

Кусень О.Б.

Товариство з обмеженою відповідальністю «Донецьксталь»

Назимко В.В.

Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України

НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ КУТІВ СКРУЧУВАННЯ УЗДОВЖ ПЕРИМЕТРУ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ

Наведено результати шахтних інструментальних спостережень пластичних деформацій спецпрофілю рамного піддатливого кріплення. Особлива увага надається дослідженню параметрів поздовжнього скручування, яке призводить до втрати стійкості рам й суттєвого зменшення її несучої спроможності.

Ключові слова: гірничий тиск, гірничі виробки, рамне кріплення, кути скручування.

Постановка проблеми. У зв'язку зі збільшенням глибини розробки корисних копалин неухильно загострюється проблема забезпечення стійкості гірничих виробок. Інтенсивний прояв гірського тиску супроводжується пластичним деформуванням спецпрофілю рамного піддатливого кріплення, що призводить до втрати його стійкості й несучої спроможності [1; 2]. Найбільш типовими пластичними деформаціями були поперечний та косий згини спецпрофілю [3]. Останнім часом у зв'язку з масштабним ефектом все частіше виникає поздовжнє скручування профілю кріплення [4], параметри якого раніше не вивчалися. Такі деформації призводять до втрати стійкості усєї рами, що загострює проблему забезпечення стійкості підготовчих виробок. Отже, **метою статті** є дослідження параметрів пластичного скручування спецпрофілю рамного піддатливого кріплення вздовж його периметру.

Виклад основного матеріалу. Характер розподілу поздовжнього скручування вздовж периметра рамного кріплення вивчався в умовах 11 східної лави шахти Комунарська. Пласт k_3 відпрацьовується на глибині 695 м (рівень 11 східного конвеєрного штреку). Потужність пласта складає 1,52 м. У підшві виробки залягає міцний пісковик, який на даній глибині зберігає абсолютну стійкість, оскільки він не розмокає і не здійснюється в утворений простір. У безпосередній покрівлі залягає шарувата товща аргілітів, алевролітів і вуглистих прошарків. Міцність порід на однісіне стискання не перевищує 40 МПа. Тому безпосередня покрівля нестійка в гірських виробках (у тому числі і в очисному вибої), а вся деформація підготовчих виробок позаду діючої лави відбувається передусім за рахунок зміщення порід покрівлі і певною мірою бічних стінок виробки.

Лава відпрацьовується прямим ходом з випередженням конвеєрного штреку на 40–50 м (рис. 1). Це означає, що умови для підтримки виробки складні, оскільки штрек потрапляє в зону динамічного опорного тиску попереду рухомого очисного вибою, а потім підтримується в зоні активних зрушень позаду лави.

Управління покрівлею в лаві здійснюють шляхом повного обвалення за допомогою комплексу ДМ. Пласт виймають комбайном РКУ-10. На сполученнях використовують секції М-87. Загалом стан лави задовільний. Лінія вибою рівна, секції незаштибовані, вивалів у покрівлі практично не спостерігається.

Сповзання комплексу компенсується відповідним розворотом лави (рис. 1а). Стан лави свідчить про хорошу виконавську дисципліну та задовільну якість кріплення. Сполучення конвеєрного штреку з лавою підтримується за допомогою штучної опори, що викладається з цегли (рис. 1б). Цегла виробляється пресуванням власними силами шахти з породи з добавкою в'язучого матеріалу. Цеглини розміром 30x15x10 см пресуються і висушуються. Міцність цегли на стиск становить 20–30 МПа. Обстеження стану штреку позаду лави показує, що штучна охоронна смуга зберігає свою міцність і стійкість на всій протяжності виїмкової виробки, що добре видно на ділянках, де руйнується сіткове затягування, і у випадкових місцях виникають оголення стінки штучної смуги. Ці ж ділянки свідчать про задовільнену якість викладки штучної охоронної споруди і відсутність пропусків, що дуже важливо для підтримки конвеєрної виробки в задовільному стані.

Вентиляційний штрек підтримується бутовою смугою. При цьому породу для закладки беруть

