

The article presents the results of laboratory tests of shotcrete specimens on tensile bending. Prototypes are pre-destructed and recovered specimens with surfaces glued with PVA emulsion. Control samples are standard samples, which are used to carry out the comparative analysis of the test results. The article presents the diagrams of strain deflection from the load for experimental

and control samples. The strength limits of the samples on tensile bending are defined.

Keywords: *fibrous concrete, pre-crack, PVA emulsion, elasticity of flexure test*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Ша-шенком. Дата надходження рукопису 17.09.10

УДК 624.131

В.Г. Кравець, д-р техн. наук, проф.,
Н.В. Зуєвська, канд. техн. наук, доц.,
Ю.В. Волик

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут“, м. Київ, Україна,
e-mail: turtrans@email.ua

ЧИСЕЛЬНА ЗАДАЧА ПРО МЕТАННЯ ЩЕБЕНЮ В ҐРУНТ ВИБУХОМ ЦИЛІНДРИЧНОГО ЗАРЯДУ

V.H. Kravets, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
N.V. Zuyevska, Cand. Sci. (Tech.), Associate professor,
Yu.V. Volyk

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, e-mail: turtrans@email.ua

THE NUMERICAL PROBLEM OF THROWING GRAVEL INTO THE SOIL BY EXPLOSION OF A CYLINDRICAL CHARGE

Розглянуто математичну модель проникнення щебеню в ґрунтовий масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду вибухових речовин (ВР), що дозволяє описувати напружено-деформований стан ґрунту і частинок щебеню при різних фізико-механічних і геометричних параметрах аналізованих об'єктів. При проникненні щебеню в ґрунт відбувається його ущільнення, причому на однакових відстанях великі значення об'ємної деформації досягаються в ґрунті з більшою вільною пористістю.

Ключові слова: *математична модель, просядний ґрунт, проникнення щебеню, циліндричний заряд*

Задачі з дослідження особливостей взаємодії проникаючого тіла і природного середовища часто виникають на практиці. Теорія удару з великими швидкостями вперше була розроблена К.П. Станковичем, Х.А. Рахматулінім, Зельдовичем і Райзером [1–3]. Цій темі присвячені численні дослідження [4, 5], де приймаються різні гіпотези про взаємодіючі об'єкти.

У роботі розглядається математична модель проникнення щебеню в ґрунтовий масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду вибухових речовин (ВР) (рис. 1), що дозволяє описувати напружено-деформований стан ґрунту і частинок щебеню при різних фізико-механічних і геометричних параметрах аналізованих об'єктів.

При цьому процес розбивається на два етапи. На першому етапі розглядається рух частинок щебеню і продуктів вибуху при миттєвій хвильовій детонації. На другому досліджується процес руху щебеню та ґрунту.

Постановка задачі про метання щебеню в ґрунт за допомогою вибуху циліндричного заряду ВР здійснювалася наступним чином. Щоб виключити вплив кінців заряду і нерадіальність розльоту продуктів детонації, заряд вважався нескінченним, а детонація – миттєвою. Після вибуху заряду ВР продукти детонації (ПД) розширюються і захоплюють за собою частки щебеню, прискорюючи і прогріваючи їх до високої температури. Після того як продукти вибуху досягають кордону з

ґрунтом, виникає відображена ударна хвиля, яка призводить до гальмування частинок. Ступінь гальмування визначається параметрами відбитої хвилі і частинок щебеню. Очевидно, що більш дрібні частинки повинні відчувати більш сильне гальмування.

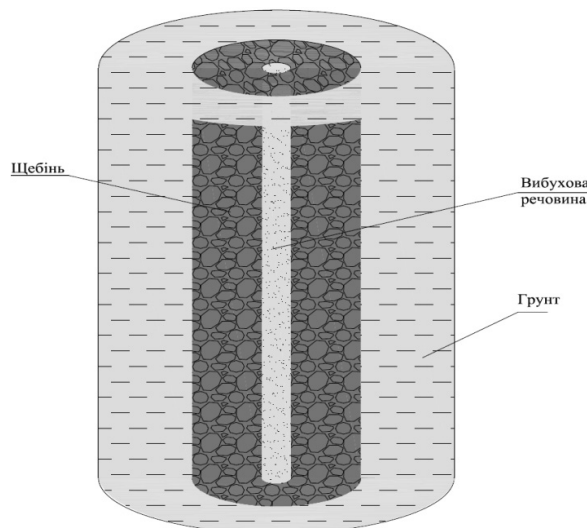


Рис. 1. Циліндричний заряд хімічної вибухової речовини (ВР), поміщеної в порожнину, заповнену щебенем, розташований у ґрунтовому масиві

