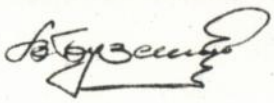
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА ГІРНИЧА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

БУЗИЛО Володимир Іванович



УДК 622.2(075)

ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПНЕВМОКОНСТРУКЦІЙ ПІД ЧАС СПОРУДЖЕННЯ СТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ В СЛАБКИХ ПОРОДАХ

Спеціальність:
05.15.04 - "Шахтне та підземне будівництво"

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ - 1997

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00737639 (Z)
АВ 29.020

...укопис
...гірничій академії України

Науковий консультант:
доктор технічних наук, професор
зав.каф. вищої математики
Національної гірничої академії України, **НОВІКОВА Людмила Василівна**

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
зав.каф. основ та фундаментів
Придніпровської державної академії
будівництва та архітектури **ШВЕЦЬ Віктор Борисович**

доктор технічних наук, професор
зав.відділом управління динамічними
проявленнями гірського тиску
Інституту геотехнічної механіки,
НАН України **ЗОРІН Андрій Микитович**

доктор технічних наук, професор
зав. лабораторією фізичного та
математичного моделювання незворотних
процесів Донецького державного
технічного університету **НАЗИМКО Віктор Вікторович**

Провідна установа - ГОАО"Днепрогипрошахт"

Захист відбудеться "22" грудня 1997 г.
о "14" г на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 03.06.03 по захисту дисертацій при Національній гірничій академії України (320027, м. Дніпропетровськ-27, просп. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національної гірничої академії України (320027, м. Дніпропетровськ-27, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий "22" листопада 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
д-р техн. наук, с.н.с. А.М.Роєнко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Технічний прогрес у будівництві станцій метрополітенів пов'язаний з удосконаленням технології прохідницьких робіт, для яких характерна велика трудомісткість і які потребують чималої ручної праці. Наприклад, під час будівництва односклепінних та трисклепінних станцій породу від масиву відокремлюють, як правило, відбійними молотками. Вручну поперечними розпорами та дерев'яними затяжками за кожним циклом кріпляться покрівля та забій виробки. Окрім того, при проведенні виробки між двома спорудженими тунелями в процесі будівництва трисклепінної станції в навколишніх породах відбувається перерозподіл напруг, що викликає деформації обробок бокових тунелів і порушення гідроізоляції у стиках тюбінгів. Для запобігання цих негативних явищ у бокових тунелях встановлюються тимчасові дерев'яні кріплення, однак вони не витримують гірського тиску, що виникає.

Становище ускладнюється ще й тим, що операції проведення і кріплення покрівлі та забою виробок у слабких породах традиційними технічними засобами механізації не піддаються.

У Національній гірничій академії України розробляються принципово нові технічні засоби, що дозволяють якісно змінити виробничий процес. Це, наприклад, пневматичні конструкції, основні несучі елементи яких - м'які оболонки. Пневматичні конструкції, з їх специфічними властивостями, дозволяють механізувати процеси, які виконуються зараз вручну, а також створювати принципово нові технології підземних гірничих робіт.

Для визначення раціональних параметрів створюваних конструкцій, зокрема, механізованих пневматичних тимчасових кріплень, які використовують на будівництві одно- та трисклепінних станцій метрополітену в слабких глинах, необхідно мати ефективні розрахункові алгоритми, в яких відбивалися б реальні властивості порід, геометрія областей масиву (що розглядаються) та конструктивні особливості досліджуваних об'єктів.

Нині тимчасові кріплення розраховуються, в основному, на

задане навантаження, виходячи з експериментальних даних або нормативних рекомендацій, які не можуть охопити всю різноманітність гірничо-геологічних умов та гірничотехнічних ситуацій. До того ж, існуючі методи розрахунку діючого навантаження та відповідних параметрів кріплення не враховують таких важливих аспектів геомеханічної поведінки масиву, як тривимірність напружено-деформованого стану (НДС) порід поблизу забою та його зміну у міру проходження виробки. З цих причин технічні рішення по підтриманню покрівлі та забою наявних виробок виявляються малоефективними.

Практикою висувається необхідність створення алгоритму рішення контактної задачі для системи "порода - обробка - тимчасове кріплення" з урахуванням впливу забою виробки, що проводиться..

Отже, розроблення технологій, які передбачають механізацію проведення і кріплення виробок під час будівництва станцій метрополітену в слабких породах та опрацювання розрахункових алгоритмів оцінки НДС навколо підкріплених виробок у зоні ведення прохідницьких робіт як теоретичної бази для проектування - актуальна наукова і технічна проблема підземного будівництва. Її вирішенню і присвячена дисертаційна робота.

Дисертаційна робота виконана відповідно до програми Мінтрансбуду "Інтенсифікація 90" за темою "Створення конструкцій пневматичного кріплення з м'яких оболонок для підвищення ефективності та безпеки проведення виробок Ленінградського метрополітену", державної наково-технічної програми України "Экологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології" за темою "Опрацювання, виготовлення та випробування техніки і технології проведення виробок у слабких породах на основі створення комплексу устаткування для механізації процесу відокремлення породи від масиву, кріплення покрівлі та забою, які підвищують продуктивність праці у 2-3 рази і безпеку робіт", а також згідно з програмою державної корпорації "Укрметротунельбуд" за темою "Дослідження гірського тиску навколо виробок трисклепінної станції Київського метрополітену, обгрунтування раціональної схеми їх проведення та визначення параметрів кріплення підсилення, що забезпечує мінімальну деформацію обробки бокових тунелів при проведенні середньої виробки".

Мета роботи - геомеханічне обгрунтування технологій проведення виробок, які забезпечують механізацію процесів відокремлення породи від масиву та кріплення покрівлі і забою при спорудженні односклепінних та трисклепінних станцій метрополітену в слабких породах.

Ідея роботи - у використанні специфічних властивостей пневматичних конструкцій з м'яких оболонок для створення нових технологій проведення виробок у слабких породах.

Задачі дослідження:

- вивчення фізико-механічних властивостей спондилової і протерозойської глин та розробка на їх основі моделі деформування і руйнування порід навкого виробок споруджуваних станцій метрополітенів, яка адекватно відбиває реальні гірничо-геологічні умови;

- обгрунтування розрахункових схем навантаження досліджуваних областей масиву, які відбивають специфіку будівництва одно- та трисклепінних станцій метрополітену;

- створення розрахунково-теоретичної моделі взаємодії слабких порід з обробками для визначення тривимірного напружено-деформованого стану масиву навколо забою виробки, що проходить між боковими тунелями;

- розробка розрахунково-теоретичної моделі спільного деформування системи " порода - обробка - тимчасове пневмокріплення" для визначення епюри навантаження тимчасового кріплення з урахуванням реологічних властивостей породи та перерозподілу напруг на різних стадіях будівництва станцій метрополітену;

- встановлення найхарактерніших закономірностей взаємодії масиву з пневмоконструкціями та розробка практичних рекомендацій по механізованому проведенню і кріпленню виробок у процесі спорудження станцій метрополітенів у слабких породах.

Методи досліджень. Методичну основу досліджень складає комплексний підхід: аналіз та узагальнення літературних даних, лабораторне, натурне і аналітичне вивчення напружено-деформованого стану породного масиву, що вміщує взаємовпливові виробки, в тому числі забій однієї з них.

Лабораторні дослідження включають визначення фізико-механіч-

них характеристик глини та оцінку несучої здатності проектованих пневмоконструкцій, а промислові випробування - перевірку працездатності та ефективності розроблених способів проведення і кріплення виробок у слабких породах.

В аналітичних дослідженнях використані положення механіки підземних споруд і чисельні методи механіки суцільного середовища.

Наукові положення, що захищаються у дисертації:

- при спорудженні станцій метрополітену в слабких породах найбільш ефективні і безпечні технології проведення виробок із застосуванням пневмокріплень, які забезпечують перекриття покрівлі та забою на 70 . . . 90% і дозволяють створювати заданий початковий розпір;

- напружено-деформований стан масиву слабких порід адекватно описується чисельними методами геомеханіки на основі моделі пружного середовища з лінійно-спадковою повзучістю (α=0,7; δ=0,0076 $c^{\alpha-1}$), що дає можливість вирішувати практично важливі задачі визначення раціональних параметрів технологій проведення і кріплення виробок у протерозойських та спондилових глинах;

- розв'язком геомеханічної задачі в тривимірній постановці встановлено, що протяжність зони граничного напруженого стану слабких порід покрівлі вздовж бокових тунелів при проведенні середньої виробки без пілот-тунелю вдвічі, а переміщення їх обробок у бік виробки, що проводиться, вчетверо менше, ніж з пілот-тунелем.