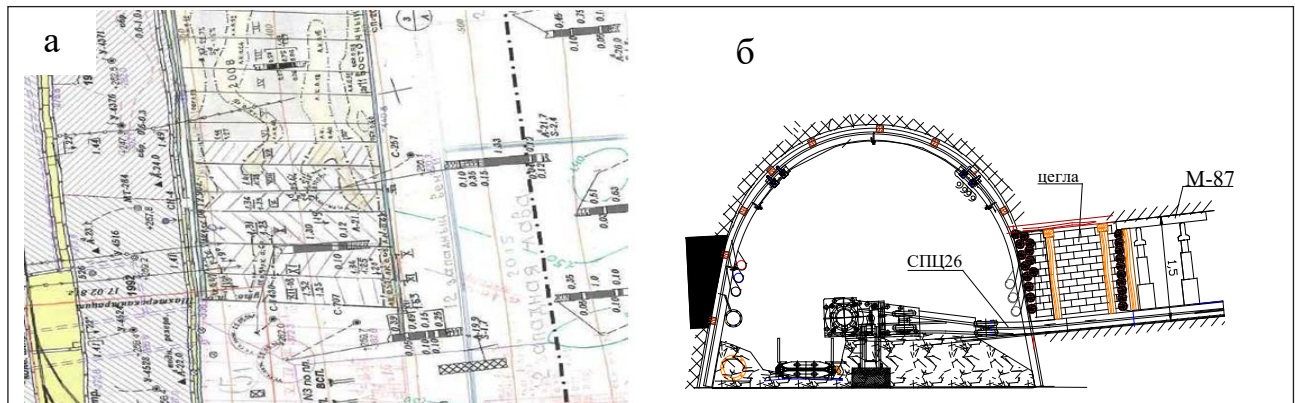


Рис. 1. Фрагмент плану гірничих виробок (а) й ескіз охорони сполучення очисного вибою з конвеєрним штреком (б)

від проходки вентиляційного штреку. Це раціональне рішення мінімізує витрати на зведення охоронної смуги, а також сприяє зниженню зольності вугілля.

Опорну смугу біля бровки конвеєрного штреку викладають з перев'язкою цегли на відстані 1 м від стінки виробки. Ширина штучної смуги з цегли складає 2 м. За потужності пласта 1,4–1,5 м ширина смуги в 1,3 рази більше за її висоту, що сприятливо відбивається на її стійкості і міцності. Відомо, що зразки породи підвищують межу міцності на стиск в 1,5–2 рази за збільшення відносини ширини зразка до його висоти більше одиниці [3].

Штучне охоронне спорудження викладають позаду механізованих секцій спряження лави зі штреком. При цьому між охоронною смугою і зоною повного обвалення залишають закріпленний дерев'яними стояками утворений простір на ширину 4–5 м, який по мірі посування лави обвалюють шляхом висмикування стояків. Простір між смугою і стінкою виробки закладають порожньою породою, яка підтримується сітчастим затягуванням з боку виробки. Ця демпферна зона підвищує стійкість штучної споруди і осідаючої на неї слабкої безпосередньої покрівлі.

На ділянках з нестійкою безпосередньою покрівлею сполучення лави з конвеєрним штреком зміцнюють установкою анкерного кріплення. При цьому використовують сталі-полімерні анкери довжиною 1,7 м з повною інкапсуляцією.

Загалом паспорт кріплення сполучення лави з конвеєрним штреком і якість робіт по його виконанню слід визнати практично бездоганними. За наявних темпів посування лави (60–70 м/міс) проблем з доставкою цегли не існує, крім того, є досить часу для якісного виконання операцій з управління покрівлею в зоні сполучення лави з виїмковою виробкою.

Конвеєрний штрек проходить попереду лави з випередженням її на 40–50 м. Це дозволяє рознести очисні і прохідницькі процеси у просторі і усунути можливість затоплення нижньої частини ніші, яка виймається для розміщення приводу лавного конвеєра.

Виробку перетином у світлі 21 м² проводять буро-підричним способом. Кріплення представлене п'яти-ланковим КМП зі спецпрофілю СВП33. Верхні зчленування (верхняка зі стояками) затискають замком ЗСД плюс додаткова одиночна скоба з планкою. Така конструкція замку дає можливість підняти опір замку до 400 кН і зберегти працездатність рамного аркового кріплення у зоні активних зрушень позаду діючої лави. Досвід шахти показав, що застосування трьох одиночних скоб з планками не вирішує цю проблему. За помітного прояву гірського тиску планки згинаються, скоби рвуться, а рама передчасно втрачає стійкість. У деяких місцях на одиночну скобу одягнені стабілізатори, хоча їх позитивний ефект в процесі експлуатації кріплення не відзначається.

На верхняк укладають залізобетонне затягування, боки виробки затягують сіткою, а пласт напроти майбутнього вікна лави залишають незатягнутим. Після проходки лави це вікно закривають сіткою і забутовують простір між затягуванням і штучною смугою. Крок між центрами сусідніх рам приймають рівним 0,5 м. Для забезпечення запасного виходу з діючої лави через кожні чотири рами залишають вікно шириною 0,8 м. Після перекріплення виробки рами встановлюють з кроком 0,5 м. Це досить висока щільність кріплення з огляду на те, що використовується найважчий спецпрофіль СВП-33.

