

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

СВИСТУН Руслан Миколайович

УДК 622.023.42:622.281.74

**ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ
КРІПильНОЇ СИСТЕМИ ВИЇМКОВИХ ВИРОБОК
З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ ЇЇ НАВАНТАЖЕННЯ**

Спеціальність: 05.15.02 – Підземна розробка родовищ
корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

БОНДАРЕНКО

Володимир

Ілліч

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

КУРНОСОВ

Сергій

Анатолійович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України

САХНО

Іван

Георгійович

Захист відбудеться «11» квітня 2014 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «07» березня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03,
кандидат технічних наук, доцент

В.І. Тимощук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Ефективність ведення гірничих робіт на вугільних шахтах України значною мірою визначається надійністю функціонування виїмкових виробок, які мають найбільшу сумарну довжину й експлуатуються в найбільш складних умовах з двох причин: по-перше, їх розміщення в досить неоднорідному масиві, що вміщує вугільний пласт, породи безпосередньої покрівлі й підошви, що характеризується як інтенсивною тріщинуватістю, так і періодичною обводненістю за довжиною виїмкової ділянки; по-друге, вплив очисних робіт, які за рахунок розвитку аномалій гірського тиску активізують процеси розшарування й знеміцнення вміщуючого виробку масиву. Актуальність проблеми підтримки виробок, наприклад, на шахтах Західного Донбасу, ще більш зростає з низки факторів, основними з яких є наступні. По-перше, вуглевміщуюча товща складена слабкими шаруватими породами із практично повною відсутністю зчеплення по поверхнях контактів літологічних різниць, що істотно інтенсифікує прояв гірського тиску. По-друге, розроблювальні вугільні пласти характеризуються підвищеними міцнісними властивостями відповідно порід безпосередньої покрівлі й підошви, що обумовлює відому специфіку формування навантаження на кріпильну систему, яка виражається в підвищеному бічному тиску й здманні підошви, особливо, у зоні опорного тиску поперед очисного вибою. По-третє, на більшості шахт Західного Донбасу досягнуті досить високі швидкості посування очисних вибоїв, що, з одного боку, вимагає підвищеної уваги до експлуатаційного стану виїмкових виробок, а з іншого, – вишукування резервів скорочення витрат на підтримку через зростаючі об'єми їх проведення. У зв'язку з цим для вугільної промисловості України є актуальною задача підтримки виїмкових виробок за рахунок керування станом їх кріпильної системи відповідно до характеру проявів гірського тиску в зоні впливу очисних робіт при збереженні максимальної несучої здатності на базі встановлених закономірностей регулювання деформаційно-силових параметрів її елементів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності зі Стратегією розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року («Вугільна промисловість»), Програми «Українське вугілля», затвердженої постановою Кабінету міністрів України (№1205 від 19 вересня 2001 р.) і планів держбюджетних робіт ДВНЗ «Національний гірничий університет»: тема ГП-450 «Наукові основи деформування просторово-неоднорідної системи «масив – кріплення» з урахуванням контролю умов праці у шахтах за пиловим фактором» (№ держреєстрації 0112U000869); тема ГП-422 «Наукові основи керування просторовою системою «масив – кріплення» з урахуванням граничного й позамежного стану та уніфікованими засобами контролю газових сумішей» (№ держреєстрації 0109U002815); тема В3341101000/ОБ-52 «Розроблення технологічного регламенту кріплення і охорони виїмкових виробок на пологих пластах» (№ держреєстрації 0111U009438); тема АД-391 «Розробка рекомендацій з безремонтної підтримки виїмкового штреку на базі аналітичного методу розрахунку навантаження на кріплення».

Мета досліджень полягає у підвищенні стійкості виїмкових виробок технологією керування деформаційно-силовими параметрами кріпильної системи ві-

дповідно до характеру проявів гірського тиску в зоні впливу очисних робіт.

Для досягнення поставленої мети сформульовані і вирішені наступні задачі:

1. Провести аналіз досвіду експлуатації виїмкових виробок і обґрунтувати підхід до компоновки елементів кріпильної системи виїмкових виробок, поєднуючи можливість її адаптації до характеру проявів гірського тиску, надійність підтримки й принципи ресурсозбереження.

2. Розробити методику розрахунку навантаження на кріпильну систему виїмкової виробки в зоні впливу очисних робіт з урахуванням особливостей проявів гірського тиску в умовах шахт Західного Донбасу.

3. Створити й випробувати інженерну методику вибору параметрів рамно-анкерного кріплення, що адаптується до характеру проявів гірського тиску з максимальною несучою здатністю.

4. Оцінити економічну ефективність запропонованих технічних рішень.

Ідея роботи – адаптація епюри рамно-анкерного кріплення виїмкових виробок до характеру проявів гірського тиску в зоні впливу очисних робіт за рахунок регулювання режиму роботи податливих анкерів.

Об'єкт досліджень – геомеханічні процеси в шаруватому вуглевмісному масиві слабких порід, що містить виїмкову виробку, її кріпильну систему й очисні вибої, що наближаються.

Предмет досліджень – параметри силової взаємодії елементів геомеханічної системи «лава – виїмкова виробка» і процеси регулювання напружено-деформованого стану (НДС) рамно-анкерного кріплення.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач використані: аналіз і узагальнення результатів досліджень геомеханічних процесів навколо виїмкових виробок, застосовування опробованих методів розрахунку кріпильних систем, використання досвіду підтримки виробок рамно-анкерним кріпленням; фундаментальні положення механіки гірських порід і будівельної механіки; методи кореляційно-дисперсійного аналізу; експериментальні дослідження.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Епюра навантаження кріпильної системи виїмкової виробки має суттєво виражену асиметрію вбік робочого борту зі степеневою залежністю зміни висоти склепіння граничної рівноваги, лінійним зв'язком з кутом внутрішнього тертя прилеглих порід і вугільного пласта, його потужністю, а також комбінованою (лінійною, степеневою й експонентною) закономірністю впливу глибини підрипки подошви виробки і її ширини; встановлені зв'язки дозволяють обґрунтовано вибирати параметри засобів посилення кріпильної системи з їхньою диференціацією на контурі виробки й найбільш повною адаптацією до характеру проявів гірського тиску.

2. Диференційоване по контуру посилення рамного кріплення анкерами регульованого опору забезпечує нейтралізацію асиметрії навантаження зі стабільним зменшенням зближення покрівлі й подошви на 25 – 30%, боків – на 54 – 65% незалежно від умов підтримки виїмкових виробок. Це дозволяє знизити втрати перерізу виробки в середньому на третину й підвищити надійність виконання технологічних операцій у межах виїмкової ділянки.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується: коректною постановкою і вирішенням задач із використанням апробованих фундаментальних положень механіки гірських порід, будівельної механіки й методів математичної статистики, експериментальними дослідженнями процесів обмеження переміщень приконтурних порід, позитивними результатами застосування рекомендацій.

Наукове значення роботи полягає: у встановленні закономірностей впливу зони опорного тиску попереду очисного вибою, що наближається, на розвиток асиметричної області нестійких порід навколо виробки й формування навантаження на кріпильну систему; у виявленні закономірностей зв'язку внутрішніх зусиль у рамному кріпленні з параметрами її асиметричного навантаження й установа анкерів постійного опору, що в комплексі із критеріями оптимізації стану рамно-анкерного кріплення складає основу для створення умов досягнення її максимальної несучої здатності в зоні впливу очисних робіт.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розкрито механізм і виявлені закономірності формування області нестійких порід навколо виїмкових виробок, що відрізняються урахуванням асиметричного впливу зони опорного тиску й особливостей будови й властивостей вуглевміщуючої товщі порід Західного Донбасу.