Це дозволяє рекомендувати під час будівництва трисклепінних станцій метрополітену у спондилових глинах проведення середньої виробки одразу на повний переріз за умови установлення в бокових тунелях тимчасового механізованого пневмокріплення підсилення та підтримання забою анкерно-пневматичним кріпленням, вилучивши тим самим трудомісткі операції з монтажу-демонтажу тюбінгової обробки пілот-тунелю і затяжки забою деревом;

- за допомогою вже згаданої розрахунково-теоретичної моделі спільного деформування системи "порода - обробка - тимчасове пневмокріплення" встановлено, що використання пневмокріплення з максимальним відпором P = 0,1 МПа у породах, коефіцієнт міцності

яких за шкалою М.М.Протодьяконова $f = 3 \ldots 4$, допустимо на глибинах $H = 750 \ldots 1000$ м, у породах з коефіцієнтом міцності $f = 1 \ldots 2$ - на глибинах $H = 250 \ldots 500$ м, а в слабких породах (глинах з коефіцієнтом міцності $f = 0{,}1$) - на глибині H до 50 м.

Під час будівництва станцій метрополітену в спондилових глинах на глибині $H = 80$ м ефективним є пневмокріплення з максимальним відпором P, який дорівнює 0,3 МПа.

Вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується комплексним методом досліджень і підтверджується задовільним збігом розрахункових значень зміщень та напруг у досліджуваній області масиву з виміряними в натурних умовах (відхилення не перевищують 26%), а також практикою ефективного використання розроблених пневмоконструкцій під час будівництва односклепінної та трисклепінної станцій метрополітенів Санкт-Петербурга та Києва.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- на основі методу граничних елементів розроблена математична розрахунково-теоретична модель взаємодії слабких порід з обробками виробок із взаємним впливом, що дозволяє аналізувати тривимірний напружено-деформований стан геометрично складної області породного масиву разом із забоєм середньої виробки.

Розроблена модель використана для визначення раціональної довжини анкера анкерно-пневматичного кріплення забою середньої виробки, а також місця установлення та раціональної довжини тимчасового пневмокріплення підсилення бокових тунелів стосовно до технології будівництва трисклепінної станції метрополітену у спондиловій глині;

- у термінах методу граничних елементів сформульована і розв'язана плоска контактна задача геомеханіки для системи "порода - обробка - тимчасове пневмокріплення". Одержане рішення відрізняється від відомих обліком взаємного впливу близько розташованих виробок великого діаметра, а також обліком через змінні пружні модулі, фактора часу, що дозволяє оцінювати напружено-деформований стан породного масиву на різних стадіях будівництва трисклепінної станції метрополітену в спондиловій глині і визначати

раціональне значення відпору тимчасового пневмокріплення підсилення бокових тунелів, що відповідає епюрі навантаження у розглянутих гірничо-геологічних умовах;

- на основі вирішення контактної задачі геомеханіки для системи " порода - обробка - тимчасове пневмокріплення" виявлена нелінійна залежність відпору пневмокріплення підсилення бокових тунелів від показника умов розробки σ_c / γH, що дозволяє визначити гранично допустиму глибину, на якій під час будівництва трисклепінних станцій метрополітену за конкретних гірничо-геологічних умов можливе використання пневмокріплення;

- знайдена залежність несучої здатності анкера і тиску у пневмооболонках від розмірів відокремлюваного із області гранично допустимого напруженого стану блока порід, кількості пневмооболонок та площі їх контакту з поверхнею забою. Ця залежність використана при розробці конструкції анкерно-пневматичного кріплення забою виробки, проведеній в слабких породах;

- для різних типів анкерів, що взаємодіють з спондиловою глиною, на основі даних натурних експериментів доведена залежність сили висмикування анкера від глибини впровадження його в масив, що дозволило розробити новий механізований спосіб проведення виробок у слабких породах за допомогою анкерно-перекриваючого пристрою, забезпеченого різальним органом.

Наукове значення роботи полягає у вирішенні актуальної для підземного будівництва проблеми по геомеханічному обгрунтуванню технологій проведення виробок у слабких породах із застосуванням пневмоконструкцій. Проблема вирішена на базі розробленої розрахунково-теоретичної моделі спільного деформування системи " порода - обробка - тимчасове пневмокріплення", яка враховує взаємний вплив виробок, реологічні властивості порід та тривимірність їх напруженого стану.

Практичне значення роботи:

- спільно з СКТБ "Ленметробуду" розроблена технологія проведення виробок при спорудженні односклепінних станцій метрополітену в протерозойських глинах агрегатом АМШ з пневмокріпленням. Визначене раціональне значення відпору пневмокріплення

Р= 0,04 МПа. Переваги розробленої технології - механізація процесів відокремлення породи від масиву та кріплення покрівлі і забою виробки (а.с. №1190057);

- розроблена технологія будівництва трисклепінних станцій метрополітену у спондилових глинах, що передбачає проведення середньої виробки на повний перетин без пілот-тунелю; кріплення забою анкерно-пневматичним кріпленням, що багаторазово використовується; кріплення покрівлі виробки пневмокріпленням кріплеукладача; підсилення бокових тунелів тимчасовим пересувним пневмокріпленням при проходці середнього тунелю (рішення на видачу патенту № 93010056). Визначені параметри анкерно-пневматичного кріплення забою (зусилля в анкері P_a = 30 кН; довжина анкера l_a = = 2,9 м; діаметр d = 33 мм; тиск у пневмооболонці Р= 0,03 МПа; кількість пневмооболонок n = 24) та параметри тимчасового кріплення підсилення бокових тунелів (довжина l = 10 м; відпір Р змінюється по колу від 0,01 до 0,3 МПа, найбільш навантажена ділянка кріплення - у секторі 0 . . . 55^0, якщо відраховувати кут від горизонтальної осі з боку середньої виробки);

- розроблена технологія проведення виробок у слабких породах за допомогою анкерно-перекриваючого пристрою, забезпеченого різальним органом (рішення на видачу патенту № 9420546). Відмітна особливість розробленої технології - суміщення процесів відокремлення породи від масиву та кріплення забою, завдяки чому підвищується безпека праці і у порівнянні з існуючою технологією, залежно від швидкості подавання робочого органу, у 1,6 . . . 4 рази зростає продуктивність праці. Для нового механізму визначена необхідна потужність приводного двигуна при різних значеннях крутного моменту та кількості обертів виконавчого органу;

- розроблена конструкція торцевої пневматичної опалубки і визначені її параметри для гірничо-геологічних умов шахт ВО "Павлоградвугілля" (6 циліндричних оболонок довжиною l = 2,2 м кожна, діаметром оболонок d = 0,4 . . . 0,6 м; робочий тиск Р = = 0,015 . . . 0,02 МПа). Торцева опалубка була використана також при бетонуванні опори у перегінному тунелі станції "Старая деревня" Санкт-Петербурзького метрополітену;

- розроблена конструкція вентиляційної пневматичної перемички, що забезпечує герметичне перекриття тунелю від потоку холодного повітря. Для різних діаметрів виробок визначені параметри перемички.

Реалізація результатів досліджень.

- Розроблена разом із СКТБ "Ленметробуду" технологія будівництва односклепінних станцій метрополітену в протерозойських глинах агрегатом АМШ з пневмокріпленням використана під час спорудження станції "Площадь Мира" Санкт-Петербурзького метрополітену на шахті № 522 при проходці виробки завдовжки 250 м.

- Тимчасове пневмокріплення склепіння та забою випробуване при проходці горизонтальної гірничої виробки на шахті №321 "Ленметробуду".

- Спосіб проходки виробки із застосуванням анкерно-пневматичного кріплення випробуваний в забої лівого перегінного тунелю шахти №225 Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену. Розроблена робоча документація та виготовляється обладнання для використання способу в промисловості.

Конкретні рекомендації щодо способу спорудження трисклепінних станцій метрополітену видані "Київметробуду" і "Київметропроекту", а по спорудженню односклепінних станцій агрегатом АМШ с пневмокріпленням - "Ленметробуду" та СКТБ "Головтунельметробуду". Робоча документація на виготовлення агрегату АМШ з пневмокріпленням передана Пролетарському заводу Санкт-Петербурга, а вихідні вимоги на розробку механізму встановлення анкерів - СКТБ Ясинуватського машинобудівного заводу.

Особистий внесок автора полягає в постановці та вирішенні задач дослідження, у формуванні механічної та математичної моделей взаємодії масиву, обробки та тимчасового пневмокріплення, у розробці розрахункових алгоритмів та практичних рекомендацій, у проектуванні нових пневматичних конструкцій, у постановці і проведенні лабораторних та натурних випробувань.

Упровадження результатів дисертації в практику підземного будівництва здійснювалося при особистій участі автора.

Автор висловлює щиру вдячність д-ру техн. наук, проф.

В.С.Рахутіну за корисні поради з питань технології та канд.техн.наук А.О.Андронову, молодшим науковим співробітникам С.Н.Швецю і О.В.Холодкову за участь в проведенні випробувань.