Розліт продуктів детонації повинен описуватися стандартними рівняннями динаміки суцільного сере-

довища, що стискається. Ці рівняння у формі законів збереження маси, імпульсу і енергії для випадку циліндричної симетрії мають вигляд

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u x) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2 x + p x) = p; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho x \left(E + \frac{u^2}{2}\right)\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho u x \left(E + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho}\right)\right) = 0, \quad (3)$$

де ρ, u, E, P – щільність, швидкість, внутрішня енергія і тиск газу; x – просторова координата; t – час.

Рівнянням стану ПД є рівнянням стану ідеального газу

$$p = \rho R T, \quad (4)$$

де R – універсальна газова стала; T – температура газу.

Система рівнянь (1)– (4) є замкнутою системою для визначення термодинамічних величин ПД. Для чисельного розв’язання поставленої задачі використовувалася неявна різницева схема „предиктор-коректор“, стійка при будь-якому відношенні $\Delta t / \Delta h$ [6, 7].

Використовувана різницева схема вимагає запису рівнянь руху суцільного середовища в характеристичній формі, яка для випадку циліндричної симетрії має вигляд

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial t}\right) + (u + c) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial x}\right) = -\frac{uc}{x};$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial t}\right) + (u - c) \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial x}\right) = \frac{uc}{x};$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = 0,$$

де c – швидкість звуку; S – ентропія.

Вважається, що всі частки щебеню під дією продуктів вибуху, що розширюються, рухаються компактною зоною, тобто, що параметри і координати всіх частинок близькі між собою, і їх можна описати параметрами однієї „міченої“ частинки з даного шару.

Рівняння руху міченої частинки має вигляд

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{2} \pi r^2 \rho_2 C_s |u - v| (u - v),$$

де m – маса частинки; x – просторова координата частинки; t – час; r – радіус частинки; C_s – коефіцієнт опору; ρ_2 – щільність щебеню; u – швидкість ПД; v – швидкість частки щебеню.

Враховуючи, що для маси і швидкості частки маємо вираз

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_2, \quad \frac{dx}{dt} = v,$$

отримаємо рівняння, що визначає швидкість частки від часу

$$\frac{dv}{dt} = \frac{3 \rho_2 C_s |u - v|}{8 r \rho_2},$$

де C_s – коефіцієнт опору, що залежить від числа Рейнольдса частинки.

У розрахунках приймалося, що діаметр заряду ВР становив $d_0 = 0,04$ м, діаметр свердловини складав $d_{св} = 0,250$ м. Як ВР використовувався амоніт №6ЖВ. Детонаційні характеристики амоніту № 6ЖВ наступні: $P_n = 3,248 \cdot 10^9$ Па; $\rho_n = 1000$ кг/м³;

$D_0 = 4340$ м/с; $Q = 1030$ ккал/кг; $\gamma = 1,25$.

Фізико-механічні характеристики щебеню:

$\rho = 1900$ кг/м³ – насипна щільність матеріалу частинок. Діаметр частинок щебеню приймався рівним 20 і 40 мм. Відзначимо, що при діаметрі частинки щебеню, рівному 20 мм, по радіусу порожнини міститься 5–6 частинок, а при діаметрі, рівному 40 мм – 3 частинки, відповідно.

На рис. 2 наведені графіки швидкості в системі „ПД – щебінь“ у різні моменти часу при вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ. По осі ординат відкладені значення функції в системі СІ, а по осі абсцис – відстань від осі заряду до кордону свердловини з ґрунтом.