2. Установлено закономірності асиметричного навантаження кріпильних систем виїмкових виробок, де враховуються процеси активізації видавлювання порід безпосередньої покрівлі й подошви в зоні опорного тиску очисного вибою, що наближається.

3. Уперше отриманий комплекс закономірностей зв'язку внутрішніх зусиль у рамному кріпленні з параметрами установа анкерів і зроблена оптимізація рамно-анкерного кріплення для умов дії асиметричного навантаження при істотно нерівномірній за висотою виробки глибині знеміцнення її бічних порід.

Практичне значення роботи полягає в наступному:

– удосконалений метод розрахунку розмірів області нестійких порід, побудований на базі СОУ 10.1.00185790.011:2007 з урахуванням асиметричного впливу опорного тиску попереду очисного вибою й специфіки деформування боків виїмкових виробок в умовах шахт Західного Донбасу;

– розроблений метод розрахунку навантаження на кріпильну систему виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт;

– створена інженерна методика вибору параметрів рамно-анкерного кріплення.

Реалізація результатів роботи. Основні положення роботи використані в наступній галузевій нормативній і технічній документації: «Технологічний регламент кріплення й охорони виїмкових виробок на пологих пластах Донбасу» (затверджений Міністерством енергетики і вугільної промисловості України, 2012); «Типові матеріали для проектування повторно використовуваних дільничних виробок на шахтах Західного Донбасу» (затверджений ДВНЗ «Національний гірничий університет» і ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», 2012); проектах проведення і кріплення гірничих виробок на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (2009-2012).

Особистий внесок здобувача полягає: в аналізі сучасних напрямів підтримки виїмкових виробок на пологих вугільних пластах, існуючих методів розрахунку параметрів проявів гірського тиску й кріпильних систем; у формулюванні мети й задач досліджень, ідеї роботи, наукових положень, висновків і рекомендацій; в удосконаленні нормативної методики прогнозу розмірів області нестійких порід навколо виїмкової виробки в зоні впливу очисних робіт і епюри навантаження на її кріпильну систему; в обґрунтуванні схеми розрахунку рамно-анкерного кріплення й установленні закономірностей зв'язку внутрішніх зусиль у рамі з параметрами анкерів і епюрою навантаження; в оптимізації НДС рамно-анкерного кріплення і розробці інженерного методу вибору її параметрів; проведенні й аналізі результатів шахтних досліджень. Зміст дисертації й автореферату автором викладено самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації доповідалися й схвалені на міжнародних науково-практичних конференціях: «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ, 2010-2013); «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2010); Szkoła Eksploatacji Podziemnej (Krakow, Poland, 2013); на технічних радах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», ТОВ «ДТЕК Свердловантрацит» (2008-2012) і наукових семінарах ДВНЗ «Національний гірничий університет» (2009-2013).

Публікації. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 роботах, у тому числі в 3 колективних монографіях, 3 статтях, опублікованих в спеціалізованих наукових виданнях, 5 статтях, опублікованих у матеріалах міжнародних конференцій і в 1 технологічному регламенті.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків і переліку джерел з 86 найменувань на 9 сторінках; містить 151 сторінку машинописного тексту, 43 рисунка на 11 сторінках і додатки на 9 сторінках; загальний обсяг роботи – 171 сторінка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Світовий і вітчизняний досвід підтримки виїмкових виробок вугільних шахт із застосуванням різних комбінацій рамного й анкерного кріплення свідчить про широкі перспективи цього способу як у частині підвищення надійності функціонування мережі гірничих виробок, так і в частині ресурсозбереження при виконанні технологічних операцій видобутку вугілля. Саме ці фактори привертають все більшу увагу науковців і фахівців України, Росії, США, Великобританії, Австралії, Німеччини, Польщі, Канади, Китаю та інших країн, які внесли істотний вклад у розвиток ресурсозберігаючих технологій забезпечення стійкості підземних виробок. Найбільш відомі роботи співробітників таких навчальних, науково-дослідних, проектних і виробничих організацій як НГУ, ДонНТУ, ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова, ДонВУГІ, УкрНДМІ, ІФГП НАН України, Дніпродіпрошахт, НДІОМШБ, ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», ІПКОН, МДГУ, СПбДУ, ІГД ім. О.О. Скочинського та ін.

Вивчений досвід підтримки виїмкових виробок на шахтах Західного Донбасу й накопичені до теперішнього часу дослідження в цій області ведення гірничих робіт визначили пріоритетний, на наш погляд, напрям використання рамно-

анкерного кріплення із просторово-податливими зв'язками як кріпильної системи, що найбільш повно адаптується до характеру проявів гірського тиску, що змінюється в міру наближення очисного вибою. У поняття «адаптація» ми вкладаємо зміст високих потенційних можливостей конструкції з регулювання її опору відповідно до мінливої гірничо-геологічної ситуації навколо виїмкових виробок із одночасним наближенням до стану рівномірності, що тотожно двом позиціям: досягнення максимальної несучої здатності при незмінних витратах, або економія ресурсів при збереженні несучої здатності на колишньому рівні. Тому основний напрям досліджень полягає у розкритті цих потенційних можливостей на базі встановленого комплексу закономірностей взаємодії елементів кріпильної системи між собою і з вміщуючим породним масивом.

Мета роботи реалізується послідовним вирішенням комплексу задач, взаємозв'язок яких пояснюється структурно-логічною схемою, представленою на рис. 1.

За результатами аналізу існуючих підходів до вибору параметрів кріпильних систем виїмкових виробок, підтримуваних, у тому числі, у зоні активного впливу очисних робіт, віддана перевага нормативній методиці за СОУ 10.1.00185790.011:2007, що має спільність і достатню надійність прогнозованих результатів, з одного боку, і є зручною для наступних розрахунків внутрішніх зусиль у рамному кріпленні в сукупності із критеріями оптимізації її НДС, з іншого. Її найбільш істотний недолік полягає в ігноруванні об'єктивно спостережуваного факту більш активних проявів гірського тиску з боку очисного вибою, який наближається (рис. 2), що виражається у формуванні асиметричного навантаження $q(\theta)$ на кріпильну систему виїмкової виробки.

Прогноз зазначеного явища виконаний шляхом визначення розмірів області знеміцнення приконтурних порід з урахуванням зони опорного тиску поперед лави, що наближається, і базується на наступних положеннях: висота склепіння граничної рівноваги росте з наближенням очисного вибою і визначається за СОУ 10.1.00185790.011:2007; у боках виробки ширина області знеміцнення прямо пропорційна величині переміщень контуру виробки з переважним розвитком з боку робочого борту; площа склепіння граничної рівноваги в покрівлі залишається незмінною (стосовно нормативної методики), але саме склепіння витягнуте у бік лави, що наближається. При цьому зроблена диференціація ширини області знеміцнення більш міцного вугілля і менш міцних порід безпосередньої покрівлі й підосви, що характерно для умов Західного Донбасу.