Апробація результатів.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на технічних радах "Ленметробуду" (м. Ленінград, 1984, 1986роки), "Київметробуду", Державної корпорації "Укрметротунельбуд" (м.Київ, . 1991, 1993, 1994, 1995 роки), на VIII і X Далекосхідних конференціях з м`яких оболонок (м. Владивосток, 1987 і 1995 роки), на Всесоюзній науково-технічній конференції "Стан та перспектива застосування м`яких оболонок на підземних гірничих роботах" (м.Дніпропетровськ, 1991р.), а також на наукових конференціях у КАДІ (м.Київ 1994, 1995, 1996 роки), на Міжнародній конференції "Проблеми та перспективи освоєння підземного простору великих міст" (м.Дніпропетровськ, 1996 р.).

Публікації.

Основні положення виконаних досліджень викладені у 24 друкованих працях. За темою дисертації одержано 4 авторських свідоцтва.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, викладених на 302 сторінках, включає 99 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел з 166 назв та 13 додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Перспектива будівництва значної кількості односклепінних станцій метрополітенів пов`язана з питаннями технології їх зведення із застосуванням комплексної механізації.

Донедавна для виробок великого прольоту застосовувався принцип обтиску обробки в породу. Спорудження станції розпочиналося з проходження опорних тунелів із збірною залізобетонною обробкою, у середині яких бетонувалися монолитні опори склепіння. Склепіння споруджувалося в калотному прорізі мінімальних розмірів при найбільшому відставанні від забою 2,0 м. Склепіння, яке складається з

залізобетонних блоків, не сполучених між собою як у межах однієї арки, так і між арками, монтували за допомогою спеціального дугового укладача і потім розтискали в породу за допомогою двох плоских домкратів Фрейсіне, вміщених в замковий блок. Під захистом спорудженого склепіння екскаватором з ковшем активної дії розробляли породу ядер. Використанню такої технології передували теоретичні та експериментальні дослідження, виконані Ю.А. Ліманом, С.А. Орловим, О.Ю. Антоновим, С.Н. Сільвестровим, В.И. Ларіоновим та ін.

Найскладнішим елементом у будівництві односклепінної станції було склепіння. Великий проліт виробки, відставання від забою постійної обробки вимагали надійного тимчасового кріплення покрівлі та забою. Покрівля закріплювалася суцільною дерев'яною затяжкою, що спиралася спереду на складену швелерну дугу, яка підтримується знизу низкою трубчастих стояків, а ззаду - на зібрану обробку склепіння. Забій закріплювався дощатою дерев'яною затяжкою, що розклинювалася на трубчасті стояки. Обгрунтування параметрів елементів даного способу кріплення міститься в роботах Н.И.Кулагіна, Ю.А.Ліманова, В.И. Ларіонова, М.В. Тузіна, Д.М. Голіцинського та ін.

Згодом спільними зусиллями ЛТО СКТБ та "Ленметробуду" була створена низка нових технологій, машин та механізмів, що дозволило збільшити швидкість спорудження станцій, поліпшити умови і безпеку праці прохідників (В.Г.Іванов, В.А.Ходош, С.Н.Власов, В.В.Горищин, В.А.Гуцко, М.Д.Коломійцев та ін.). Для розробки калотного прорізу почали застосовувати агрегат АМК. Проте в першому агрегаті АМК - 1 не передбачалося кріплення забою і через недостатню швидкість проходки мали місце вивалювання з покровлі та забою. Тому при проектуванні наступних зразків агрегату передбачалося пневмокріплення, конструкція якого була створена в Дніпропетровському гірничому інституті (тепер НГА України). У дисертації розробляється методика розрахунку її параметрів.

Питання механізації процесів проведення виробок і кріплення покрівлі та забою актуальні і при спорудженні трисклепінних станцій у спондилових глинах. Станційні тунелі під час будівництва трисклепінних станцій проходжуються послідовно: спочатку бокові,

згодом - середній. Проходження середнього здійснюється за два етапи - спочатку проводиться виробка зміншеного перерізу (пілот-тунель), а згодом розгортається до проектного. Породу у виробках розробляють відбійними молотками поярусно західками. Забій кріпиться горизонтальними металевими двотавровими балками та вертикальною затяжкою дошками.

Додаткові трудомісткі операції, пов'язані із зведенням та демонтажем тюбінгової обробки пілот-тунелю, та значна витрата лесоматеріалів - явні недоліки такої технології.

У дисертації обгрунтовується можливість проведення середньої виробки на повний переріз (без пілот-тунелю) за умови кріплення покрівлі та забою анкерно-пневматичним кріпленням і встановлення в бокових тунелях тимчасового пневмокріплення підсилення.

У НГА України під керівництвом проф. В.С.Рахутіна, розпочинаючи з 1970 року, розробляються й інші технічні засоби із застосуванням пневмооболонок. Накопичений значний досвід їх ефективного використання в гірничовидобувній промисловості (Г.Я.Степанович, Ю.В.Бондаренко, М.Б.Розенталь, А.І.Ільін, А.А.Андронов та ін.). Це підтверджує доцільність застосування пневмоконструкцій і в підземному будівництві.

Обгрунтування параметрів пневмокріплення покрівлі та забою і тимчасового пневмокріплення підсилення пропонованих конструкцій, призначених для використання під час спорудження станцій метрополітену в слабких породах, потребує визначення й старанного аналізу тривимірного НДС порід поблизу забою виробки. При цьому необхідно враховувати наявність сусідніх, близько розташованих виробок великого діаметра. Скористатися для цього відомими аналітичними рішеннями просторових задач теорії пружності неможливо, оскільки вони належать або до поодиноких, або до кількох, але непідкріплених виробок (А.М.Зорін, В.Є.Міренков, А.М.Гузь, Г.І.Бакланова, Г.Г.Куліев, Е.С.Махмудов). У жодній з відомих робіт цього напрямку не розглядається забій виробки, розташованої між двома тунелями.

Перспективнішим для прогнозу виявів гірського тиску в області забою виробки і поблизу низки взаємовпливових виробок слід визнати чисельний метод граничних елементів. Він використаний, наприклад, у

роботах Л.В.Новікової та В.В.Приходько, де для конкретних гірничо-геологічних умов виконана кількісна оцінка впливу забою виробки на НДС оточуючих порід. Однак в них не враховується фактор часу та наявність тимчасового кріплення підсилення в бокових тунелях.

Уявлення про характер роботи будь-якого кріплення виробки теоретично розвивалися за двома напрямками. Один з них - методи розрахунку на задане навантаження від гірського тиску (О.Коммерель, С.М.Розанов, Б.П.Бодров, Б.Ф.Матері, Л.М.Ємельянов та ін.), що визначалося, виходячи з різних моделей деформування та руйнування породного масиву (А.Лабасс, Ю.М.Ліберман, М.М.Протодьяконов, К.В.Руппенейт, П.М.Цимбаревич та ін.).

Другий напрямок - розв`язок контактної задачі для системи "порода - кріплення" (А.М.Динник, А.Б.Моргаєвський, Т.Н.Савін, Ш.А.Айталієв, К.А.Ардашев, М.С.Буличов, Н.Н.Фотієва, Б.З.Амусін, А.Б.Фадєєв та ін.). Цей напрямок являє інтерес і з точки зору питань проектування високонадійних систем підземного будівництва. Стосовно до системи "підстава - фундамент - споруда" він отримав розвиток у роботах В.Б.Швеця, Б.Л.Тарасова, Н.С.Швець та ін.

У працях першого та другого напрямків не враховуються важливі для поставлених у дисертації задач чинники, пов`язані з геометрією технологічних схем будівництва станцій метрополітену та впливом забою виробки. У цьому плані представляють інтерес роботи Ю.М.Айвазова, М.П.Зборщика, В.В.Назимко, Ю.Б.Грядущого, де досліджується НДС порід навколо рухомого забою, але в них знов-таки розглядається або поодинока виробка, або сполучення очисної та підготовчої виробок.

З виконаного аналізу відомих на цей час досліджень, які належать до аналізу тривимірного НДС масиву із складною геометрією, виходить, що поставлена в дисертації просторова задача геомеханіки не може бути розв`язана на основі лише однієї розрахункової схеми ні аналітично, ані чисельно.

Тому в дисертації застосований комбінований підхід:

- спочатку в рамках моделі пружного середовища методом граничних елементів з використанням концепції пластових елементів за С.Краучем та А.Старфілдом розв`язується просторова задача для

області породного масиву, що вміщує три паралельні горизонтальні виробки, одна з яких (середня) має кінцеву довжину; визначаються коефіцієнти концентрації напруг, обумовлених забоєм середньої виробки (наявність тюбінгових обробок враховується в розрахунку через відповідну жорсткість граничних елементів; тимчасове кріплення в бокових виробках відсутнє);

- потім на основі плоских розрахункових схем для системи "порода - обробка - тимчасове пневмокріплення", що належать до різних етапів будівництва станції, з урахуванням фактора часу і знайдених коефіцієнтів концентрації напруг, зумовлених наявністю у досліджуваній області забою, визначається відпір тимчасового кріплення, необхідний для усунення деформації обробок бокових тунелів у процесі проходження середнього.

