріння, навантажування і кріплення і тривалості робіт виконано дослідження питомого

коефіцієнта приросту продуктивності відповідних параметрів за чинником часу.

Виконаємо аналіз експлуатаційної продуктивності засобів буріння, що дозволяє забезпечувати швидкості проведення головного квершлягу горизонту 2-го рівня розтину, який відповідає певному директивному часу будівництва цього горизонту. Продуктивність буріння шпурів у вибої виробки, залежно від швидкості її проходки, може бути знайдена за формулою

$$B = \frac{N_{шп}}{\frac{T'_у}{l_{ш}} - \frac{\eta \mu S}{P} - \frac{\eta W_{кр}}{K}}, \quad \text{причому} \quad T'_у = T_у - t_{зрж} - t_{всп} - \Sigma t_{пзкл} \quad (8)$$

де $N_{шп}$ – число шпурів; $T'_у$ – час прохідницького циклу, що припадає на операції буріння шпурів, навантажування породи і кріплення виробки; $l_{шп}$ – глибина шпурів; η – коефіцієнт використання шпурів (КВШ); μ – коефіцієнт надлишку перетину (КНП); $W_{кр}$ – об'єм робіт з кріплення виробки набризкбетоном; $T_у$ – загальний час прохідницького циклу; $t_{зрж}$ – час заряджання шпурів; $t_{всп}$ – сума часу на допоміжні операції; $\Sigma t_{пзкл}$ – сума часу на підготовчо-завершальні операції.

Залежність експлуатаційної продуктивності засобів буріння головного квершлягу від тривалості будівництва горизонту, наприклад, при швидкостях проходки протяжних виробок, окрім головного квершлягу, 25 м/міс. і швидкості спорудження навколоствольних дворів 250 м³/міс. при продуктивностях засобів навантажування і кріплення відповідно 15 м³/год і 15 м²/год може бути відображена ступіневою функцією $B = 5 \cdot 10^{10} \cdot T_{гор}^{-5,196}$ при $R^2 = 0,83$.

Можливі також безліч інших варіантів поєднання продуктивностей засобів буріння, навантажування і кріплення, які забезпечують дану швидкість проходки головного квершлягу, яка, в свою чергу, пов'язана з швидкостями проведення інших виробок горизонту, що в сукупності забезпечує підтримку заданої тривалості будівництва.

Для оцінки співвідношення зростання експлуатаційної продуктивності засобів буріння і зміни тривалості будівництва горизонту введемо питомий коефіцієнт (K_{BT}) приросту продуктивності буріння за чинником часу

$$K_{BT} = B_i T_i / B_0 T_0, \quad (9)$$

де T_i , T_0 – відповідно тривалість і базова тривалість спорудження горизонту. При швидкостях проходки протяжних виробок, наприклад, 25 м/міс., навколоствольних дворів 250 м³/міс. має місце вираз $K_{BT} = 2 \cdot 10^8 \cdot T_{гор}^{-4,195}$ при $R^2 = 0,76$.

При скороченні часу будівництва продуктивність засобів буріння, що відповідає необхідним для своєчасного завершення робіт темпам проходки, збільшується і тим інтенсивніше, чим більше скорочується тривалість робіт.

Аналогічно виконаний аналіз продуктивності засобів навантажування і кріплення, питомих коефіцієнтів приросту продуктивності навантажування і кріплення за чинником часу, встановлені відповідні закономірності зміни вказаних параметрів. Дослідження охопили також інші виробки горизонту другого рівня розтину, зокрема, вентиляційний квершлаг і штрек в широкому діапазоні умов.

Шостий розділ дисертації присвячений аналізу закономірностей динаміки низки організаційно-технічних параметрів в умовах зміни числа точок прикладання робіт при будівництві горизонтів другого рівня розтину і забезпеченні директивних темпів проходки виробок.

Для оцінки зміни різних організаційно-технічних параметрів введемо наступні показники, які розглянемо на прикладі переходу від однієї точки до трьох (у дисертації дослідження проведені ширше): абсолютна зміна швидкості проходки $\Delta_{vm13} = v_{m1} - v_{m3}$, де v_{m1} , v_{m3} – швидкості проходки виробки відповідно при одній і трьох точках прикладання робіт; коефіцієнт зміни швидкості $K_{vm13} = v_{m3} / v_{m1}$; абсолютна зміна продуктивності засобів буріння $\Delta_{Bm13} = B_{m1} - B_{m3}$.