Зазначені положення дозволили одержати досить компактні вирази з опису контуру області граничної рівноваги:

– лінія склепіння (у полярних координатах) апроксимована трьома членами тригонометричного ряду

$$r_{ск}(\theta) = a_1 \sin \theta + a_2 \cos \theta \pm a_3 \sin(\theta + \theta_{max}), \quad (1)$$

коефіцієнти a_1 , a_2 , a_3 якого зв'язані простими співвідношеннями з названими нами «базовими» точками контуру, визначеними за нормативною методикою; кутова координата θ_{max} розташування максимуму висоти склепіння змінюється в обмеженому діапазоні $18,5 - 20,0^\circ$ (установлено за результатами обчислювального аналізу) і прийнята постійною $\theta_{max} = 20^\circ$;

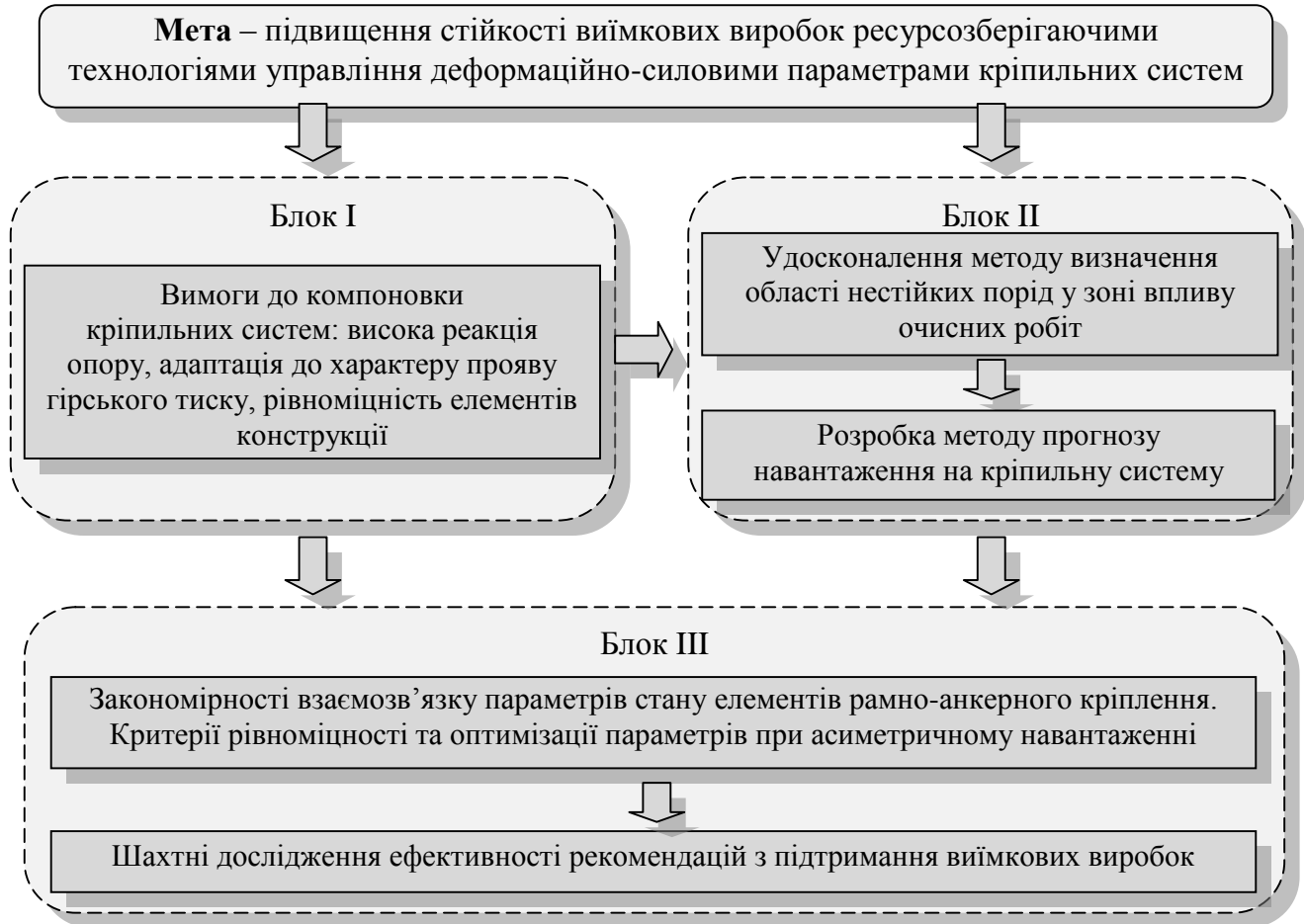


Рис. 1. Структурно-логічна схема реалізації мети досліджень

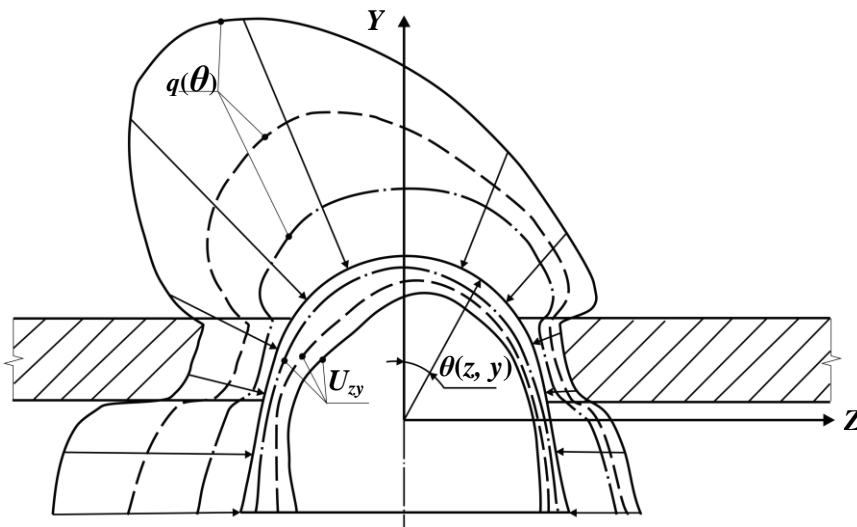


Рис. 2. Схема розвитку проявів гірського тиску по контуру $\theta(z, y)$ виїмкової виробки в процесі наближення очисного вибою: U_{zy} – переміщення контуру, $q(\theta)$ – навантаження на кріпильну систему; \cdots на початку зони опорного тиску; \cdots посередині ділянки опорного тиску; — перед очисним вибоєм

– ширина області граничної рівноваги для робочого σ_2^p й неробочого σ_2^h бортів виробки розраховується за виразами

$$\sigma_2^p = U_2^{\delta} \frac{2K_1 - K_2}{2K_1 \cdot K_2};$$

$$\sigma_2^h = \frac{U_2^{\delta}}{2K_1}, \quad (2)$$

де U_2^{δ} – зближення боків виробки в зоні опорного тиску; K_1 і K_2 – емпіричні коефіцієнти для ділянок виробки відповідно поза зоною впливу очисних робіт і в зоні опорного тиску; всі

параметри визначаються за СОУ 10.1.00185790.011:2007;

– диференціація ширини знеміцнення вугілля, порід безпосередньої покрівлі й підосви пласта здійснюється використанням у розрахункових виразах U_2^b відповідних значень опору стисненню зазначених літологічних різниць.

Друга задача блоку II реалізована на базі класичного методу статички сипучого середовища з використанням розробок НГУ з визначення коефіцієнта стійкості призм ковзання усередині області знеміцнення і розрахунку навантаження q_j по j -ій ділянці контуру виробки з умови граничної рівноваги j -ої призми сповзання

$$\frac{M_{ym} + M_{qj}}{M_{zp}} = 1, \quad (3)$$

де M_{ym} і M_{zp} – моменти від дії утримуючих і зрушуючих зусиль по j -ій ділянці контуру; M_{qj} – момент від дії мінімально достатньої реакції q_j кріпильної системи.