Для отримання вихідної системи рівнянь вже згаданої просторової задачі використовуються аналітичні співвідношення задачі Ронгведа про розрив зміщень у прямокутному елементі в нескінченному пружному середовищі. Як гранична поверхня береться шар породного масиву, що вміщує виробки. Задача розв'язується в додаткових напругах. Повні напруги подаються у вигляді суми початкових $(\sigma_{ij})_0$, що мали місце до проходження виробок, та додаткових σ_{ij}', зумовлених проведенням виробок, тобто

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma_{ij}', \qquad i = x, y, z; \quad j = x, y, z.$$

Початковий напружений стан задається компонентами

$$(\sigma_{xx})_0^\infty = (\sigma_{yy})_0^\infty = (\sigma_{zz})_0^\infty = -\gamma H; \quad (\sigma_{xy})_0^\infty = (\sigma_{zx})_0^\infty = (\sigma_{zy})_0^\infty = 0$$

(γ - об'ємна вага породи; H - глибина розробки).

Гранична поверхня складається з елементів трьох типів. Перший тип - це елементи, відповідні вийнятій частині масиву (непідкріпленій виробці). Повні напруги в них дорівнюють нулю, отже, $\sigma'_{ij} = -(\sigma_{ij})_0^\infty$. Елементи другого типу належать незайманій частині масиву і характеризуються пружним відпором вміщуючої породи. Нарешті, елементи третього типу належать обробці і характеризуються пружним відпором залізобетону.

Додаткові напруги в i-тому граничному елементі являють собою суму напруг, що виникають внаслідок розривів зміщень на кожному j-тому елементі, $j = 1,2, \ldots, N$; N - кількість граничних елементів.

Таким чином, граничні умови, записані в центрі i-го елемента, матимуть вигляд:

$$\sum_{j=1}^{N}(A_{zxx}^{i,j}D_x + A_{zxy}^{i,j}D_y^j) = \tilde{\sigma}_{zx}^i,$$

$$\sum_{j=1}^{N}(A_{zyx}^{i,j}D_x^j + A_{zyy}^{i,j}D_y^j) = \tilde{\sigma}_{zy}^i, \qquad \sum_{j=1}^{N}A_{zzz}^{i,j}D_z^j = \tilde{\sigma}_{zz}^i. \tag{1}$$

Ліві частини рівностей (1) являють собою вирази для додаткових напруг в i-тому елементі, отримані за принципом суперпозиції згідно з формулами базового аналітичного розв'язку. У них $A_{zxx}^{i,j},\ldots,A_{zzz}^{i,j}$ - коефіцієнти впливу напруг. Праві частини рівнянь дорівнюють відповідно $-(\sigma_{zx})_0^\infty$, $-(\sigma_{zy})_0^\infty$, $-(\sigma_{zz})_0^\infty$, якщо i-тий елемент належить до першого типу. У другому і третьому випадках

$$\tilde{\sigma}_{zx}^i = -C_xD_x^i, \qquad \tilde{\sigma}_{zy}^i = -C_yD_y^i, \qquad \tilde{\sigma}_{zz}^i = -C_zD_z^i,$$

де $C_x = C_y = G^i/h$; $C_z = E^i/h$ - для елементів, що належать породі (h - потужність граничного шару порід) і

$$C_x = C_y = \frac{G_\delta^i F^i}{(R^i)^2 h}\cdot f, \qquad C_z = \frac{E_\delta^i F^i}{(R^i)^2 h}\cdot f$$ - для елементів, що

належать обробці (E_δ^i, G_δ^i - модулі пружності та зсуву бетону; F_i - площа перерізу тюбінга одиничної довжини вздовж осі виробки; R^i - радіус виробки; $f = 1{,}1$ - коефіцієнт, що враховує наявність арматури в залізобетонному тюбінгу).

Місцезнаходження та розміри зон граничного напруженого стану у досліджуваній області масиву встановлюються за критерієм, який має вигляд:

$$\frac{(\psi-1)(\sigma_1+\sigma_3) \pm \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1+\sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1-\sigma_3)^2}}{2\psi} \le [\sigma_M], \tag{2}$$

де σ_1, σ_2, σ_3 - головні напруги;

$[\sigma_M]$ - допустима напруга породи в масиві;

$\psi = \sigma_p / \sigma_c$ - параметр, що змінюється в межах від 0,1 (для випадку абсолютно крихкого тіла) до 0,9 (для випадку абсолютно пластичного тіла).

Критерій (2) експериментально перевірений Л.Я.Парчевським та О.М.Шашенком для гірських порід з параметром $\psi \leq 0{,}5$.

У разі спондилової і протерозойської глин, залежно від їх вогкості, що змінюється в межах 14 . . . 28%, параметр ψ для одержання розрахункових даних, які збігаються з експериментальними з точністю до 15%, слід вважати рівним відповідно 0,1 . . . 0,3.

Виходячи з найбільшої протяжності зони граничного напруженого стану порід попереду забою виробки обирається довжина анкерів, призначених для закріплення порід у забої.

За критерієм (2) встановлюються зони граничного напруженого стану порід покрівлі вздовж бокових тунелів (зон, схильних до впливу забою середньої виробки). Саме в цих зонах і передбачається розміщення тимчасового пневмокріплення підсилення під час проходження середньої виробки.

Окрім того, протяжність зон граничного напруженого стану поряд з величинами максимальних зміщень контурів бокових тунелів у бік середньої виробки - той параметр, за яким обирається раціональний спосіб проведення середньої виробки (з пілот-тунелем чи без нього).

Розрахунки, виконані за розробленим алгоритмом для конкретних гірничо-геологічних умов споруджуваної станції "Лук'янівська" Київського метрополітену для двох випадків - проходження середньої виробки з пілот-тунелем і без нього, - виявили, що наявність пілот-тунелю призводить до збільшення концентрації напруг в області забою вдвічі, у стільки ж разів зростає і протяжність області граничного напруженого стану порід вздовж бокових тунелів. При розширенні випереджаючої виробки до повного перерізу невелика ділянка покрівлі певний час залишається незакріпленою, що спричиняє появу небезпечних для гірських порід розтягальних напруг. Їх величина у 4-5 разів перевищує допустимі значення. В області сполучення пілот-тунелю з виробкой повного перерізу горизонтальні зміщення обробок бокових тунелів у 4 рази перевищують максимальні

значення їх у випадку проходження середньої виробки без пілот-тунелю.

На цій основі рекомендується проходити середню виробку відразу на повний переріз. Тоді за результатами розрахунку область впливу забою середньої виробки поширюється на 10 м вздовж бокових тунелів (приблизно по 5 м на обидва боки від забою). На цих ділянках для запобігання деформацій обробок бокових тунелів і повинне бути встановлене тимчасове пневмокріплення підсилення розробленої конструкції. Його довжина, отже, повинна складати 10 м.

Для визначення навантаження, що діє на тимчасове пневмокріплення підсилення, та встановлення його другого параметра - відпору розв'язується контактна задача для системи " порода - обробка - пневмокріплення". При цьому розглядаються три плоскі розрахункові схеми, що відповідають різним етапам будівництва станції:

- споруджені бокові тунелі; у досліджуваній зоні породного масиву - дві горизонтальні виробки, закріплені тюбінговими обробками; на нескінченності задається горизонтальне та вертикальне навантаження $-\gamma H$;

- між двома спорудженими боковими тунелями пройдено ділянку кінцевої довжини середнього тунелю; у розрахунковій схемі - три виробки; на нескінченності задається навантаження $-k_x\gamma H$ та $-k_y\gamma H$ (k_x та k_y - коефіцієнти привантаження, що враховують вплив забою середньої виробки, визначені в результаті розв'язку просторової задачі);

- у третій розрахунковій схемі, як і в другій, три виробки з обробками, діють ті ж навантаження, але в бокових тунелях встановлене тимчасове пневмокріплення.

Розгляд перших двох схем дозволяє встановити картину перерозподілу НДС при проходженні середньої виробки. Розв'язок задачі за третьою схемою дає можливість визначити відпір тимчасового пневмокріплення підсилення, що запобігає деформації обробок бокових тунелів при проходженні середньої виробки.