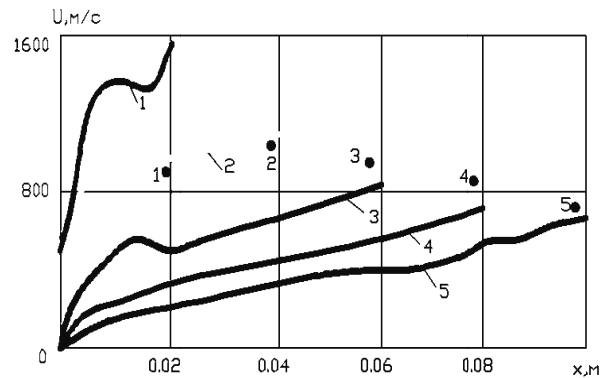


Рис. 2. Розподіл швидкості під час вибуху циліндричного заряду амоніту №6ЖВ в різні моменти часу: 1 – вихід ударної хвилі на межу „продукти детонації – щебінь“; 2, 3, 4, 5 – вихід хвилі на відповідну частку щебеню (діаметр частинки дорівнює 20 мм)

З рис. 2 видно, що частки щебеню, що безпосередньо примикають до ПД, набувають швидкість близько 1000 м/с. Далі ця швидкість зростає незначно, але починає перевищувати швидкість ПД. З аналізу залежностей також впливає, що при досягненні хвилею кордону зі щебенем відбувається стрибок швидкості, обумовлений виходом хвилі з менш щільного середовища в більш щільне середовище (ефект від-

биття від твердої стінки). При цьому виникає відображена ударна хвиля, яка гальмує потік газу, що набігає. Фронт відбитої ударної хвилі рухається від контактної розриву „ПД – щєбінь“ до осі заряду зі змінною швидкістю, що є наслідком зміни набігаючого потоку газу. Область відбитої ударної хвилі істотно впливає на швидкість частинок щєбеню, приводячи до їх різкого гальмування. Після проходження часткою щєбеню зони відбитої ударної хвилі її швидкість зменшилася більш, ніж на 250 м/с.

На рис. 3 представлені профілі тиску за фронтом розширення продуктів вибуху для розглянутого вище випадку.

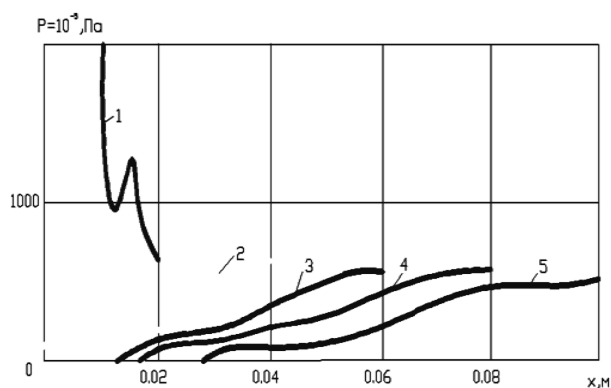


Рис. 3. Розподіл тиску при вибуху циліндричного заряду амоніту №6ЖВ в різні моменти часу: 1 – вихід ударної хвилі на кордон „продукти детонації – щєбінь“; 2, 3, 4, 5 – вихід хвилі на відповідну частку щєбеню (діаметр частинки дорівнює 20 мм)

При порівнянні результатів чисельного розрахунку для тих же параметрів заряду та типу ВР, але радіус частинок щєбеню збільшено в 2 рази, було встановлено, що хвильові процеси протікають за подібною схемою, але при збільшенні діаметру частинок щєбеню відбувається зниження швидкості на 400 м/с. Це пояснюється тим, що такі великі частки не встигають набрати достатньої швидкості в початковий момент руху, коли швидкість розльоту продуктів детонації найбільша. Очевидно, що зі збільшенням діаметра частинок щєбеню буде відбуватися подальше зменшення визначальних параметрів руху.

Далі проводилися чисельні розрахунки з метою з'ясування впливу детонаційних характеристик ВР на процес руху системи „продукти детонації – щєбінь“. Для цього було проведено порівняння вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ та вибуху циліндричного заряду грамоніту 79/21. Інші параметри залишилися колишніми. Було встановлено, що основні закономірності розвитку хвильових процесів у системі „продукти детонації – щєбінь“ зберігаються, проте під час вибуху заряду грамоніту 79/21 відбувається зменшення швидкості їх підльоту до стінки порожнини на 350 м/с і тиску на $5 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Результати чисельного розрахунку хвильових процесів у лесовидному суглинку при проникненні