У роботі також запропоновані і досліджуються пов'язані із зміною числа точок прикладання робіт такі параметри: абсолютна зміна, коефіцієнти зміни продуктивності засобів навантажування і кріплення.

Встановлено, що при переході від однієї до трьох точок прикладання робіт абсолютна зміна швидкості проходки виробки буде помітно більшою (і тим більшим, чим вище значення T_{ce}), ніж при переході від однієї точки до двох. Так, наприклад, якщо при $T_{ce} = 92,16$ значення $\Delta_{vm12} = 0,63$ м/год, то $\Delta_{vm13} = 2,52$ м/год. У разі ж $T_{ce} = 57,6$ міс. $\Delta_{vm12} = 5,2$ м/год, а $\Delta_{vm13} = 14,4$ м/год.

Залежність абсолютної зміни швидкості проходки виробок при зміні числа точок прикладання робіт при швидкостях проходки протяжних виробок 50 м/міс. і навколоствольних дворів 400 м³/міс. може бути описана ступіневою функцією

$$\Delta_{vm13} = 3 \cdot 10^8 \cdot T_{zop}^{-4,12} \text{ при } R^2 = 0,95. \quad (10)$$

При переході від однієї до трьох точок прикладання робіт коефіцієнт зміни швидкості проходки виробки буде помітно меншим (і тим меншим, чим менше значення T_{ce}), ніж при переході від однієї точки до двох. Так, наприклад, якщо при $T_{ce} = 92,16$ міс. значення $K_{vm12} = 0,92$, то $K_{vm13} = 0,68$. У разі ж $T_{ce} = 57,6$ міс. $K_{vm12} = 0,79$ м/ч, то $K_{vm13} = 0,4$. Залежність коефіцієнта зміни швидкості проходки від часу будівництва горизонту може бути описана логарифмічною функцією

$$K_{vm13} = 0,63 \ln(T_{zop}) - 2,17 \text{ при } R^2 = 0,95. \quad (11)$$

Аналіз отриманих результатів показав, що абсолютна зміна експлуатаційної продуктивності засобів буріння зменшується при зростанні тривалості будівництва. При переході до трьох точок прикладання робіт (рис. 10) залеж-

ність абсолютної зміни продуктивності засобів буріння від часу будівництва може бути описана ступіневою функцією $\Delta_{Bm13} = 4 \cdot 10^9 \cdot T_{cop}^{-4,95}$ при $R^2 = 0,92$.



Рис. 10. Динаміка Δ_{Bm13}

При зростанні часу будівництва горизонту коефіцієнт зміни експлуатаційної продуктивності засобів буріння зростає. Так, наприклад, при переході від однієї точки прикладання робіт до двох при $T_{ce} = 46,1$ міс. $K_{Bm12} = 0,32$ (тобто продуктивність засобів буріння складає 32 % рівня, що має місце при одній точці), а при $T_{ce} = 115,2$ міс. $K_{Bm12} = 0,94$ (вже 94 %).

При переході від однієї до трьох точок прикладання робіт (рис. 11) значення аналізованого показника буде у відповідних випадках нижчим.



Рис. 11. Динаміка K_{Bm13}

Коефіцієнт зміни експлуатаційної продуктивності засобів буріння, що забезпечують директивні швидкості проходки, при зміні числа точок прикладання робіт змінюється за логарифмічною залежністю від часу будівництва

$$K_{Bm13} = 0,704 \ln(T_{ce}) - 2,53 \text{ при } R^2 = 0,94. \quad (12)$$

Сьомий розділ дисертації присвячений встановленню закономірностей зміни організаційно-технічних параметрів будівництва виробок горизонтів другого рівня розтину, що дозволяють досягати мінімальних витрат на використовуване прохідницьке устаткування.

Вартість будівництва горизонту другого рівня розтину може бути визначена як функція суми добутоків тривалості роботи засобів буріння, навантажування і кріплення на вартість одиниці часу їх функціонування, в умовах забезпечення в сукупності підтримки директивної швидкості проходки виробки даного типу у поєднанні з аналогічними добутками для інших типів виробок, що відповідають їх директивним швидкостям проходки.