Алгоритм розрахунків пояснений схемами на рис. 3, на яких відображено сім'ю довільних ліній ковзання. Контур виробки розбивається на кінцеве число ділянок δ_j , крайні точки j' яких служать початком ліній ковзання, що простягаються до границі межі граничної рівноваги, що розбита на низку сегментів, ступінь стійкості яких обумовлює навантаження на кріпильну систему відповідно до умови (1). Вибір положення j -ої лінії ковзання з можливих варіантів (наприклад, від точки j' до точок j'' , j_1'' , j_2'' і т.д. на рис. 3, б) здійснений за критерієм мінімального значення коефіцієнта стійкості K_{cm}^{min} – цій лінії ковзання відповідає максимальне навантаження q_j на даній ділянці δ_j . Узагальнення кусково-лінійного навантаження q_j по контуру виробки у вигляді певної епюри $q(\theta)$ здійснено за допомогою тригонометричного ряду.

Відповідно до розробленої методики проведений комплекс розра-

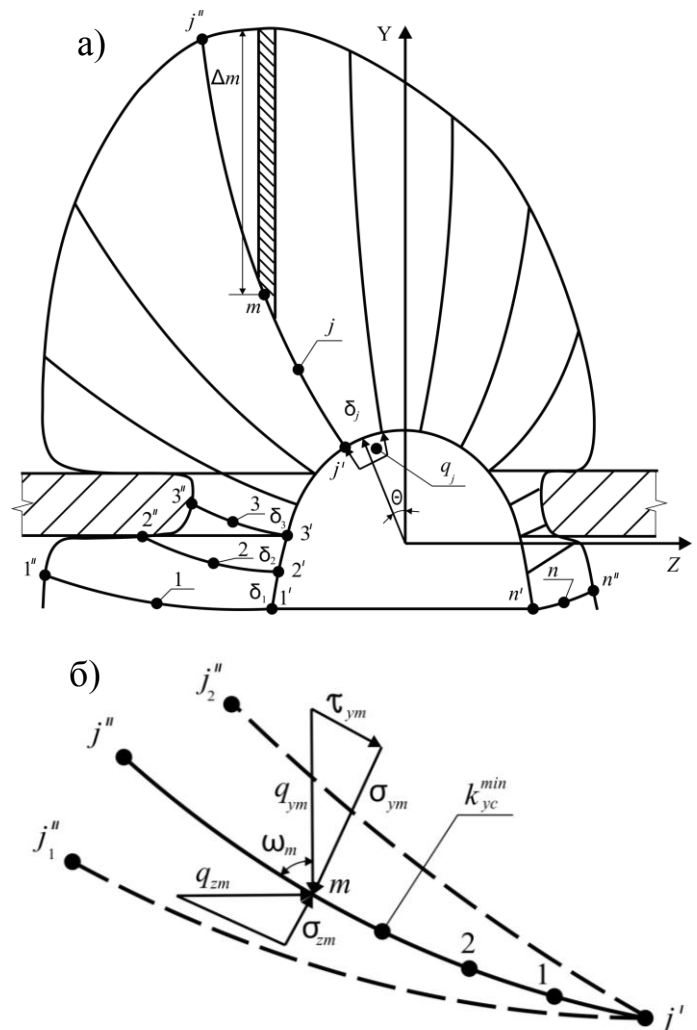


Рис. 3. Схеми до визначення епюри навантаження $q(\theta)$ на кріпильну систему (а) і вибору лінії ковзання з мінімальним коефіцієнтом K_{cm}^{min} стійкості (б)

хунків із визначення усіх складових навантаження на кріпильну систему, які представлені: q_v – вертикальне навантаження в замку склепіння; q_b – бічне навантаження з боку неробочого борта виробки по контакту вугільного пласта й безпосередньої покрівлі; K – показник асиметрії навантаження у покрівлі виробки; $(q_b)_1$ – бічне навантаження з боку вугільного пласта в неробочому борті виробки; $(q_b)_2$ – бічне навантаження з боку вугільного пласта в робочому борту виробки; $(q_b)_3$ – бічне навантаження за глибиною підривки безпосередньої підосви з боку робочого борта виробки. Для перерахованих шести параметрів навантаження кріпильної системи з використанням методів кореляційно-дисперсійного аналізу результатів розрахунків отримані наступні рівняння регресії

$$\left. \begin{aligned} q_v &= 18,5h_2(0,25 + 0,15B)(1 - 0,4tg\varphi); \\ q_b &= 156h_2^{0,42}(0,83 - 0,016\varphi)[1 - \exp(-0,3h_2)]; \\ K &= 12,8h_2^{0,85}(1 - 0,76tg\varphi)(0,25 + 0,15B)^{-1}; \\ (q_b)_1 &= 11,2h_2^{0,6}(1,05 - 0,02\varphi_y)(0,8 + 0,55m_y); \\ (q_b)_2 &= 13,6(1,2 + h_2^{0,8})(1,1 - 0,018\varphi_y)(0,85 + 0,4m_y); \\ (q_b)_3 &= 36,5h_2^{0,9}(2,3 + h_2^{0,7})(0,75 - 0,012\varphi), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де h_2 – висота склепіння граничної рівноваги в зоні опорного тиску, м, визначається за СОУ 10.1.00185790.011:2007; B – ширина виробки в проходці, м; h_2 – глибина підривки підосви пласта, м; m_y – потужність вугільного пласта, м; φ і φ_y – кути внутрішнього тертя вугільного пласта й вміщуючих порід; у формулі (2) навантаження вимірюється в кПа.

Система виразів (4) склала основу для рішення першої задачі блоку III щодо визначення внутрішніх зусиль у рамному кріпленні з урахуванням реакції анкерів через просторово-податливі зв'язки. При цьому була використана відома апроксимація (незамкнута круглоциліндрична) реальної форми найбільш застосовуваних кріплень серій КШПУ і КМП – АЗ, обґрунтована в розробках ДВНЗ «НГУ», яка володіє цілком припустимою похибкою і дозволяє зробити наступну оптимізацію внутрішніх зусиль у рамі аналітичними методами будівельної механіки. При побудові розрахункової схеми рамно-анкерного кріплення також використані результати досліджень ДВНЗ «НГУ» з обґрунтування найбільш ефективного конструктивного рішення (при протидії підвищеним бічним навантаженням) – установлення по два бічних анкера з боку робочого й неробочого бортів виробки. У процесі різноманітних розрахунків рамно-анкерного кріплення методами будівельної механіки виявлено 9 ділянок її контуру, де можлива поява максимумів згинального моменту M_n ($n=1, \dots, 9$). Для визначення кожного з них складена система рівнянь, чисельний аналіз якої дозволив установити закономірності зв'язку кожного максимуму M_n з усіма складовими навантаження за формулами (4) і параметрами установлення анкерів: N_i – реакція впливу i -го анкера ($i=1, \dots, 4$) на раму, θ_{N_i} – кутова координата розміщення анкера (за нею визначається висота установлення анкера

y_i від підшви виробки). Фрагменти цих закономірностей для відносних значень $\frac{M_n}{q_\delta \cdot r}$ максимумів згинального моменту ($r = 0,5B$) наведені на рис. 4.