Задача розв'язується методом граничних елементів у формі фіктивних навантажень. Вихідна система рівнянь, яка описує задані

умови на межі виробок та умови спільності деформацій на контактах взаємодіючих елементів, формуються за допомогою аналітичного розв'язку задачі Кельвіна про постійні зусилля, прикладені до довільно орієнтованого прямолінійного відрізка в нескінченному пружному середовищі. В елементах вільної межі задаються напруги рівні нулю. Для елементів на контурі обробки, суміжному з масивом, виконуються умови

$$\sigma_s^{i[1]} - \sigma_s^{i^*[2]} = 0 \quad \text{і} \quad \sigma_n^{i[1]} - \sigma_n^{i^*[2]} = 0$$

(i[1] - елемент, приналежний обробці, а i^*[2] - суміжний з ним елемент, приналежний породному масиву). Відповідно для елементів контура породного масиву, суміжного з контуром обробки, умови сумісності записуються в переміщеннях і мають вигляд:

$$u_s^{i^*[1]} + u_s^{i^*[2]} = 0 \quad \text{і} \quad u_n^{i^*[1]} + u_n^{i^*[2]} = 0$$

(i[2] - елемент породного масиву, а i^*[1] - суміжний з ним елемент контура обробки; u_n та u_s - переміщення в напрямку нормалі і дотичної до контура, що розглядається, відповідно).

Вихідні дані з фізико-механічних властивостей породи визначаються з урахуванням часу, витраченого на спорудження тунелів від початку будівництва до моменту, зафіксованого розрахунковою схемою. Перша розрахункова схема фіксує час t = 100 діб (бокові тунелі довжиною 200 м споруджувалися зі швидкістю 2 м/доб). Друга та третя розрахункові схеми стосуються часу t = 300 діб (між боковими тунелями пройдено середню виробку довжиною 100 м, швидкість проходки 1 м/доб).

Відповідно до прийнятої моделі деформування порід модуль пружності глини визначається за формулою

$$E_t = E f_{tE},$$

де $f_{tE} = \dfrac{1}{1+\Phi_t}$; $\Phi_t = \dfrac{\delta t^{1-\alpha}}{1-\alpha}$; t - час, с; $\alpha = 0{,}7$ і $\delta =$ $= 0{,}0076\ c^{\alpha-1}$ - параметри повзучості глини; E = 31,5 МПа - модуль пружності спондилової глини, визначений за діаграмою стиснення "σ-ε", одержаної в результаті проведених лабораторних випробувань

на зразках.

Розрахунки за розробленим алгоритмом засвідчили, що величина відпору кріплення складає 0,01 . . . 0,3 МПа. Найбільш навантаженою є ділянка кріплення в секторі 0 . . . 55^0, якщо відраховувати кут від горизонтальної осі з боку середньої виробки.

Розрахунки, виконані за розробленим алгоритмом для низки визначальних параметрів, дозволили встановити (методом найменших квадратів) залежність відпору тимчасового пневмокріплення підсилення бокових тунелів P від показника умов розробки $\sigma_c/\gamma H$:

$$P = \frac{1{,}41}{\sigma_c / \gamma H + 1{,}97} - 0{,}27.$$

Для отриманої залежності кореляційне відношення η складає 0,95. За нею можна визначити гранично допустиму глибину, на якій в конкретних гірничо-геологічних умовах можливе використання пневмокріплення розробленої конструкції.

Залежність справедлива для порід з показником міцності за шкалою М.М.Протодьяконова f, що змінюється в межах 0,1 . . . 4 та для глибини H = 50 . . . 1000 м. Наприклад, використання пневмокріплення з максимальним відпором P = 0,1 МПа в породах, коефіцієнт f міцності яких дорівнює 3. . . 4, допустиме на глибинах H = = 750 . . . 1000 м, у породах з коефіцієнтом міцності f= 1 . . . 2 - на глибинах H = 250 . . . 500 м, а в слабких породах (глинах с коефіцієнтом міцності f = 0,1) - на глибині H до 50 м.

Під час будівництва станцій метрополітену у спондиловій глині на глибині H = 80 м ефективним є пневмокріплення з максимальним відпором P = 0,3 МПа.

Що стосується забою проводимої середньої виробки, то його пропонується кріпити анкерно-пневматичним кріпленням, яке складається з анкера, м'якої оболонки та рами. Оскільки глини - породи слабостійки, виробка проводиться західками завширшки близько 1 м та заввишки близько 2 м. Пропоноване кріплення забезпечує кріплення по всій площі забою.

Розв'язок описаної просторової задачі геомеханіки для слабких

порід виявив, що максимальні напруги виникають на відстані L = = 2,3 м від забою виробки. Тому довжина анкера l_a кріплення забою з урахуванням величини заглиблення l_1 за контур порід, що знаходяться у гранично напруженому стані, та довжини l_2 частини, що виступає за контур виробки (товщина затяжки, шайби, висота гайки), повинна складати

$$l_a = l_1 + l_2 + L = 0{,}35 + 0{,}25 + 2{,}3 = 2{,}9 \text{ м}.$$

Зусилля в анкері визначається за формулою

$$P_a = \gamma D_B H_B^2 (1 - f L_B / H_B)] / [2n\,(1 + f H_B / L_B)], \qquad (3)$$

де D_B, H_B, та L_B - розміри (м) клиноподібного блока відшарованих у призабійній зоні порід, f - коефіцієнт тертя породи по породі; n - кількість м'яких оболонок кріплення.

Наднормальний тиск у порожнині кожної оболонки кріплення визначається за формулою $P = P_a / S$,
де $S_k = (l_0 - 2r_c)(b_0 - 2r_c) - [(1 - \pi/4)d_p^2 + \pi d_a^2/4]$ - площа контакту оболонки з породою, м^2; l_0 та b_0 - ширина та довжина оболонки (у плані); r_c - радіус скруглення торців оболонки; d_a - діаметр отвору під анкер; d_p - діаметр кола області оболонки навколо анкера, що не контактує з поверхнею забою.

Кріплення забою, що використовується при проходжені виробки у спондилових глинах, потребує такі значення параметрів: кількість оболонок n = 24, тиск в порожнині оболонки P = 0,03 МПа, зусилля в анкері P_a = 30 кН.

Розроблений алгоритм розв'язку плоскої контактної задачі, використаний також для розрахунку тимчасового пневмокріплення агрегату АМШ, який застосовується при спорудженні односклепінної станції метрополітену в протерозойських глинах. На рис. 1 показані розрахункова схема та ізолінії узагальнених напруг $\sigma_{экв}$ в покрівлі, підраховані за критерієм (2). Пунктиром позначена встановлена розрахунком межа області граничного напруженого стану. Розміри цієї

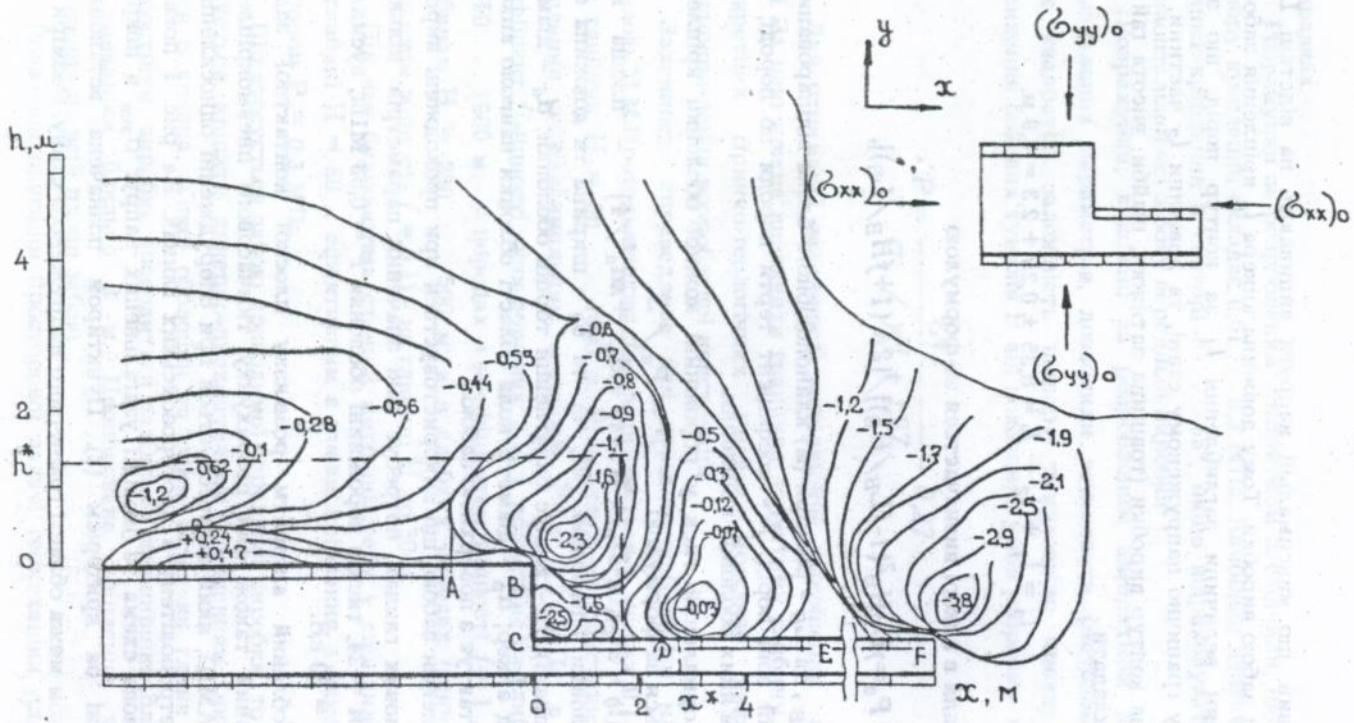


Рис. 1. - Розрахункова схема та ізолінії узагальнених напруг $\sigma_{экв}$ в покрівлі виробки

області у вертикальному напрямку складають 1,35 м, а в горизонтальному (спереду забою) - 1,7 м. За результатами розрахунку величина навантаження на пневмокріплення покрівлі та забою складає 0,04 МПа.