Вказане в сукупності забезпечує будівництво горизонту другого рівня розтину в директивні терміни, що дозволяє знаходити варіанти поєднання швидкостей проходки різних виробок комплексу і експлуатаційних продуктивностей засобів буріння, навантажування і кріплення, що відповідають цим швидкостям та досягати мінімальних витрат на прохідницьке устаткування, що використовується. Тоді оптимальне за вартістю експлуатації використання прохідницького устаткування з певною продуктивністю може бути визначене за допомогою виразу

$$C_{нгор} = (C_B^{зкв} t_B + C_P^{зкв} t_P + C_K^{зкв} t_K) \frac{W_{зкв} n_{цк}}{v_{зкв}} + (C_B^{ш} t_B + C_P^{ш} t_P + C_K^{ш} t_K) \frac{W_{ш} n_{цк}}{v_{ш}} + \quad (13)$$

$$+ (C_B^{вкв} t_B + C_P^{вкв} t_P + C_K^{вкв} t_K) \frac{W_{вкв} n_{цк}}{v_{вкв}} + (C_B^3 t_B + C_P^3 t_P + C_K^3 t_K) \frac{W_3 n_{цк}}{v_3} \rightarrow \min$$

де $C_{нгор}$ – вартість експлуатації прохідницького устаткування при будівництві горизонту 2-го рівня; $C_B^{зкв}$, $C_P^{зкв}$, $C_K^{зкв}$ – вартість 1 г. експлуатації засобів буріння певної продуктивності при будівництві відповідно головного квершлягу, штреку, вентиляційного квершлягу, зарубок; $C_B^{ш}$, $C_P^{ш}$, $C_K^{ш}$ – вартість 1 г. експлуатації засобів навантажування певної продуктивності при будівництві аналогічних виробок; $C_B^{вкв}$, $C_P^{вкв}$, $C_K^{вкв}$ – вартість 1 год експлуатації засобів кріплення певної продуктивності при будівництві аналогічних виробок; t_B , t_P , t_K – час експлуатації відповідно засобів буріння, навантажування і кріплення певної продуктивності, ч; $n_{цк}$ – число прохідницьких циклів в місяць.

Встановлено, що мінімальні витрати ($C_{нз. min}$) є ступіневою функцією часу будівництва горизонту $C_{нз. min} = 205323 T_{ce}^{-0,96}$ при $R^2 = 0,93$.

При зростанні тривалості робіт з будівництва горизонту величина мінімальних витрат зменшується, що обумовлене можливістю, в цьому випад-

ку, більш широкого використання прохідницького устаткування, що має меншу продуктивність, але і менші витрати, пов'язані з його експлуатацією.

У загальному вигляді залежність абсолютної зміни витрат на експлуатацію устаткування при проходці виробок горизонту від часу робіт (T_{ngop}) можна описати поліноміальним виразом (рис. 12)

$$\Delta C_{ngop} = -23,528T^2 + 1560,3T - 16162 \text{ при } R^2 = 0,96 \quad (14)$$



Рис. 12. Динаміка $\Delta C_{ngop} = C_{i.ngop} - C_{j.ngop}$

Мінімальні витрати ($C_{ng.min}$) на експлуатацію прохідницького устаткування при будівництві комплексу виробок горизонту при фіксованій тривалості будівництва горизонту зростають із збільшенням коефіцієнта міцності порід f . Встановлено, що мінімальні витрати на експлуатацію прохідницького устаткування є лінійною функцією f . При тривалості будівництва 40 міс. має місце $C_{ng.min} = 264,17f + 2819,8$ при $R^2 = 0,96$.

Абсолютна різниця мінімальних витрат ($\Delta C_{ng.min}$) на експлуатацію прохідницького устаткування при будівництві комплексу виробок горизонту при різних (20 і 40 міс.) тривалості будівництва горизонту зростає із збільшенням коефіцієнта міцності порід. У загальному вигляді $\Delta C_{ng.min}$ при різній міцності порід може бути описано виразом $\Delta C_{ng.min} = 840f - 7120,7$ при $R^2 = 0,95$.

Введемо коефіцієнт зміни витрат $k_{\Delta C} = \Delta C_{ng.min. i} / \Delta C_{ng.min. баз}$, що є відношенням абсолютної різниці мінімальної вартості за даних умов до відношення абсолютної різниці мінімальної вартості за базових умов (в даному випадку при $f = 8$). Тоді можна встановити залежність $k_{\Delta C}$ від міцності порід. Має місце лінійний вираз $k_{\Delta C} = 1,52f - 12,88$ при $R^2 = 0,95$.

Абсолютна величина різниці мінімальної вартості експлуатації устаткування за звичайних умов і в разі застосування проходки з вищими параметрами

БПР із збільшенням тривалості будівництва зменшується. Вона є ступіневою функцією часу будівництва горизонту $\Delta C_{ng.min} = 182455T - 1,2218$ при $R^2 = 0,91$.