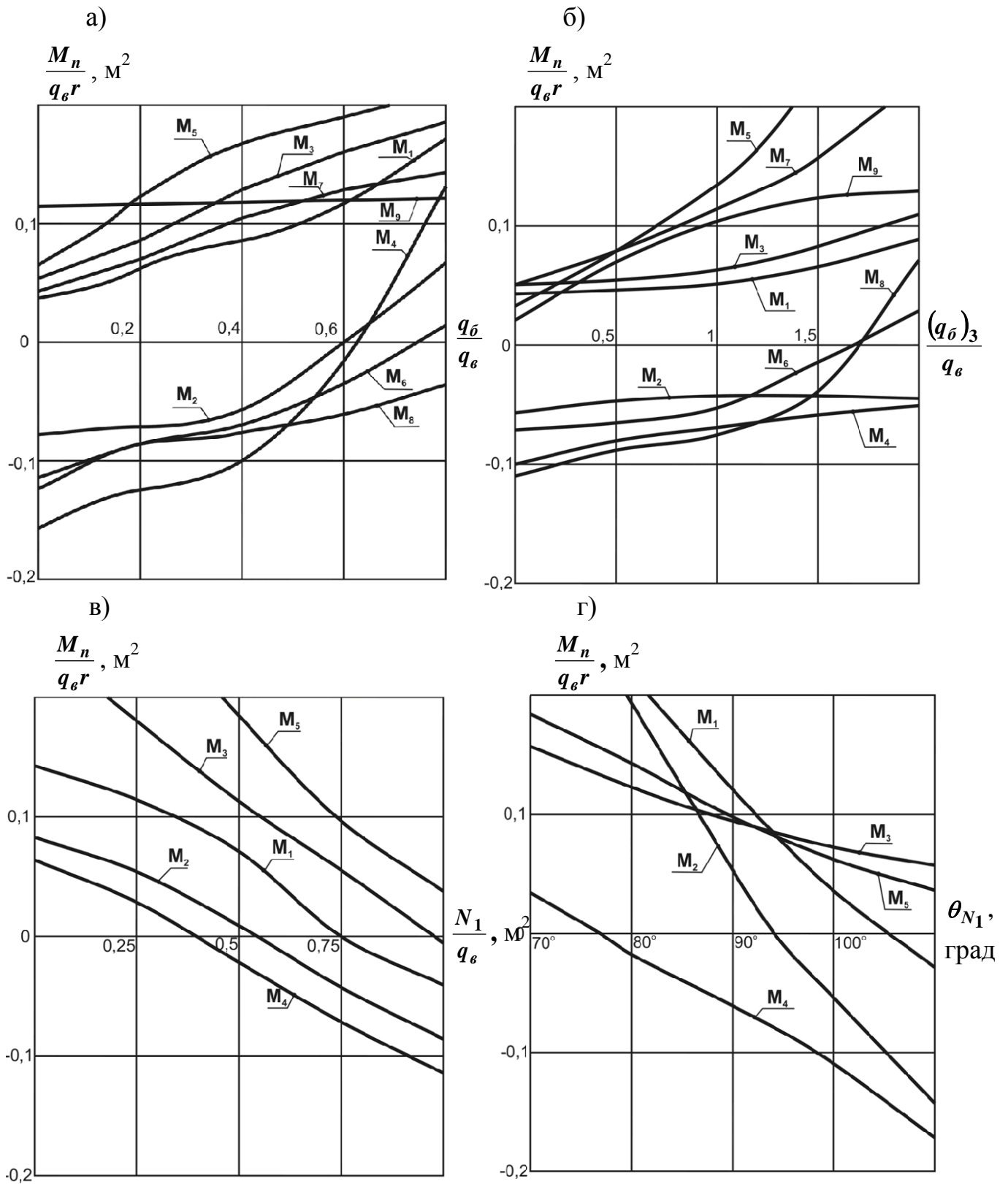


Рис. 4. Зв'язок максимумів згинального моменту в рамному кріпленні з параметрами: а) q_δ / q_δ ; б) $(q_\delta)_3 / q_\delta$; в) N_1 / q_δ ; г) θ_{N_1}

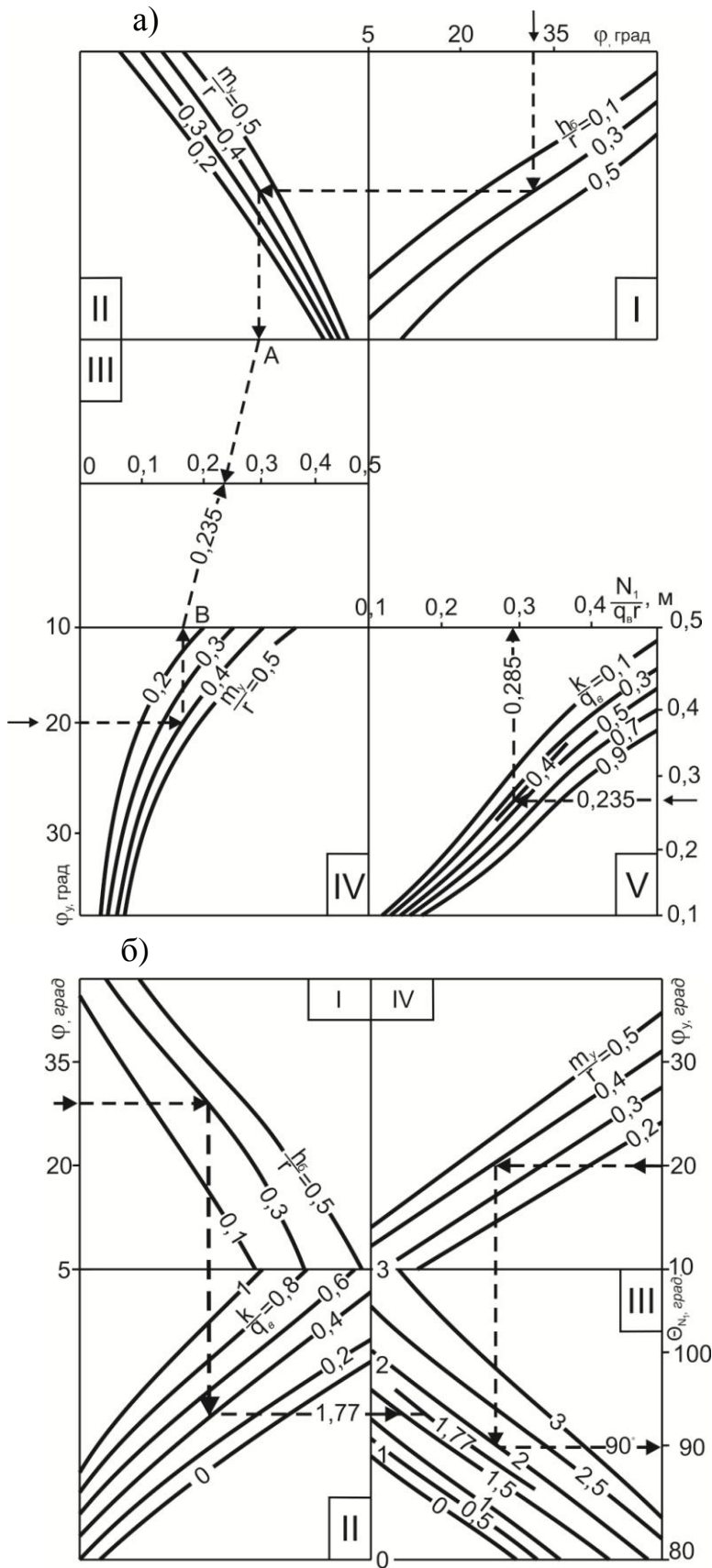


Рис. 5. Номограми для розрахунку необхідної реакції (а) і координати установаження (б) нижнього анкера з боку неробочого борту виробки