щєбеню з різним вмістом компонентів. Фізико – механічні характеристики ґрунту наступні [8]: $\rho_{20} = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{30} = 2650 \text{ кг/м}^3$; $c_{20} = 1500 \text{ м/с}$; $c_{30} = 4500 \text{ м/с}$; $\gamma_2 = 7$; $\gamma_3 = 4$; $\rho_0 c_s^2 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\rho_0 c_D^2 = 3,67 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\rho_0 c_{SR}^2 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $m = 3$; $k = -1,2 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\gamma_S = 4$; $\gamma_D = 6$; $\gamma_{SR} = 8$; $\eta_D = 2000 \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\alpha_1 = 0,1 \dots 0,4$; $\alpha_2 = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2)$; $\alpha_3 = 0,6$; $y_0 = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\tau = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\tau = 12 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

При проникненні частинок щєбеню в ґрунт за останнім починає поширюватися ударна хвиля. На рис. 4 показані залежності радіальних напружень ґрунту від відстані.

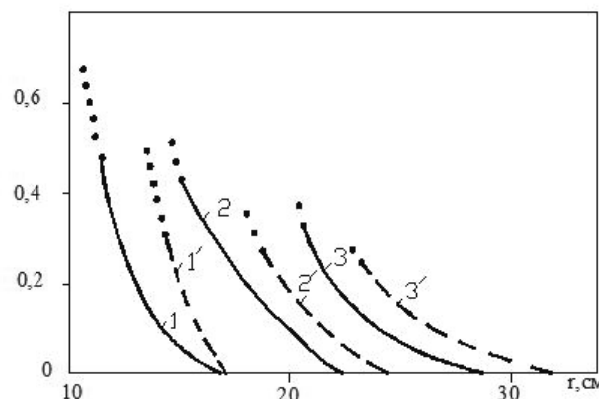


Рис. 4. Залежність радіальних напружень ґрунту від відстані при вибуху заряду амоніту № 6ЖВ при різних діаметрах частинок щєбеню: 1, 1' – $R = 20 \text{ мм}$; 2, 2' – $R = 40 \text{ мм}$; 3, 3' – $R = 70 \text{ мм}$. Суцільні лінії відповідають ґрунту з $\alpha_1 = 0,1$; штрихові – $\alpha_1 = 0,3$; чорні точки – частинкам щєбеню

З рис.4 видно, що в початковий момент часу при ударі щєбеню о ґрунт відбувається генерація ударної хвилі. Для одних і тих же діаметрів частинок щєбеню великі значення радіальних напружень досягаються в ґрунті з меншим вмістом порового простору, тобто, з більшою щільністю. Це пояснюється тим, що в такому середовищі дисипативні втрати при поширенні хвилі, пов'язані з в'язкими властивостями, менше, ніж у більш пористому середовищі.

На поверхні частинок максимальні нормальні напруги більше, ніж у ґрунті, і чим пізніше частка потрапляє в ґрунт, тим більше у неї напруга. Це пояснюється тим, що при впливі продуктів детонації на щєбінь, частинки, які знаходяться ближче до газової порожнини, отримують значний початковий тиск. При збільшенні діаметра частинок відбувається падіння напруги як у ґрунті, так і на самі частки, що є закономірним, тому, що більші частки при впливі на них тиску з боку продуктів детонації спочатку отримали менший тиск. Однак великі частинки, маючи велику інерцію, проникають у ґрунт на великі відстані: для частинок діаметром 20 мм – ця відстань ста-

новить 12–15 см, для 40 мм – 16–40 см, для 70 мм – 23–25 см. Але у відносних відстанях частки діаметром 20 мм проникнуть у ґрунт на глибину, рівну $6-7,5 R$, частинки діаметром 40 мм на $4-5 R$, частинки діаметром 70 мм – на $3-4,5 R$.

Зазначену закономірність можна простежити і на рис. 5, де в логарифмічних координатах наведені залежності максимальної швидкості частинок щебеню в ґрунті з $\alpha_1 = 0,1$