Відношення мінімальної вартості експлуатації устаткування в разі використання проходки з вищими параметрами БПР і за звичайних умов характеризується для різних випадків величинами 0,582-0,677. Тобто більш раціональне використання параметрів БПР дозволяє як понизити число шпурів при проходці виробок, підвищити швидкості проходки, так і використовувати в більш широкому діапазоні прохідницьке устаткування з меншими витратами на експлуатацію.

При зміні числа точок прикладання робіт доцільно визначити, якою мірою зміна часу робіт, з розрахунку на точку, а, отже, і необхідних швидкостей проходки виробок, дозволить застосовувати устаткування із зміненими параметрами продуктивності і вартості його експлуатації. У зв'язку з різними об'ємами робіт по проходці виробок, площею їх перетину при зміні числа точок прикладання робіт доцільно ввести наступні показники: питомі витрати на експлуатацію устаткування, тобто витрати, що відносяться до 1 м^3 об'єму виробок горизонту $C_{y\delta} = C_{ngop} / W_{ngop}$, де $C_{y\delta}$ - питомі витрати на експлуатацію устаткування; C_{ngop} - витрати на експлуатацію устаткування, розраховані для проходки всього горизонту; W_{ngop} - об'єм проходки всіх виробок горизонту.

Зміна питомих витрат на експлуатацію устаткування при зміні числа точок прикладання робіт, що визначається: при переході від однієї точки до двох $k_{y\delta m12} = C_{y\delta m2} / C_{y\delta m1}$, від однієї до трьох $k_{y\delta m13} = C_{y\delta m3} / C_{y\delta m1}$, де $k_{y\delta m12}$, $k_{y\delta m13}$ - коефіцієнти зміни питомих витрат на експлуатацію устаткування під час переходу відповідно від однієї до двох і від однієї до трьох точок прикладання робіт, $C_{y\delta m1}$, $C_{y\delta m2}$, $C_{y\delta m3}$ - питомі витрати на експлуатацію устаткування відповідно при одній, двох, трьох точках прикладання робіт.

Математичні залежності різних параметрів витрат, пов'язаних зі зміною числа точок прикладання (т. прикл.) робіт представлені виразами

$$C_{ng.min} = 10^6 T^{-1,31} \text{ при } R^2 = 0,9 \text{ при 1 т. прикл. і } C_{ng.min} = 9468,5 T^{-0,28} \\ \text{при } R^2 = 0,93 \text{ при 3 т. прикл.}, \quad (15)$$

$$C_{y\delta} = -24,02 T + 1466,7 \text{ при } R^2 = 0,94 \text{ при 1 т. прикл. і } C_{y\delta} = -2,56 T + 392,8 \\ \text{при } R^2 = 0,87 \text{ при 3 т. прикл.} \quad (16)$$

Таким, чином, в ході дослідження встановлено, що при зміні числа точок прикладання робіт для спорудження горизонту другого рівня розтину має місце наступне:

- мінімальні витрати при трьох точках прикладання робіт, як і при одній точці, є ступіневою функцією часу будівництва;
- із збільшенням тривалості будівництва витрати на експлуатацію устаткування зменшуються;
- питомі мінімальні витрати на експлуатацію устаткування є лінійною функцією часу будівництва;

- із збільшенням тривалості будівництва величина питомих витрат зменшується;

- при трьох точках питомі мінімальні витрати знижуються менш інтенсивно, ніж збільшується час будівництва горизонту;

- зміна питомих витрат на експлуатацію устаткування при зміні числа точок прикладання робіт лінійно залежить від часу будівництва;

- при зміні числа точок прикладання робіт спостерігається зниження показника k_{ydm3l} у міру зростання часу будівництва.

Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів роботи у ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» при будівництві горизонтів 1390 м ш. «Родіна» і 1350 м ш. «Гвардійська» становить 430 тис. грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов Криворізького басейну закономірностей, отримала подальший розвиток методологія проектування підземних гірничих підприємств та вирішена актуальна науково-технічна проблема оптимізації будівництва залізорудних шахт на великих глибинах розробки в умовах реконструкції при використанні другого рівня розтину родовища.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному.

1. Аналіз запасів багатих залізних руд, що знаходяться в полях шахт Криворізького басейну, які діють в даний час, в діапазоні глибин 1500-2500 м, свідчить про наявність сировини на рівні 730 млрд. т, а її вартість може бути оцінена величиною більше 77 млрд. дол.