Виявлення повного набору закономірностей зв'язку максимумів згинального моменту в будь-якій точці контуру рами з параметрами навантаження кріпильної системи й установаження анкерів дозволило мінімізувати M_n на основі існуючих принципів оптимізації параметрів рамно-анкерного кріплення. Зниження максимумів M_n тотожно підвищенню несучої здатності рамно-анкерного кріплення при незмінних її параметрах, або скороченню металоємності при збереженні на постійному рівні несучої здатності – обидва напрями відповідають стратегії ресурсозбереження при підтримці виїмкових виробок. У результаті отримані закономірності зв'язку раціональних параметрів θ_{N_i} і N_i установаження анкерів з розмірами виробки й епюрою навантаження на кріпильну систему. Ці закономірності доведені до рівня оперативного практичного використання шляхом побудови комплексу розрахункових номограм, частина яких наведена на рис. 5 (визначення параметрів N_1 і θ_{N_1} установаження нижнього анкера з боку неробочого борту виробки).

Для реалізації умов ресурсозберігаючої підтримки виїмкових виробок шляхом регулювання режиму роботи анкерів сформульована низка вимог і обрана найбільш ефективна конструкція податливого анкера з розпірним еластичним замком, що працює практично в режимі постійного й регульованого опору відповідно до досліджень ДВНЗ «НГУ».

Удосконалено метод розрахунку параметрів анкера постійного опору, що виконується за заданою величиною реакції N_i опору й охоплює його конструктивні елементи. Як технологічний параметр, розраховується величина регульованого моменту розпору M_p еластичного замка анкера, що відповідає необхідній реакції N_i

$$M_p(N_i) = \frac{(M_p)_{max}}{\Phi \sigma_{cm}} N_i, \quad (5)$$

$$\text{де } (M_p)_{max} = (\epsilon^2 - a^2) \sigma_{cm} \left[d_1 \left(\frac{t}{d_1 + 2a} + 1,81 f_1 \right) \left(1 - 0,73 \frac{t f_1}{d_1 + 2a} \right)^{-1} + (a + \epsilon) f_1 \right];$$

$$\Phi = 7,35 d_{uu} f_{мер} \sqrt{\frac{E_{II}}{G} (d_{uu}^2 - d_1^2)} \left\{ 1 - \exp \left[-0,094 l_1 \sqrt{\frac{G}{E_{II} (d_{uu}^2 - d_1^2)}} \right] \right\};$$

$$l_1 = 0,25 l \left(8 - \frac{d_{uu}^2 - d_1^2}{\epsilon^2 - a^2} \right);$$

σ_{cm} – опір породних стінок шпуру одноосьовому стисненню; ϵ і a – зовнішній і внутрішній радіуси еластичних втулок; d_{uu} і d_1 – діаметр шпура й несучого стрижня анкера; t і f_1 – крок нарізного сполучення і коефіцієнт тертя в ньому; $f_{мер}$ – коефіцієнт тертя матеріалу еластичного замка по породі; l – довжина еластичного замка; E_{II} – модуль деформації породи; G – модуль зрушення матеріалу еластичного замка. У підсумку отримані всі необхідні співвідношення не тільки для вибору параметрів анкерів з розпирним еластичним замком, але й залежність для керування режимом роботи анкерів за допомогою регулювання крутного моменту в процесі їх установа й експлуатації, що оформлено у відповідний інженерний метод розрахунку.

Для обґрунтування вірогідності запропонованих методів розрахунку навантаження на кріпильну систему й вибору параметрів установа анкерів з метою підвищення стійкості виїмкових виробок був проведений комплекс шахтних досліджень багатоцільового призначення з перевірки основних висновків і рекомендацій. За розробленою методикою відібрані дві виїмкові ділянки на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Для одержання об'єктивної інформації дослідження проведені на трьох ділянках в обох виробках довжиною не менш 80 м.

Закономірності розвитку проявів гірського тиску встановлені за різницею вимірів відстаней y_i і z_i між довільним перерізом виробки на деякому видаленні X від очисного вибою та «нульовим» перерізом відліку. Результати вимірів підтверджують стабільність зниження зближень покрівлі й підосви на 25 – 33%, а боків виїмкових виробок – на 54 – 65%. Це дозволяє знизити втрати перерізу на 26,5 – 37,0% і підвищити надійність виконання технологічних операцій у межах виїмкової ділянки.

Таким чином, за результатами шахтних досліджень, що включають комплексний аналіз ряду показників, підтверджена доцільність застосування (для підви-

щення стійкості виїмкових виробок) розроблених рекомендацій з диференційованого посилення рамного кріплення анкерами з регульованою деформаційно-силовою характеристикою, що максимально обмежує негативний вплив опорного тиску поперед очисного вибою.

Розроблена методика вибору параметрів рамно-анкерного кріплення прийнята до використання на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» у вигляді нормативно-технічної документації з підтримки виїмкових виробок на пологих пластах Донбасу. Очікуваний економічний ефект від підвищення стійкості виїмкових штреків становить 1235 грн на п.м. Загальний економічний ефект на ШП ім. М.І. Сташкова складає 800 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, надане нове рішення актуальної науково-технічної задачі обґрунтування параметрів керування станом кріпильної системи виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт на основі встановлених закономірностей зв'язку внутрішніх зусиль у рамному кріпленні з параметрами її асиметричного навантаження й установаження анкерів постійного опору, – це в комплексі оптимізує стан рамно-анкерного кріплення і створює умови досягнення максимальної несучої здатності системи, що забезпечує підвищення ефективності видобутку вугілля.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному:

1. На основі аналізу шахтних спостережень за проявами гірського тиску у виїмкових виробках у різних умовах їх підтримки й періодах експлуатації, аналітичних досліджень і положень керівних нормативних документів обґрунтований механізм формування навантаження в зоні опорного тиску поперед очисного вибою як найнебезпечнішої ділянки з погляду втрати стійкості кріпильної системи. Розроблено аргументацію щодо доцільності використання принципів положень діючих галузевих нормативних документів з корегуванням у плані врахування асиметрії навантаження кріпильної системи як одного з головних факторів підвищення надійності підтримки виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт.

2. Розкрито механізм формування навантаження на кріпильну систему в зоні опорного тиску, що дозволило обґрунтувати актуальність низки задач з виявлення особливостей підтримки виїмкових виробок. Насамперед, розвинені уявлення про утворення області граничного стану приконтурних порід, що характеризуються не тільки асиметрією форми, але й різкими змінами координат границі області, що найбільш адекватно відповідають реальним геомеханічним процесам в зоні опорного тиску поперед очисного вибою. Не порушуючи принципів керівних нормативних документів з прогнозування проявів гірського тиску, враховано диференційоване знеміцнення прилеглих порід (по контуру виробки), що відображено в розробленому методі розрахунку розмірів області граничної рівноваги навколо виїмкової виробки в зоні опорного тиску.