Важливо, що простір між рамою й породним оголенням відразу ж після установки рами закладають порожньою породою. Якість закладки висока, її легко побачити і проконтролювати,

оскільки майже весь перетин виробки кріпиться сітчастим затягуванням. Зазор між породним оголенням і рамами, а також затягуванням не перевищує 5–10 см. Завдяки такому високому виконавському рівню трудомісткість зведення забутівки мінімальна, а кріплення вступає в опір гірському тиску на відстані всього 5–10 м позаду підготовчого вибою. Проте вже навпроти вікна діючої лави починається руйнування і продавлювання залізобетонного затягування. По мірі відходу лави відбувається формування породної складки в покрівлі і зміщення боків виробки особливо з боку лави. Складка орієнтована приблизно по нормалі щодо падіння порід.

На відстані 60–80 м зміщення порід покрівлі досягають 1–1,5 м, а перетин виробки зменшується у півтори рази. Перекріплення гірської виробки виконують залежно від інтенсивності прояву гірського тиску з відставанням від лави на відстані 60–130 м. На відстані 130 м позаду лави висота виробки вкорочується до 2,5 м, а площа її перетину зменшується до 12–10 м².

На окремих ділянках виробку доводиться перекріпляти двічі, оскільки інтенсивність прояву гірського тиску залишається високою. Однак після першого перекріплення помітно продовжує зміщуватися лише покрівля. Інтенсивність зміщення бічних стінок виробки істотно зменшується, що свідчить про високу ефективність штучної споруди, а також позитивний ефект анкерного кріплення на сполученні лави зі штреком.

Незважаючи на високу якість кріплення і вдало спроектований паспорт, у процесі деформації перерізу виробки в зоні активних зрушень спостерігається сильна деформація спецпрофілю

і, зокрема, його поздовжнє скручування і поперечний вигин. Ці деформації є найбільш масовими. У зв'язку з цим проведено масові інструментальні спостереження за деформацією перерізу виробки і деформацією профілю кріплення.

Кожну арку розбивали на 14 ділянок незалежно від ступеня деформування перетину. Сім перших ділянок нумерували з боку незайманого масиву, а сім наступних – починаючи від центру перетину у бік лави. Вимірювання висоти і ширини виробки здійснювали рулеткою, а кут скручування профілю – за допомогою спеціального транспортира. Початкова довжина елементарної ділянки між сусідніми точками виміру становила близько 1,5 м, а за сильної деформації перетину вона зменшувалася до 0,5 м, оскільки периметр виробки істотно скорочувався. Такий підхід дозволив зіставити всі спостереження між собою і виявити певні закономірності.

На (рис. 2) наведено графік розподілу кутів скручування профілю на окремих типових вимірювальних секціях. Точка №8 завжди орієнтована по центру перетину у верхній частині арки. Здебільшого кут поздовжнього скручування у верхній частині арки близький до нуля. Цьому сприяє насамперед висока якість забутівки простору між рамою й породним оголенням і симетричність самої рами кріплення.

На розподілі видно, що кут скручування на окремих ділянках рам досить великий і сягає рівня 40–80°. Позитивний кут приймався за скручування профілю в сторону посування лави, негативний – в іншому напрямку. Як видно, скручування профілю відбувається як в сторону лави, так і в напрямку, протилежному її посуванню.

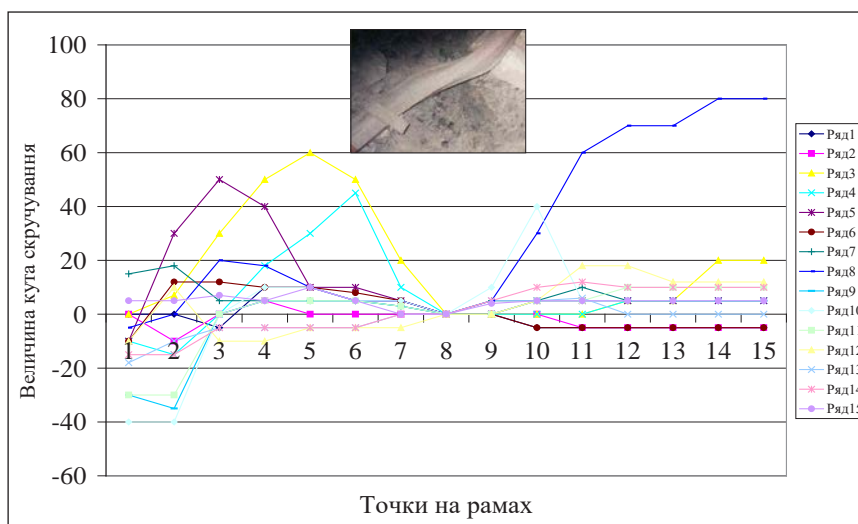


Рис. 2. Розподіл кутів поздовжнього скручування вздовж периметра арок

Загалом малі величини кута поздовжнього скручування спецпрофіля трапляються частіше, а розподіл кутів узгоджується з логнормальним законом. Аналіз середніх величин кутів скручування профілю, незалежно від їх знаку, засвідчив, що профіль закручується на кут 10–16° в середньому і не має домінуючої ділянки, на якій би спостерігалось максимальне скручування. Це означає, що поздовжнє скручування профілю рами може статися на будь-якій ділянці рами.