2. Встановлені залежності швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт від міцності гірських порід, в яких здійснюється будівництво. В горизонтальних виробках збільшення f в 2 рази відносно до базового рівня призводить до зниження v в середньому в 1,64 рази. У загальному вигляді залежність швидкості проходки від коефіцієнта міцності порід може бути відображена експоненціальною функцією.

3. Встановлено, що залежності швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт від продуктивності засобів буріння шпурів і навантажування породи мають логарифмічний характер.

4. В горизонтальних виробках зростання експлуатаційної продуктивності засобів буріння в 2 рази призводить до зростання швидкості проходки виробки для різних випадків в 1,5-1,72 разу. Збільшення вдвічі продуктивності засобів навантажування призводить до зростання швидкості проходки виробки в 1,17 рази. Зростання продуктивності засобів буріння та навантажування в 3 рази призводить до зростання швидкості проходки виробки відповідно в 2,1-2,23 і 1,24 рази.

5. Встановлено, що для темпів проведення стволів велике значення мають продуктивність засобів буріння, особливо в міцних породах, і навантажування.

Вплив останнього чинника в цьому випадку істотно вище, ніж в горизонтальних виробках.

6. Встановлені залежності зміни швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок і стволів шахт від впливу ряду чинників БПР, а також при використанні контурного підривання.

7. Для умов глибоких шахт отримані залежності, що відображають вплив глибини шахти на швидкість буріння шпурів і експлуатаційну продуктивність бурового устаткування.

8. Знайдені залежності експлуатаційної продуктивності засобів буріння шпурів, прибирання породи і кріплення виробок для вертикальних стволів шахт і протяжних горизонтальних виробок як чинників, що забезпечують, у взаємодії, певні темпи проведення виробок, які відповідають директивному часу реконструкції шахти при використанні другого рівня розтину.

9. Встановлена закономірність приросту швидкості проходки виробок, а також відповідних цій швидкості продуктивностей засобів буріння, навантажування і кріплення за чинником часу спорудження об'єкту.

10. Встановлена значущість різних типів виробок на підставі запропонованих коефіцієнтів значущості по необхідній швидкості проходки виробки або параметрах продуктивності засобів буріння, навантажування і кріплення, що забезпечують необхідну величину швидкості при різній інтенсивності видобутку корисної копалини.

11. Запропоновані нові схеми ступінчастого розтину горизонтів глибоких шахт за допомогою сліпих капітальних стволів. У таких схемах, на відміну від тих, що існують, реалізована можливість ведення робіт з розтину горизонту другого рівня за допомогою безлічі точок прикладання робіт; розглядаються також схеми, доцільні для використання в умовах шахт з великою протяжністю рудного тіла.

12. На основі запропонованих організаційно-технічних параметрів, знайдені залежності, що характеризують будівництво горизонтів другого рівня розтину при різному числі напрямів робіт.

13. За допомогою розроблених в дисертації моделі і комп'ютерної програми отримані поєднання швидкостей проходки комплексу різних виробок горизонтів другого рівня розтину родовища, будівництва таких горизонтів і експлуатаційних продуктивностей засобів буріння, що забезпечують певний час, навантажування і кріплення, що відповідають цим швидкостям і дозволяють досягати мінімальних витрат на прохідницьке устаткування.

14. Встановлені залежності, що відображають вплив міцності порід і параметрів буропідривних робіт на мінімальні витрати на експлуатацію прохідницького устаткування і організаційно-технологічні параметри проходки.

15. Результати досліджень реалізовані у ДП «ДП «Кривбасспроєкт» при проектуванні будівництва глибоких шахт в Криворізькому басейні, у ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» при будівництві горизонтів 1390 м ш. «Родіна» і 1350 м ш. «Гвардійська» з очікуваним економічним ефектом 430 тис. грн., у ПАТ «ДХК «Спецшахтобуріння» при проектуванні глибоких шахт

і проходки вертикальних виробок в умовах Донбасу та на інших підприємствах.

Результати роботи і положення дисертації відображені у 48 працях, основними з яких є наступні:

1. Харин С.А. Определение технологических параметров при строительстве протяженных выработок горизонтов / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2006. - № 2. – С. 22-24.

2. Харин С.А. Горная промышленность Кривбасса: обретение экономической стабильности в изменяющихся условиях / Ю.П. Капленко, В.А. Колосов, С.А. Харин // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - № 4. – С.91-94.