3. Комплекс різноманітних розрахунків з визначення параметрів епюри навантаження кріпильної системи акцентує увагу на наступних результатах:

– доведено формування істотного асиметричного навантаження на кріпильну систему не тільки в покрівлі, але й у боках виробки, що обумовлює різке зниження несучої здатності традиційних конструкцій рамних податливих кріплень (в основному серій КШПУ і КМП-А3), найбільш широко застосовуваних для підтримки виїмкових виробок;

– якщо в покрівлі асиметрична складова навантаження досягає 35 – 50% від вертикального навантаження в замку склепіння, то в боках виробки навантаження з боку її робочого борту в 2 – 3 рази й більше перевищує таке з боку неробочого борту; така асиметрія навантаження вимагає відповідних заходів щодо посилення кріпильної системи з боку очисного вибою, що наближається;

– бічне навантаження з боку робочого борту виробки найчастіше перевищує вертикальне навантаження в замку її склепіння; така епюра навантаження не відповідає конструктивним особливостям рамних податливих кріплень, що слабо опираються бічним навантаженням і потребуючим посилення в бічному напрямку;

– для аргументованого вибору параметрів засобів посилення кріпильної системи отримані залежності зв'язку складових навантаження по всьому контуру виробки з геомеханічними й гірничотехнічними характеристиками підтримки виїмкової виробки.

4. Виявлено комплекс закономірностей зв'язку максимумів згинального моменту в рамному кріпленні як з параметрами навантаження з боку породного масиву, так і з параметрами установаження анкерів, які на базі критеріїв мінімізації НДС рами дозволили встановити раціональні співвідношення конструктивних параметрів рамно-анкерного кріплення залежно від епюри її навантаження. У результаті створений інженерний метод розрахунку параметрів рамно-анкерного кріплення, що дозволяє оперативно й з достатнім для практики ступенем точності визначити: координати установаження анкерів по контуру виробки; необхідну реакцію кожного анкера, диференційований вплив яких на певних ділянках контуру знижує максимальний згинальний момент у рамі до мінімально можливого значення, що лінійно пов'язано з підвищенням несучої здатності рамно-анкерного кріплення і дозволяє збільшувати крок його установаження або застосовувати більш легкий вид СВП.

5. Обґрунтована найбільш ефективна конструкція і розроблена методика розрахунку параметрів податливого анкера з розпірним еластичним замком, що завдяки своїй роботі в режимі постійного опору забезпечує можливість регулювання процесу адаптації епюри опору рамно-анкерного кріплення до характеру проявів гірського тиску відповідно до мінливої гірничо-геологічної ситуації підтримки виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт.

6. Шахтні дослідження закономірностей розвитку переміщень породного контуру виїмкових виробок у міру підходу очисного вибою підтвердили переваги розробленого методу диференційованого посилення рамного кріплення за допомогою анкерів постійного опору. Для різних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов ведення очисних робіт виявлені однотипні закономірності: обмеження зближень покрівлі й підшви на 25 – 33%; зменшення зближень боків на 54 – 65%; втрата перерізів штреків знизилася на 26,5 – 37%.

7. Розроблено загальну інженерну методику розрахунку параметрів керування стійкістю в зоні впливу очисних робіт виїмкової виробки, що дозволяє за допомогою комплексу номограм і розрахункових формул оперативно зробити всі обчислення в замкнутому вигляді від вихідної бази даних про гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови підтримки виробки до конкретних параметрів кожного елемента кріпильної системи.

8. Методика розрахунку параметрів підтримки повторно використовуваних виїмкових виробок прийнята до використання на шахтах Західного Донбасу (ШП «Ювілейна» ПСП «ШУ Першотравенське» і ШП ім. М.І. Сташкова ПСП «ШУ Дніпровське»). Очікуваний економічний ефект від підвищення стійкості виїмкових штреків становить 1235 грн на п.м. Загальний економічний ефект по ШП ім. М.І. Сташкова складає 800 тис. грн.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Свистун Р.Н. Аналитико-экспериментальные исследования повышения устойчивости выемочных выработок и расчет параметров крепежной системы [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Свистун, Р.Н. Свистун. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – 178 с.

2. Свистун Р.Н. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.В. Мартовицкий, А.Ф. Копылов. – Днепропетровск: ТОВ «Підприємство «Дріант», 2010. – 328 с. (С. 56 – 79; 121 – 139).

3. Свистун Р.Н. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса» [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, А.М. Симанович, А.И. Коваль, В.В. Фомичев. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 426 с. (С. 191 – 220).

4. Svystun R. Exploration of Influence of Coal-Containing Massif Cracks Content on Strain-Stress State of Near-The-Contour Rocks of an Extraction Mine Working. – [Electronic resource] 427 KB (CD-ROM) / I. Kovalevska, G. Symanovych, V. Fomychov, R. Svystun // Szkoły Eksploatacji Podziemnej. – Krakow – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013.

5. Svystun R. Optimal parameters of wall bolts computation in the united bearing system of extraction workings frame-bolt support / V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, R. Svystun // "Mining of Mineral Deposits". – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013 – P. 5 – 9.

6. Свистун Р.Н. Прогноз и оценка достоверности расчета перемещений контура пластовой выработки [Текст] / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, Р.Н. Свистун // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2009. – Вып. 83. – С. 35 – 48.

7. Свистун Р.Н. Закономерности перемещений рамной крепи в зоне прохода людей и пучение пород почвы в зависимости от типоразмера пластовой выработки [Текст] / А.В. Вивчаренко, Р.Н. Свистун // Матер. междуна. конф. «Форум гірників». – Днепропетровск: НГУ, 2010. – С. 153 – 157.

8. Свистун Р.Н. Технологический регламент крепления и охраны выемочных выработок на пологих пластах Донбасса [Текст]: науч.-практ. пособие / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович и др. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – 106 с.

9. Свистун Р.Н. Исследование НДС горного массива при разной форме породного контура пластовой выработки [Текст] / И.А. Ковалевская, А.В. Козаченко, В.А. Хандрига, Р.Н. Свистун // Матер. V межд. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2011. – С. 153 – 158 с.

10. Свистун Р.Н. Закономерности связи приведенных напряжений в рамной крепи с глубиной расположения пластовой подготовительной выработки [Текст] / И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, Р.Н. Свистун, Л.Я. Фомичева // Матер. IV межд. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: НГУ, 2010. – С. 179 – 183 с.

11. Свистун Р.Н. Аналитические исследования по расчету рациональных параметров анкеров в составе рамно-анкерной крепи [Текст] / И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Д. Рябичев, Р.Н. Свистун // Матер. VI межд. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – С. 161 – 171 с.

12. Свистун Р.Н. Исследование НДС почвы и крепи горной выработки на сверхглубоких горизонтах [Текст] / И.А. Ковалевская, В.Г. Снигур, Р.Н. Свистун // Матер. VII межд. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С. 35 – 39.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] – написання розділів 8 – 11, аналіз конструкцій і режимів роботи елементів кріпильної системи; [2] – написання розділів 3 і 6; [3, 8, 7, 9] – аналіз закономірностей переміщень породного контуру пластових виробок; [4, 5, 7, 10 –12] – аналіз НДС елементів системи «масив – кріплення».

АНОТАЦІЯ

Свистун Р.М. Обґрунтування і розрахунок параметрів кріпильної системи виїмкових виробок з урахуванням асиметрії її навантаження. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин. Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2013.