Розроблена конструкція пневмокріплення для покрівлі та забою складається з шандорового висувного кріплення 1, підтримуючого козирка 2, розпірного кріплення 4, гідродомкрата подавання кріплення забою 5 та кріплення забою з пневмооболонкою 6 (рис. 2).

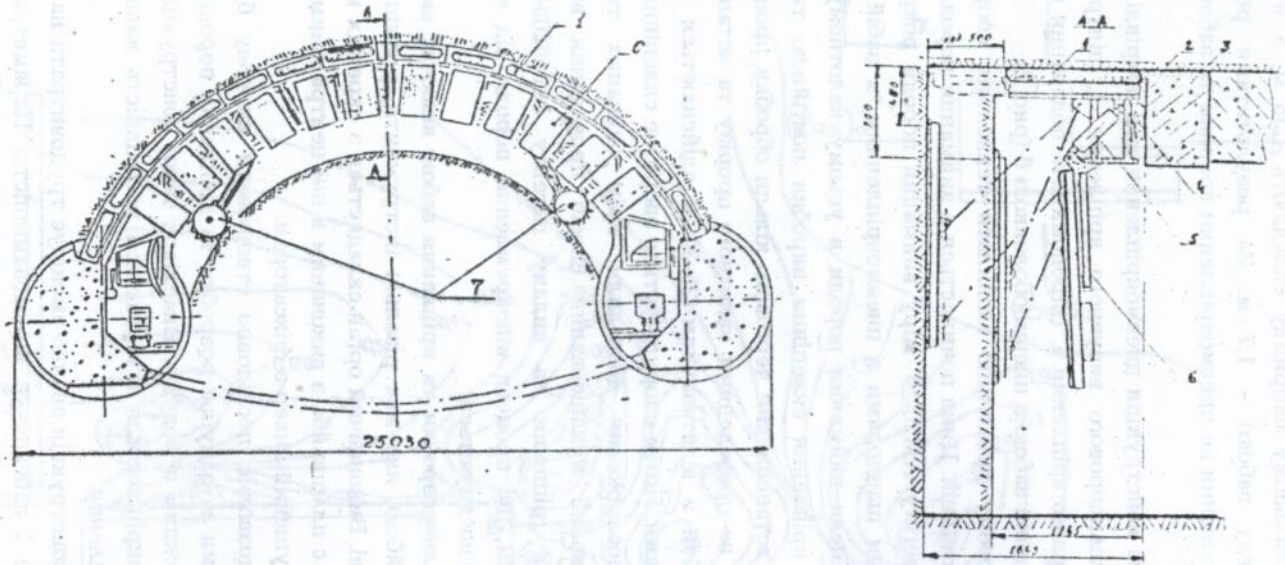
Завдяки новому кріпленню змінилася технологія спорудження односклепінних станцій. Цикл починається з виймання породи робочими органами агрегату АМШ. У міру виймання породи покрівля кріпиться висувними шандорами з пневмокріпленням, а забій - висувними щитами. Після виймання породи в усьому калотному прорізу розпочинається кріплення склепіння виробки постійною тюбінговою обробкою. Після встановлення чергового кільця обробки процес повторюється. Слідом за проведенням калотного прорізу та встановленням тюбінгової обробки з відставанням 25-30 м здійснюється виймання ядра екскаваторами. Потім споруджується зворотне склепіння.

Виконані дослідження дозволили, крім описаних технологій, запропонувати новий механізований спосіб проведення виробок у слабких породах (рішення на видачу патенту №94020546), який відрізняється тим, що процеси відокремлення породи від масиву та кріплення забою поєднуються.

Пристрій для розробки та кріплення забою включає виконавчий орган з планшайбою, яка має різальні інструменти, розміщені на її торцевій поверхні. Виконавчий орган складається з окремих модулів, у кожному з яких є планшайба з виконаним в ній центральним отвором, через який пропущений анкер з фіксатором.

Пристрій дозволяє послідовно створювати виробку будь-якого перерізу та форми за рахунок розробки та кріплення породи окремими західками кожним з модулів. Внаслідок такої конструкції модулів порода забою закріплюється і усувається необхідність використання тимчасового кріплення.

Модульна конструкція значно зменшує трудовитрати на доставку та експлуатацію і забезпечує взаємозамінність. Параметри анкерів



1 - пневмокріплення покрівлі;
2 - підтримуючий козирок;
3 - постійне тюбінгове кріплення;
4 - розпірне пневмокріплення;
5 - гідродомкрат подавання;
6 - кріплення забою;
7 - робочий орган агрегату АМШ.

Рис. 2. - Конструкція пневмокріплення до агрегату АМШ

пристрою встановлені натурними випробуваннями: несуча здатність анкера P = 30 кН, довжина l_a = 2,8 м, діаметр D = 33 мм, висота різьби h = 12 мм.

Продуктивність робочого органу при різних швидкостях подавання визначена за стандартною методикою. Встановлено, що при новому механізованому способі проходки зі швидкістю 0,1 м/хв та 2 м/хв продуктивність відповідно складає 4,7 м^3/год та 94 м^3/год.

За існуючою технологією продуктивність праці складає приблизно 3 м^3/год (за 8 годин відбійними молотками виймається близько 23 м^3 породи). Отже, запропонований спосіб дозволяє підвищити продуктивність праці у 1,6 . . . 4 рази.

Специфічні властивості пневмооболонок дали можливість розробити не лише конструкції тимчасових кріплень, а й інших технічних пристроїв. Один з них - вентиляційна перемичка, що забезпечує герметичне перекриття тунелів від потоків холодного повітря. Конструкція перемички, що пропонується, складається з двох м'яких оболонок діаметром 0,2 м, ізольованого полотнища, поясів кріплення та пневмосистеми. Принцип її роботи в тому, що м'які оболонки, розміщені всередині ізолюючого полотнища, надуваючись, облягають контур виробки та натягують полотнище.

У роботі встановлені залежності мінімального внутрішнього тиску та реакції оболонки від її радіуса при різних значеннях діаметрів виробки.

Запропонована також конструкція торцевої опалубки, несучі елементи якої - м'які оболонки. При подаванні у порожнину оболонки стисненого повітря вона розширюється та під час контакту з постійним кріпленням і поверхнею виробки надійно герметизує існуючий між ними зазор, після чого рідкий розчин, що твердішає, заповнює закріпний простір. Шляхом досліду експерименту визначені параметри торцевої пневматичної опалубки для арочного кріплення в гірничо-геологічних умовах шахт ВО "Павлоградвугілля" (6 циліндричних пневмооболонок діаметром 0,4 . . . 0,6 м, довжиною 2,2 м; робочий тиск 0,02 МПа). Натурні випробування підтвердили її працездатність.

Для оцінки достовірності наукових положень та рекомендацій

розроблені алгоритми використовувалися для розрахунків напруг і зміщень навколо виробок, що проводилися у спондилових глинах під час спорудження станції "Площа Калініна" Київського метрополітену. Розрахунки виконувалися з урахуванням умов, в яких здійснювалися замірювання зміщень у процесі будівництва цієї станції (ЦНДІБ, 1976 р.), і результати порівнювалися з відповідними виміряними даними.

Найбільші горизонтальні зміщення обробки лівого тунелю в бік середньої виробки на момент вимірювань $t_0 = 6$ місяців від початку будівництва (пройдено правий та середній пілот-тунелі та споруджено лівий тунель) складають 2,9 мм. Через 18 місяців (споруджено лівий та правий бокові тунелі і пройдено пілот-тунель середньої виробки) зміщення дорівнює 4,6 мм. За даними розрахунку ця величина склала 3,4 мм (відмінність - 26%). Експериментальні спостереження за проявами гірського тиску засвідчили, що пік вертикального навантаження у боковому тунелі припадає на переріз, віддалений від забою середньої виробки приблизно на 3 м. За даними розрахунку максимальне навантаження виникає на відстані 2,3 м від забою (відмінність - 23%).