3. Харин С.А. Исследование влияния крепости пород на скорость проходки горизонтальных выработок / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 1. – С. 6-9.

4. Харин С.А. Оценка влияния производительности погрузочного оборудования на скорость проходки протяженных выработок горизонта / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 2. – С. 8-11.

5. Харин С.А. Уровневый анализ темпов сооружения протяженных горизонтальных выработок в крепких породах / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 3. – С. 3-5.

6. Харин С.А. Анализ запасов криворожских железных руд на глубинах 1500-2500 м и возможности их разработки / С.А. Харин, В.В. Коваленко // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - № 2. – С. 89-92.

7. Харин С.А. Сравнительная оценка влияния различных факторов на скорость проходки протяженных горизонтальных выработок / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 4. – С. 3-5.

8. Харин С.А. Исследование времени операций в горизонтальных выработках / С.А. Харин // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2009. – № 1. – С. 3-8.

9. Харин С.А. Оценка влияния контурного взрывания на скорость проходки горизонтальных выработок / С.А. Харин, В.В. Коваленко // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 8. – С. 3-6.

10. Харин С.А. Исследование влияния производительности бурового оборудования на скорость проходки стволов / А.Н. Роечко, С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 9. – С. 3-6.

11. Харин С.А. Исследование структуры затрат времени проходческого цикла в протяженных горизонтальных выработках / С.А. Харин, В.В. Коваленко // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - № 4. – С. 82-85.

12. Харин С.А. Анализ зависимости скорости проходки стволов от производительности средств погрузки породы / А.Н. Роечко, С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. - № 10. – С. 3-6.

13. Харин С.А. Исследование влияния контурного взрывания на темпы проходки стволов / А.Н. Роечко, С.А. Харин // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2009. – Вып. 93. – С. 69-72.

14. Харин С.А. Исследование воздействия структуры горных пород и параметров заряда на скорость проведения горизонтальных выработок / А.Н. Роечко, С.А. Харин // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2009. – Вип. 24. – С. 39-42.

15. Харин С.А. Исследование структуры проходческого цикла в условиях его фиксированного времени при сооружении стволов / А.Н. Роечко, С.А. Харин, В.В. Коваленко // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 1. – С. 3-5.

16. Харин С.А. Исследование темпов строительства и удельного веса времени проходческих операций в стволах средней величины / А.Н. Роечко, В.В. Коваленко, С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 2. – С. 3-6.

17. Харин С.А. Влияние крепости пород на соотношение времени операций проходческого цикла при строительстве стволов / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 3. – С. 3-5.

18. Харин С.А. Уровневый анализ скорости проходки шахтных стволов по производительности погрузочного оборудования / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 4. – С. 11-14.

19. Харин С.А. Оценка влияния факторов буровзрывных работ на темпы проведения стволов / С.А. Харин, В.В. Коваленко // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 5. – С. 28-31.

20. Харин С.А. Исследование скорости проходки главного квершлага горизонта второй ступени вскрытия / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 9-10. – С. 51-55.

21. Харин С.А. Исследование производительности средств бурения при проходке главного квершлага горизонта второй ступени вскрытия / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 11-12. – Вип. 27. – С. 35-39.

22. Харин С.А. Оптимизация строительства шахт на больших глубинах / С.А. Харин // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2011. – С. 57-59.

23. Харин С.А. Схемы вскрытия глубоких горизонтов шахт Кривбасса / С.А. Харин, С.В. Борщевский, В.Ф. Формос // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – № 13. – С. 151-156.

24. Харин С.А. Анализ производительности средств проходки при изменении числа направлений работ по строительству горизонтов / С.А. Харин // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2011. – Вип. 28. – С. 250-253.

25. Харин С.А. Сравнительный анализ организационно-технических параметров при строительстве главного квершлага / С.А. Харин // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ. – 2011. – Вип. 29. – С. 56-59.

26. Харин С.А. Факторы влияния на темпы проведения горизонтальных выработок / С.А. Харин // Міжнародна науково-технічна конференція «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку» 12-16 травня 2009 р. – Кривий Ріг: – 2009. – С. 23-24.

27. Харин С.А. Оценка влияния фактора «бурение» на темпы проведения стволов / С.А. Харин // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Форум гірників-2009». – Дніпропетровськ: НГУ. – 2009. – С. 125-129.

28. Kharin S.A. The value of factor the «drilling» for providing of levels speeds of driving of mine barrels / S.A. Kharin // Materiály V Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2010» 27 ledna - 05 února 2010 roku. Díl 16. Technické vědy Doprava. Praha Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 2010. – S. 51-53.