Захищаються встановлені закономірності керування станом кріпильних систем виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт на базі регулювання процесів зрушення заанкерованих приконтурних порід і навантаження рамно-анкерного кріплення за допомогою вибору ресурсозберігаючих режимів роботи анкерів постійного опору. Отримано комплекс розрахункових виразів з прогнозування усіх компонент епюри навантаження по контуру виробки. З використанням існуючих моделей розрахунку рамно-анкерного кріплення виконаний комплекс досліджень з визначення внутрішніх зусиль у рамі залежно від її розмірів, компонент епюри навантаження і параметрів установаження анкерів. Установлені залеж-

ності піддані багатопараметричній оптимізації на основі критеріїв мінімізації НДС рамно-анкерного кріплення, у результаті чого отримані співвідношення зв'язку раціональних параметрів установаження анкерів з гірничо-геологічними й гірничотехнічними умовами підтримки виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт. Виявлені закономірності покладені в основу інженерного методу розрахунку ресурсозберігаючих параметрів рамно-анкерного кріплення. Для реалізації його положень удосконалений метод розрахунку параметрів анкера з розпірним еластичним замком для досягнення необхідного режиму роботи в складі рамно-анкерного кріплення.

Розроблені рекомендації пройшли всебічну перевірку при підтримці виїмкових виробок на шахтах Західного Донбасу. Шахтними дослідженнями встановлена стабільна закономірність зниження зближень покрівлі й підшви виробки на 25 – 33%, її боків – на 54 – 65%, що зменшило втрату перерізу в зоні опорного тиску на 26,5 – 37,0%. Для підвищення стійкості виїмкових виробок підтверджена доцільність застосування розроблених рекомендацій з диференційованого посилення рамного кріплення анкерами з регульованою деформаційно-силовою характеристикою, що максимально обмежує негативний вплив опорного тиску поперед очисного вибою.

Розроблена методика вибору параметрів рамно-анкерного кріплення прийнята до використання на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і впроваджена у вигляді нормативно-технічної документації з підтримки виїмкових виробок на пологих пластах Донбасу. Очікуваний економічний ефект від підвищення стійкості виїмкових штреків склав 1235 грн на п.м. Основний зміст роботи відображений у 3 монографіях, 3 статтях, 5 доповідях на міжнародних конференціях і 1 технологічному регламенті.

Ключові слова: гірський масив, виїмкова виробка, стійкість, вплив очисних робіт, параметри рамно-анкерного кріплення, ресурсозбереження.

АННОТАЦІЯ

Свистун Р.Н. Обоснование и расчет параметров крепежной системы выемочных выработок с учетом асимметрии ее нагружения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2013.

Защищаются установленные закономерности управления состоянием крепежных систем выемочных выработок в зоне влияния очистных работ на базе регулирования процессов сдвижения заанкерованных приконтурных пород и нагружения рамно-анкерной крепи посредством выбора ресурсосберегающих режимов работы анкеров постоянного сопротивления. Обоснован новый подход к прогнозированию нагрузки на крепежную систему в зоне опорного давления впереди очистного забоя, сочетающий учет основных расчетных положений действующих нормативных документов и особенности проявлений горного давления в виде формирования асимметричной нагрузки в кровле в сторону приближающей-

ся лавы, одностороннее опорное давление в рабочем борту выработки и дифференцированные по ее высоте механические характеристики угольного пласта и пород непосредственной кровли и почвы. Получен комплекс расчетных выражений по прогнозированию всех компонентов эпюры нагрузки по контуру выработки. С использованием существующих моделей расчета рамно-анкерной крепи выполнен комплекс исследований по определению внутренних усилий в раме в зависимости от ее размеров, компонент эпюры нагрузки и параметров установки анкеров. Установленные зависимости подвергнуты многопараметрической оптимизации на основе известных критериев минимизации НДС рамно-анкерной крепи, в результате чего получены соотношения связи рациональных параметров установки анкеров с горно-геологическими и горнотехническими условиями поддержания выемочных выработок в зоне влияния очистных работ. Выявленные закономерности положены в основу инженерного метода расчета ресурсосберегающих параметров рамно-анкерной крепи. Для реализации его положений обоснована целесообразность применения конструкции анкера с распорным эластичным замком и усовершенствован метод расчета его параметров для достижения требуемого режима работы в составе рамно-анкерной крепи.

Разработанные рекомендации прошли всестороннюю проверку при поддержании выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса. Шахтными исследованиями установлена стабильная закономерность снижения сближений кровли и почвы выработки на 25 – 33%, ее боков – на 54 – 65%, что уменьшило потерю сечения в зоне опорного давления на 26,5 – 37,0%. Для повышения устойчивости выемочных выработок подтверждена целесообразность применения разработанных рекомендаций по дифференцированному усилению рамной крепи анкерами с регулируемой деформационно-силовой характеристикой, что максимально ограничивает негативное влияние опорного давления впереди очистного забоя.

Разработанная методика выбора параметров рамно-анкерной крепи принята к использованию на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и внедрена в виде нормативно-технической документации по поддержанию выемочных выработок на пологих пластах Донбасса. Ожидаемый экономический эффект от повышения устойчивости выемочных штреков составил 1235 грн на п.м. Основное содержание работы отражено в 3 монографиях, 3 статьях, 5 докладах на международных конференциях и 1 технологическом регламенте.

Ключевые слова: горный массив, выемочная выработка, устойчивость, влияние очистных работ, параметры рамно-анкерной крепи, ресурсосбережение.

ABSTRACT

Svystun R.M. Justification and calculation parameters of mine workings support system taking into account the skewness loading. – Manuscript.

Candidate of technical sciences' dissertation on specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. SHEI "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2013.

The established control regularities of condition mine workings support system in the zone of influence stope working on the basis of controlling displacement

processes of end-anchored marginal rock and loading frame-bolting support by means of choosing resource-saving regime of anchors working constant resistance are defended. The complex calculated expressions by forecasting all components of load intensity diagram, along of the mine working contour have been derived. The researches for determination the internal forces in the frame depending on its size, component of load intensity diagram and anchors installation parameters were carried out with using existing calculating models of frame-bolting support. Established dependences are subjected to multiparameter optimization, based on the criteria of minimization mode of deformation frame-bolting support, in the result a correlation constraint rational parameters of anchors installations with geological and mining conditions supporting mine working in the stope influence zone are derived. The revealed regularities are the basis for an engineering method of calculation of resource-saving parameters frame-bolting support. For implementation of its states improved method calculation of anchors parameters with the spacer elastic lock to achieve the required working regime composed of frame-bolting support.

The developed recommendations have been fully tested during support mine working in Western Donbass mines. The mine researches established stability regularity of reduce roof and floor convergence mine working by 25 – 33%, and sides by 54 – 65% that reduced cross-section loss in the zone of abutment pressure by 26,5 – 37,0%. For improving stability of mine workings confirmed the feasibility of the developed recommendations on differential strengthening frame support by anchors with adjustable force deformation characteristic that limits the maximum negative impact of abutment pressure ahead of stope.

The developed methodology of selection parameters frame-bolting support accepted for use in PJSC “DTEK Pavlogradugol” mines and implemented in the normative-technical standards for support mine workings on flat seams of Donbass. The economic effect improving stability mine workings expected up to 1235 UAH r.m. The main content of the work is reflected in 3 monographs, 3 articles, 5 papers at international conferences and 1 technological rules.

Key words: massif, mine working, stability, influence of stope working, parameters of frame-bolting support, resource-saving.

СВИСТУН Руслан Миколайович

**ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ
КРІПІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЇМКОВИХ ВИРОБОК
З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ ЇЇ НАВАНТАЖЕННЯ**

(Автореферат)

Підписано до друку 03.03.14. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №56.

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К Маркса, 19