Результати розрахунку розмірів областей граничного напруженого стану порід у призабійній зоні односклепінної станції метрополітену, що споруджується у протерозойських глинах, порівнювалися з даними натурних спостережень та з одержаними методом фотомоделювання (Н.І.Кулагін). Різниця - не більше 14%.

Розроблені алгоритми перевірені також на контрольних прикладах (нескінченне тіло з коловим отвором під дією одноосьового розтягу на нескінченності; обробка у нескінченному пружному середовищі під дією радіального навантаження, прикладеного до його контура), для яких є аналітичні та числові рішення (С.Крауч, А.Старфілд). Результати відрізняються не більш як на 5%.

Отже, розроблені розрахункові алгоритми і сформульовані висновки та рекомендації достатньо надійни.

ВИСНОВКИ

Дисертація - закінчена науково-дослідна робота, в якій вирішена актуальна для підземного будівництва проблема з геомеханічного обгрунтування технологій проведення виробок у слабких породах із застосуванням пневмоконструкцій на базі розробленої розрахунково-теоретичної моделі спільного деформування системи " порода - обробка - тимчасове пневмокріплення", що враховує взаємний вплив виробок, реологічні властивості порід і тривимірність їх напруженого стану.

Основні наукові результати, підсумки та рекомендації.

1. Для масиву слабких порід (спондилова, протерозойська глини), що вміщує виробки великих діаметрів із взаємним впливом, запропонована модель пружного середовища з урахуванням зміни деформаційних характеристик у часі відповідно до теорії лінійної спадкової повзучості.

2. Розроблений алгоритм розв'язку просторової задачі геомеханіки для оцінки ступеня впливу забою середньої виробки на НДС порід навколо бокових тунелів.

За встановленими з допомогою запропонованого алгоритму розмірами зон граничного напруженого стану порід навколо забою визначена раціональна схема проведення середньої виробки - без пілот-тунелю з кріпленням забою анкерно-пневматичним кріпленням за умови встановлення в бокових тунелях тимчасового пневмокріплення підсилення для запобігання деформацій їх обробок.

Визначені параметри анкерно-пневматичного кріплення забою (довжина анкера l_a = 2,9 м) і тимчасового пневмокріплення підсилення бокових тунелів (довжина L = 10 м - по 5 м спереду і поза забою середньої виробки).

3. Розроблений новий алгоритм розв'язку методом граничних елементів контактної задачі для системи "порода - обробка - тимчасове пневмокріплення", що дає змогу визначити відпір тимчасового пневмокріплення в залежності від епюри її навантаження. В алгоритмі враховується взаємний вплив виробок, а також реологічні властивості порід та перерозподіл напруг на різних стадіях будівництва станцій

метрополітену у слабких породах. Для гірничо-геологічних умов трисклепінної станції "Лук'янівська" Київського метрополітену за допомогою даного алгоритму доведено, що величина відпору тимчасового кріплення повинна складати 0,01 . . . 0,3 МПа. Найбільш навантажена ділянка кріплення у секторі 0 . . . 55^0, якщо відраховувати кут від горизонтальної осі з боку середньої виробки.

4. Встановлена нелінійна залежність відпору пневмокріплення підсилення від показника умов розробки σ_c / γH, в результаті чого можна визначити гранично допустиму глибину, на який під час будівництва трисклепінних станцій метрополітену у конкретних гірничо-геологічних умовах (для порід міцністю за шкалою М.М.Протодьяконова f = 0,1 . . . 4) можливе використання пневмокріплення розробленої конструкції.

5. Розроблена конструкція анкерно-пневматичного кріплення покрівлі та забою виробок у слабких породах.

Отримана залежність дозволяє визначити несучу здатність анкера кріплення за розмірами блока відокремлених від масиву порід та кількістю оболонок.

Встановлена залежність наднормального тиску у пневмооболонці кріплення від зусилля притиснення анкера та площі її контакту з поверхнею покрівлі або забою.

Кріплення забою, використане при проходженні виробки у спондилових глинах, потребує такі значення параметрів: тиск у пневмооболонці P = 0,03 . . . 0,04 МПа, кількість оболонок n = 24, зусилля в анкері P_a = 30 кН.

Виконані дослідження покладені в основу розроблених вихідних вимог до проектування комплекту обладнання, переданих СКТБ Ясинуватського машинобудівного заводу для упорядкування робочої документації.

6. Розроблений новий механізований спосіб проведення виробок у слабких породах за допомогою анкерно-перекриваючого пристрою з різальним органом відзначається тим, що процеси відокремлення породи від масиву та кріплення забою суміщаються.

Запропонований спосіб забезпечує безпеку праці та підвищує продуктивність у порівнянні з існуючою технологією залежно від

швидкості подавання робочого органу в 1,6 . . . 4 рази. Визначена необхідна потужність приводного двигуна при різних значеннях крутного моменту та числа обертів виконавчого органу.

На основі даних натурних експериментів визначені параметри анкерів запропонованого пристрою (довжина l_a = 2,8 м, діаметр D = = 33 мм, висота різьби h = 12 мм, несуча здатність P_a = 30 кН).

7. Для різних типів анкерів, що взаємодіють з спондиловою глиною, на основі натурних експериментів встановлена залежність сили висмикування анкера від глибини упровадження його в масив.

8. Разом з СКТБ "Ленметробуду" відпрацьована технологія проведення виробок при спорудженні односклепінних станцій метрополітену в протерозойських глинах агрегатом АМШ з пневмокріпленням, яке дало змогу механізувати процеси кріплення покрівлі та забою виробки. Для конкретних гірничотехнічних умов визначена величина відпору пневмокріплення P = 0,04 МПа.

9. Розроблена пневматична вентиляційна перемичка, що забезпечує герметичне перекриття тунелів від потоків холодного повітря. Встановлені залежності мінімального внутрішнього тиску та реакції оболонки перемички від її радіуса при різних діаметрах виробки.

10. Розроблена конструкція пневматичної торцевої опалубки для перекриття зазора між обробкою та породою при нагнітанні розчину в закріпний простір.

Для арочного кріплення стосовно до гірничо-геологічних умов шахт ВО "Павлоградвугілля" визначені шляхом дослідів раціональні параметри опалубки: 6 циліндричних пневмооболонок діаметром 0,4 . . . 0,6 м , завдовжки 2,2 м; робочий тиск 0,02 МПа. Опалубка була використана також при бетонуванні опори в перегінному тунелі станції "Старая деревня" Санкт-Петербурзького метрополітену.

11. Величини зміщень та напруг у досліджуваних областях породних масивів, отримані розрахунком за розробленими алгоритмами і за даними натурних вимірів, відрізняються не більш як на 26%, що свідчить про задовільну точність результатів теоретичних досліджень та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Розроблені технології та пневмоконструкції впроваджені на

будівництві станції "Площадь Мира" Санкт-Петербурзького метрополітену на шахті №522 під час проходки горизонтальної гірничої виробки на шахті №321 "Ленметробуду" та в забої лівого перегінного тунелю шахти №225 Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену.

Конкретні рекомендації щодо способу спорудження трисклепінних станцій метрополітену видані "Київметробуду" та "Київметропроекту", а щодо спорудження односклепінних станцій - "Ленметробуду" та СКТБ "Главтунельметробуду".

Список робіт автора за темою дисертації.

1. Бузило В.И. Определение несущей способности шандорной крепи с мягкой оболочкой // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №15 (26).- С.30-31.

2. Бузило В.И. Технология проведения односводчатых станций метрополитена агрегатом АМШ // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №15 (26).- С. 29.

3. Бузило В.И. Технология проведения трехсводчатых станций Киевского метрополитена // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №15 (26).- С.31-32.

4. Бузило В.И. Определение нагрузки на временную крепь усиления боковых тоннелей трехсводчатой станции метрополитена // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №15 (26).- С.33-36.

5. Бузило В.И. Пневматическая торцевая опалубка // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №17 (28).- С.26- 27.

6. Бузило В.И. К определению параметров пневмокрепи, используемой при проходке односводчатых станций метрополитена // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №17 (28).- С.32-34.

7. Бузило В.И. Промышленные испытания временных пневматических крепей // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №17 (28).- С.31.

8. Бузило В.И. Совершенствование процессов возведения временной крепи при проведении тоннелей в слабых породах // Придніпровський науковий вісник.- 1997.- №21-С.21-25.

9. Бузило В.И. Натурные измерения и расчет напряжений и смещений пород вокруг выработок станции "Площадь Калинина" Киевского метрополитена // В сб. науч. труд. Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ на базе передового отечественного и зарубежного опыта: Всеукраинская научно-техническая конференция.- Днепропетровск, 1997.- С.178-179.