29. Харин С.А. Разработка организационно-технических параметров для сравнения строительства горизонтов второй ступени вскрытия при различном числе направлений работ / С.А. Харин // 5-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Перспективы освоения подземного пространства», 7-8 апреля 2011 г. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2011. – С. 83-85.

30. Харин С.А. Оценка воздействия числа точек приложения проходческих работ на скорости сооружения выработок и производительность оборудования / С.А. Харин // «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» 25-28 травня 2011 р. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – С. 21.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих в співавторстві: [2] – аналіз розвитку залізорудної промисловості; [6] – аналіз запасів залізних руд, в діапазоні глибин 1500-2500 м, що знаходяться в полях діючих шахт; [9] – аналітична оцінка впливу контурної технології буровибухових робіт на темпи спорудження виробок; [10] – встановлення закономірностей впливу експлуатаційної продуктивності бурового обладнання на швидкість спорудження стволів; [11-16, 19] – постановка задачі, аналітичні дослідження, обробка результатів та встановлення закономірностей; [23] – аналіз схем розкриття глибоких горизонтів шахт Кривбасу.

АНОТАЦІЯ

Харін С.А. Розвиток наукових основ проектування будівництва залізорудних шахт на великих глибинах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступіня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.04 «Шахтне і підземне будівництво». – ДВНЗ «Національний гірничий університет». – Дніпропетровськ, 2012.

Робота присвячена розвитку організаційно-технологічних основ проектування будівництва залізорудних шахт на великих глибинах для забезпечення їх безперервного ефективного функціонування в умовах реконструкції.

Знайдені залежності експлуатаційної продуктивності засобів буріння шпурів, навантажування породи і кріплення для вертикальних стволів шахт і протяжних горизонтальних виробок як чинників, що забезпечують, у взаємодії, певні темпи проведення виробок, які відповідають директивному часу реконструкції шахти при використанні другого ступеня розкриття.

Встановлені залежності, що характеризують будівництво горизонтів другого ступеня розкриття при різному числі напрямів робіт.

За допомогою розроблених в дисертації моделі і комп'ютерної програми отримані поєднання швидкостей проходки комплексу різних виробок горизонтів другого ступеня розкриття родовища, що забезпечують визначений час будівництва таких горизонтів та експлуатаційних продуктивностей засобів буріння, навантажування і кріплення, які відповідають вказаним швидкостям і дозволяють досягати мінімальних витрат на прохідницьке обладнання.

На підставі результатів досліджень розроблений комплекс методів управління організаційно-технологічними параметрами будівництва шахт на великих глибинах при ступінчастому розтині родовища.

Ключові слова: проектування, горизонтальні виробки, шахтний ствол, швидкість, будівництво, схема розтину, продуктивність, час, устаткування, буріння, навантажування, кріплення.

АННОТАЦИЯ

Харин С.А. Развитие научных основ проектирования строительства железорудных шахт на больших глубинах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.04 «Шахтное и подземное строительство». – ГВУЗ «Национальный горный университет». – Днепропетровск, 2012.

Работа посвящена развитию организационно-технологических основ проектирования строительства железорудных шахт на больших глубинах для обеспечения их непрерывного эффективного функционирования в условиях реконструкции.

Анализ запасов богатых железных руд, находящихся в полях действующих в настоящее время шахт Криворожского бассейна, в диапазоне глубин 1500-2500 м составляет порядка 730 млн. т, а их стоимость в нынешних ценах может быть оценена величиной более 77 млрд. долл.

В диссертации установлены зависимости скорости проходки v протяженных горизонтальных выработок и стволов шахт от крепости горных пород f , в которых осуществляется строительство. Показано, например, что в горизонтальных выработках увеличение f в 2 раза по отношению к базовому уровню приводит к снижению v в среднем в 1,64 раза. В общем виде зависимость скорости проходки от коэффициента крепости пород может быть отражена с наибольшей достоверностью экспоненциальной функцией.

Получены зависимости скорости проходки протяженных горизонтальных выработок и стволов шахт от производительности средств бурения шпуров и погрузки породы, которые носят логарифмический характер.

Отмечено, что в горизонтальных выработках возрастание в 2 раза эксплуатационной производительности средств бурения приводит к росту скорости проходки выработки для различных случаев в 1,5-1,72 раза. Увеличение в 2 раза производительности средств погрузки приводит к росту скорости проходки выработки в 1,17 раза. Возрастание в 3 раза производительности средств бурения приводит к росту скорости проходки выработки в 2,1-2,23 раза. Увеличение в 3 раза производительности средств погрузки приводит к росту скорости проходки выработки в 1,24 раза.