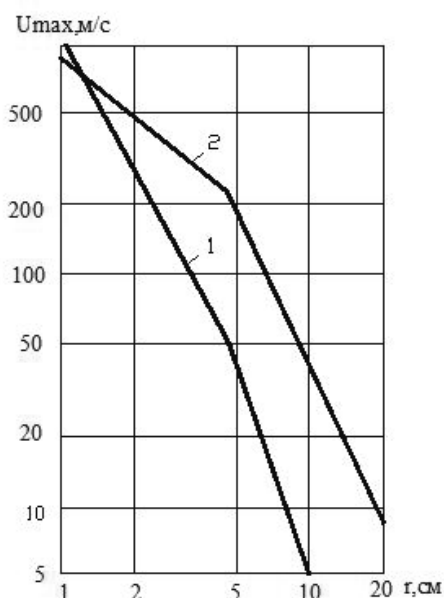


Рис. 5. Розподіл максимальної швидкості при проникненні частинок щебеню в ґрунт різного діаметру: 1 – $R = 20$ мм, 2 – $R = 40$ мм

З аналізу рис. 5 видно, що, маючи велику початкову швидкість, частинки меншого діаметра швидше гальмуються, що призводить до зниження їх швидкості і, як наслідок, до зменшення їх глибини проникнення в ґрунт.

Висновки.

1. У результаті математичного моделювання проникнення щебеню в ґрунтовий масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду ВР встановлено, що частинки щебеню меншого діаметра, при впливі на них продуктів детонації, розлітаються з більшою швидкістю і при більшому тиску, у порівнянні з більш великими частками. Під час вибуху заряду амоніту № 6ЖВ ці параметри вище, ніж при вибуху грамоніту 79/21, який володіє меншими детонаційними характеристиками.

2. Для одних і тих же діаметрів частинок щебеню великі значення радіальних напружень досягаються в ґрунті з меншим вмістом порового простору, тобто з більшою щільністю.

3. При збільшенні діаметра частинок відбувається падіння напруги як у ґрунті, так і на самі частки, але великі частки проникають у ґрунт на великі відстані. Глибина проникнення для розглянутих діаметрів складає від 3 до $7,5$ діаметрів.

4. При проникненні щебеню в ґрунт відбувається його ущільнення. Причому, на однакових відстанях великі значення об'ємної деформації досягаються в ґрунті з більшою вільною пористістю.

Список літератури / References

1. Зельдович Я.Б. Движение газа под действием кратковременного давления (удара) / Зельдович Я.Б. // Акустический журнал.– 1956.– №1.– Вып. 28. – С. 31–38.

Zeldovich Ya.B. The movement of gas under the influence of the short-term pressure (shock) / Zeldovich Ya.B. // Akusticheskiy zhurnal.– 1956.– No.1.– Issue 28. – P. 31–38.

2. Станюкович К.П. Неустойчивые движения сплошной среды / Станюкович К.П.– М.: Наука, 1971. – 854 с.

Stanyukovich K.P. Unsteady motion of continuous medium / Stanyukovich K.P.– М.: Nauka, 1971. – 854 p.

3. Рахматуллин Х.А. Распространение возмущений в нелинейной упругой среде/ Х.А. Рахматуллин, Г.С. Шапиро// Изв.АН СССР, ОТН.–1955.– №2(68). – С. 23 – 31.

Rakhmatullin Kh.A. Propagation of disturbances in a nonlinear elastic medium / Kh.A. Rakhmatullin, G.S Shapiro // Izv. AN USSR, OTN.– 1955.– No.2(68). – P. 23–31.

4. Александров Е.В. Прикладная теория и расчеты ударных систем. / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский.– М.: Наука, 1969. – 200с.

Aleksandrov Ye.V. Applied theory and calculations of shock systems / Ye.V. Aleksandrov, V.B. Sokolinskiy.– М.: Nauka, 1969. – 200 p.

5. Сагомоян А.Я. Проникание / Сагомоян А.Я.– М.: Из-во Моск. ун-та, 1974.

Sagomonyan A.Ya. Penetration / Sagomonyan A.Ya.– М.: Iz-vo Mosk. un-ta, 1974.

6. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики / Марчук Г.И.– М.: Наука, 1989. – 543 с.

Marchuk G.I. Methods of Computational Mathematics / Marchuk G.I.– М.: Nauka. – 543 p.

7. Самарский А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 256 с.

Samarskiy A.A. Computational methods / A.A. Samarskiy, A.V. Gulin. – М.: Nauka, 1989. – 256 p.

8. Лучко И.А. Механический эффект взрыва в грунтах / И.А. Лучко, В.А. Плаксий, Н.С. Ремез. – К.: Наук. думка, 1989. – 232 с.