10. Бузило В.И. Анализ маркшейдерских наблюдений за деформацией тюбинговой крепи тоннелей станции "Дружба народов" Киевского метрополитена // В сб. науч. труд. Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ на базе передового отечественного и зарубежного опыта: Всеукраинская научно-техническая конференция.- Днепропетровск, 1997.- С.180-183.

11. Бузило В.И. Испытание анкеров при проведении выработок Киевского метрополитена // В сб. науч. статей Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов: II международная конференция.- Днепропетровск, 1997.- С. 56-57.

12. Бузило В.И. К расчету вентиляционной перемычки // В сб. науч. статей Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов: II международная конференция.- Днепропетровск, 1997.- С. 174-177.

13. Рахутин В.С., Бузило В.И., Иванова И.В. Пневмокрепи на строительстве Ленинградского метрополитена //Метрострой.-1987.- №1.- С. 12.

14. Рахутин В.С., Бузило В.И., Савельева Т.С. Обоснование параметров пневматической крепи для слабых боковых пород// Метрострой.-1990.- №5.- С. 6-7.

15. Рахутин В.С., Бузило В.И., Швец С.Н. Конструкция и параметры анкерно-пневматической крепи // Подземное пространство мира.- 1996.- №4.- С. 42-43.

16. Бузило В.И., Клименко Е.А. Физико-механические свойства спондиловой и протерозойскойской глин / Деп. в ГНТБ Украины 03.04.97 №267.

17. Бузило В.И., Иванова И.В., Пинчук В.Т. Применение временных пневматических крепей при проведении выработок Ленинградского метрополитена // Внедрение новых экономически

выгодных конструкций из современных высокопрочных мягких материалов ... в народном хозяйстве: Тез. док. VIII научн.-техн. конф. - Владивосток, 1987.- С. 207.

18. Рахутин В.С., Бузило В.И., Иванова И.В. Механизированный агрегат с пневматической крепью для проведения калоттной щели односводчатых станций Ленинградского метрополитена //В сб. научн. труд. Состояние и перспективы применения мягких оболочек на подземных горных работах: Тез. докл. II Всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1991.- С. 33-34.

19. Бузило В.И., Савельева Т.С., Иванова И.В. Технология проведения выработок Ленметростроя с применением временных пневматических крепей // В сб. науч. труд. Состояние и перспективы применения мягких оболочек на подземных горных работах: Тез. докл. II Всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1991.- С. 68-69.

20. Бузило В.И., Савельева Т.С., Фомичева Л.Я. Определение параметров пневматической вентиляционной перемычки // В сб. науч. труд. Состояние и перспективы применения мягких оболочек на подземных горных работах: Тез. докл. 2 Всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1991.- С. 90.

21. Рахутин В.С., Бузило В.И., Швец С.Н. Расчет анкерно-пневматической крепи // В сб. науч. труд. Перспективы применения мягких оболочек: Тез. докл. X Дальневосточной науч.-техн. конф. - Владивосток, 1995.- С. 31.

22. Рахутин В.С., Бузило В.И., Швец С.Н. Новые технические средства для временного крепления кровли и забоя выработок, проводимых в слабых породах // В сб. науч. труд. Перспективы применения мягких оболочек: Тез. докл. X Дальневосточной науч.-техн. конф. - Владивосток, 1995.- С. 42.

23. Рахутин В.С., Бузило В.И. Пневматические конструкции при строительстве подземных сооружений // В сб. науч. труд. Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов: Тез. докл. международной конф. - Днепропетровск, 1996.- С. 69.

24. Рахутин В.С., Бузило В.И. Новый способ проведения выработок в слабых породах // В сб. науч. труд. Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов: Тез.

докл. международной конф. - Днепропетровск, 1996.- С. 100.

25. Решение на выдачу патента Украины по заявке № 94020546.- 2.12.94. Устройство для разработки и крепления забоя. / Рахутин В.С., Петренко В.И., Лихман С.Н., Бузило В.И. и др. (Украина).

26. А.С. №1190057 СССР. Секция пневматической крепи / Рахутин В.С., Колоколов О.В., Бузило В.И., Тарадайко В.Г. (Украина) Опубл. Бюл.№41 //Открытия. Изобретения.- 1985 г.

27. Патент №3849 РФ. Способ временного крепления слабых пород и устройство для его осуществления. / Рахутин.В.С., Петренко В.И., Калиниченко Г.Ф.,Лихман С.Н., Бузило В.И. и др. (Украина).- Опубл. 27.12.94. Бюл. 6-1

28. Решение на выдачу патента Украины по заявке № 93010056.- 2.12.92. Способ временного поддержания капитальных горных выработок в зоне активного горного давления / Петренко В.И., Рахутин В.С., Калиническо Г.Ф., Бузило В.И. и др. (Украина).

Особистий внесок автора в публікації, написані у співавторстві: розроблена конструкція пневмокріплення та проаналізовані результати шахтних випробувань [13], обгрунтовані розрахункові схеми та розроблений алгоритм розрахунку пневмокріплення [14]; обгрунтовані параметри анкерно-пневматичного кріплення [15], описані результати виконаних лабораторних випробувань зразків спондилової глини [16]; розроблені технологія проведення калотної щілини механізованим агрегатом АМШ, конструкція тимчасових пневматичних кріплень покрівлі та забою а також методика визначення їх параметрів [17, 18 та 19]; розроблений розрахунковий алгоритм та виконана статистична обробка результатів розрахунку [20]; розроблений розрахунковий алгоритм, визначені параметри анкерно-пневматичного кріплення [21]; запропоновані нові способи кріплення покрівлі та забою виробки [22]; розроблений новий спосіб проведення виробок у слабких породах анкерно-перекриваючим пристроєм з різальним органом [23, 24]; запропоновані істотні відмітні ознаки з їх обгрунтуванням [25, 26, 27 та 28]; розроблена конструкція секції пневмокріплення [26].

АНОТАЦІЯ

Бузило В.І. Геомеханічне обгрунтування технологій проведення виробок із застосуванням пневмоконструкцій під час спорудження станцій метрополітену в слабких породах.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за фахом 05.15.04 "Шахтне та підземне будівництво". Національна гірнича академія України. Дніпропетровськ, 1997.

Захищається розроблена розрахунково-теоретична модель спільного деформування системи "порода - обробка - тимчасове пневмокріплення", що враховує взаємний вплив виробок, реологічні властивості порід та тривимірність їх напруженого стану.

Встановлені характерні особливості взаємодії масиву з пневмоконструкціями. Обгрунтовані параметри технологій проведення і кріплення виробок під час будівництва станцій метрополітену в слабких породах, що відображено в 24 друкованих роботах та 4 винаходах.

Ключові слова: виробка, механізована проходка, масив гірських порід, обробка, пневмокріплення, напружено-деформований стан.

АННОТАЦИЯ

Бузило В.И. Геомеханическое обоснование технологий проведения выработок с применением пневмоконструкций при сооружении станций метрополитена в слабых породах.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.04 "Шахтное и подземное строительство" Национальная горная академия Украины.- Днепропетровск, 1997.

Защищается разработанная расчетно-теоретическая модель совместного деформирования системы "порода - обделка - временная пневмокрепь", которая учитывает взаимное влияние выработок, реологические свойства пород и трехмерность их напряженного состояния.

Установлены характерные особенности взаимодействия массива с пневмоконструкциями. Обоснованы параметры технологий проведения

и крепления выработок при строительстве станций метрополитена в слабых породах, отображенные в 24 опубликованых работах и 4 изобретениях.

Ключевые слова: выработка, механизированная проходка, массив горных пород, обделка, пневмокрепь, напряженно-деформированное состояние.

ANNOTATION

Buzilo V.I. Geomechanical basing of working drifting technology using pneumatic syructures under construction of underground stations within weak rocks. - Manuscript.

Thesis for Doctor's degree, specialization 05.15.04 "Mine and underground construction". Mining University of Ukraine. Dnepropetrovsk, 1997.

Theoretical calculation of model of joint system deformation "rock-roofsupport-preliminary pneumatic support" taking into account mutual influence of workings, reological properties of rocks and their three-dimensional state of stress has been worked out.

Characteristic features of interaction of massif with, pneumatic structures have been determined.

Parametres of mining and supporting workings under construction of underground stations within weak rocks are given, printed in 24 articles and 4 inventions.

Key-words: working, mechanized drifting, rock massif, roof support, pneumatic support, state of stress.

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск А. М. Росінко

Підписано до друку 18.11.97. Формат 60x90/16. Папір офсетний. Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 1,86. Умовн. фарб.-відб. 1,86. Тираж 100. Замовлення N 1475. Замовлене.

ЗАТ Видавництво «Поліграфіст», 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Серова, 7.

430967

Ав 39020