Установлено, что для темпов проведения стволов весьма большое значение имеют производительность средств бурения, особенно в крепких породах, и средств погрузки. Влияние последнего фактора в этом случае существенно выше, чем в горизонтальных выработках.

Исследовано изменение скорости проходки протяженных горизонтальных выработок и стволов шахт от влияния ряда факторов БВР, а также при применении контурного взрывания.

Для условий глубоких шахт получены зависимости, отражающие влияние глубины шахты на скорость бурения шпуров и эксплуатационную производительность бурового оборудования.

В результате проведенных исследований найдены зависимости эксплуатационной производительности средств бурения шпуров, уборки породы и крепления выработок для вертикальных стволов шахт и протяженных горизонтальных выработок как факторов, обеспечивающих во взаимодействии, определенные темпы проведения выработок, отвечающие директивному времени реконструкции шахты при использовании второй ступени вскрытия.

На основе системы предложенных коэффициентов, исследована интенсивность прироста скорости проходки выработок, а также соответствующих этой скорости производительностей бурения, погрузки и крепления по фактору времени сооружения объекта.

Установлена значимость различных типов выработок на основании предложенных коэффициентов значимости по требуемой скорости проходки выработки или параметров производительности средств бурения, погрузки и крепления, обеспечивающих данную величину скорости при различной интенсивности добычи полезного ископаемого.

Получили дальнейшее развитие схемы ступенчатого вскрытия горизонтов глубоких шахт с помощью слепых капитальных стволов. В предложенных в диссертационной работе новых схемах, в отличие от существующих, реализована возможность ведения работ по вскрытию горизонта второй ступени с помощью множества точек приложения работ; рассматриваются также схемы, целесообразные для применения в условиях шахт с большой протяженностью рудного тела по простиранию.

В работе, на основе предложенных организационно-технических параметров, найдены зависимости, характеризующие строительство горизонтов второй ступени вскрытия при различном числе направлений работ.

С помощью разработанных в диссертации модели и компьютерной программы получены массивы сочетания скоростей проходки комплекса различных выработок горизонтов второй ступени вскрытия месторождения, обеспечивающие определенное время строительства таких горизонтов и эксплуатационных производительностей средств бурения, погрузки и крепления, отвечающие этим скоростям и позволяющие достигать минимальных затрат на эксплуатацию проходческого оборудования.

Получены выражения, отражающие влияние крепости пород на минимальные затраты на эксплуатацию проходческого оборудования и организационно-технологические параметры проходки. В результате исследований опре-

делены зависимости, характеризующие влияние параметров буровзрывных работ на минимальные затраты на эксплуатацию оборудования и организационно-технологические параметры проходки.

На основании результатов исследований разработан комплекс методов управления организационно-технологическими параметрами строительства шахт на больших глубинах при ступенчатом вскрытии месторождения.

Ключевые слова: проектирование, горизонтальная выработка, шахтный ствол, скорость, строительство, схема вскрытия, производительность, время, оборудование, бурение, погрузка, крепление.

ABSTRACT

Kharin S.A. Scientific basis development of deep iron ore shaft sinking designing. – As a manuscript.

Thesis for a Doctor's Degree of Engineering, Speciality 05.15.04 "Shaft Sinking and Underground Mining". – State Higher Educational Institution "National Mining University". - Dnipropetrovs'k, 2012.

The research deals with the organizational and technological base development of deep iron ore shaft sinking designing in order to ensure their continuous effective functioning under reconstruction conditions.

The operational productivity dependences of blasthole drilling, refuse disposal and excavation support means for vertical shafts and extended drifts were found, they being the factors ensuring in their combination certain driving rates in order to meet the reconstruction scheduled time in case of the second opening stage.

The dependences characterizing horizon construction of the second opening stage in case of different number of operation directions were found.

With the help of the developed model and computer programme some rate combinations of sinking a complex of different drives of the second opening stage were obtained ensuring a certain time period of constructing such horizons and operational productivity of drilling, loading and excavation support means and enabling to minimize the driving equipment operating costs.

On the basis of the research a complex of management methods concerning the organizational and technological parameters of deep shaft sinking in case of stepwise opening was developed.

Key words: designing, a drive, a shaft, rate, shaft sinking, an opening scheme, productivity, a time period, equipment, drilling, loading, excavation support.