Luchko I.A. The mechanical effect of the explosion in the ground / I.A. Luchko, V.A. Plaksiiy, N.S. Remez. – К.: Nauk. dumka, 1989. – 232 p.

Рассмотрена математическая модель проникновения щебня в ґрунтовый массив при динамическом воздействии на него взрыва цилиндрического заряда (ВВ), позволяющая описывать напряженно-деформированное состояние ґрунта и частиц щебня при различных физико-механических и геометрических параметрах анализируемых объектов. При проникновении щебня в ґрунт происходит его уплотнение, причем на одинаковых расстояниях большие значе-

ния объемной деформации достигаются в почве с большей свободной пористостью.

Ключевые слова: математическая модель, просадочный грунт, проникновение щебня, цилиндрический заряд

A mathematical model of gravel penetration into soil massif under dynamic impact of explosion of a cylindrical explosive charge is considered. It allows to describe the stress-strain state of soil and gravel particles with different physical-mechanical and geometrical parameters

of the analyzed objects. When breaking into the ground the gravel compress it, and at equal distances larger values of volumetric deformations are achieved in soil with high free porosity.

Keywords: mathematical model, subsiding soils, penetration of macadam, cylindrical charge

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук. О.В. Солюдяніним. Дата надходження рукопису 15.03.11

УДК 622.284.6

**Р.Н. Терещук, канд. техн. наук, доц.,
С.Н. Гапеев, канд. техн. наук, доц.**

Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: Tereschuk_rm@mail.ru

РАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

**R.N. Tereschuk, Cand. Sci. (Tech.), Associate professor,
S.N. Gapeyev, Cand. Sci. (Tech.), Associate professor**

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: Tereschuk_rm@mail.ru

RATIONAL WAY OF FASTENING OF DEVELOPMENT WORKINGS WITH ARCH AND ROOF BOLT SUPPORT

Выполнен анализ условий эксплуатации подготовительных выработок и характера работы крепи в различных горно-геологических условиях. Приведены результаты моделирования подготовительных выработок, закрепленных рамно-анкерной крепью, с использованием метода конечных элементов. Определены рациональные параметры рамно-анкерной крепи выработок, как вне зоны, так и в зоне влияния лавы для поддержания их в устойчивом состоянии. Рекомендован паспорт крепления подготовительных выработок для горно-геологических условий шахты „Комсомолец Донбасса“.

Ключевые слова: подготовительная выработка, метод конечных элементов, рамно-анкерная крепь

Введение. Проектирование горных выработок, состоящее в установлении формы поперечного сечения, размеров, выборе крепи соответствующей несущей способности и оснастки, основывается на данных геологических изысканий, объем которых, как правило, всегда ограничен. Несовершенство расчетных методов и недостаток исходных данных компенсируется введением в расчеты различного рода поправочных коэффициентов. Считается, что проектируемая таким образом выработка обеспечит безремонтное ее поддержание. Однако, породная среда, даже состоящая из одной литологической разности, существенно неоднородна в пространстве, неравномерно обводнена, содержит системы трещин, слабые контакты и прочие ослабляющие дефекты. С ростом глубины разработок все отчетливее проявляется тенденция горных пород к неравномерному выдавливанию со стороны почвы выработок. Мероприятия, направленные на предотвращение этого процесса, начинают выполняться, как правило, еще на стадии строительства горных предприятий.

Таким образом, влияние случайных факторов приводит к тому, что в процессе эксплуатации (а не-

редко и в период строительства) выработку для обеспечения ее устойчивости приходится ремонтировать, что существенно увеличивает ее стоимость.

Устойчивость горных выработок в условиях большого числа взаимовлияющих случайных факторов на стадии проектирования может быть обеспечена двумя путями:

1) установкой в выработке крепи с такой высокой несущей способностью, в конструкции которой учтены самые неблагоприятные условия ее нагружения горным давлением, с одновременным выполнением мероприятий, направленных на упрочнение или разгрузку приконтурного породного массива;

2) установкой менее дорогой крепи с более низкой несущей способностью с тем, чтобы, впоследствии, отдельные участки выработки, потерявшие устойчивость, подвергались ремонту и усилению.

Оптимальным образом будет спроектирована та выработка, затраты на сооружение и поддержание которой будут минимальны. Этого можно достичь двумя путями:

- снижением капитальных затрат;
- снижением эксплуатационных затрат.