Однак більш небезпечним є передусім не поздовжній поворот перерізу профілю в просторі, а різниця кутів скручування на сусідніх ділянках. Чим ця різниця більше, тим вище ймовірність втрати стійкості профілю, а отже, і несучої здатності рами. Це наочно ілюструється знімком на рис. 2. Саме на ділянках, які мають максимальну різницю (градієнт) кутів скручування, найчастіше відбувається вигин сегмента і втрата стійкості рами у вигляді поперечного вигину і подальшого зламу рами.

На рис. 3 наведено розподіл градієнта кута (його різниці на сусідніх ділянках) скручування профілю по довжині периметра виробки. Видно, що максимум градієнта між точками досягає 40–80°. При цьому максимум градієнта може спостерігатися на будь-якій ділянці рами по довжині її периметра і щодо розмірності периметра рами досягає 48° м⁻¹. Менш схильний до скручування лише найнижчий сегмент стояку рамного кріплення з боку відпрацьованого простору (ділянка периметра між точками 13–15). Це можна пояснити відсутністю здимання пісковику і хорошою

роботою охоронної споруди. Однак стійка рами, зчленована з верхняками (ділянка між точками 8–13) вже відчуває таке ж інтенсивне скручування, як і решта профілю.

Гістограма на рис. 4 показує, що градієнт кутів скручування профілю розподілений симетрично, причому рідко перевищує 20°, а у більшості випадків знаходиться в діапазоні 10°. За формою розподіл нагадує нормальне з великим ексцесом (видовженістю). Це свідчить про те, що для втрати стійкості рамного кріплення і руйнування профілю не потрібен значний кут поздовжнього скручування. Орієнтовна оцінка показує, що критична величина кута поздовжнього скручування, за якої починається пластична деформація вигину спецпрофіля, знаходиться в діапазоні 10–20°.

Таким чином, навіть в умовах зразкового кріплення підготовчої виробки, розклинювання рам і якісної забутівки закріпного простору і потужних замках піддатливості спостерігається поздовжнє скручування спецпрофіля і різка втрата стійкості кріплення. Такий негативний ефект у вираженому вигляді спостерігається після вичерпання проектної податливості рамного кріплення, в даному випадку 500–800 мм. За умов неякісного кріплення виробки і відсутності забутівки закріпного простору негативний ефект поздовжнього скручування спостерігається відразу ж після проходки виробки на відстані 40–60 м позаду підготовчого вибою. У переважній кількості випадків перекріплення виробки у момент вичерпання проектної податливості рамного кріплення не здійснюють у зв'язку з напруже-

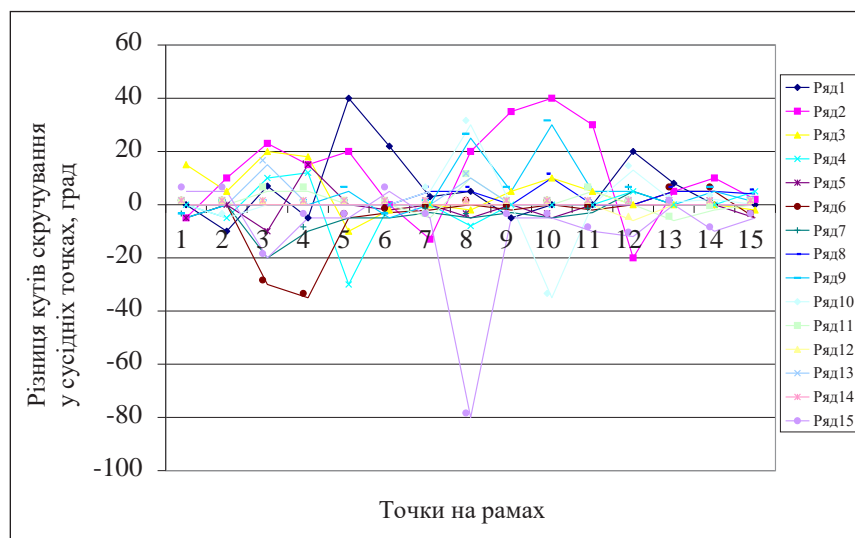


Рис. 3. Розподіл градієнта кута поздовжнього скручування уздовж периметра рами

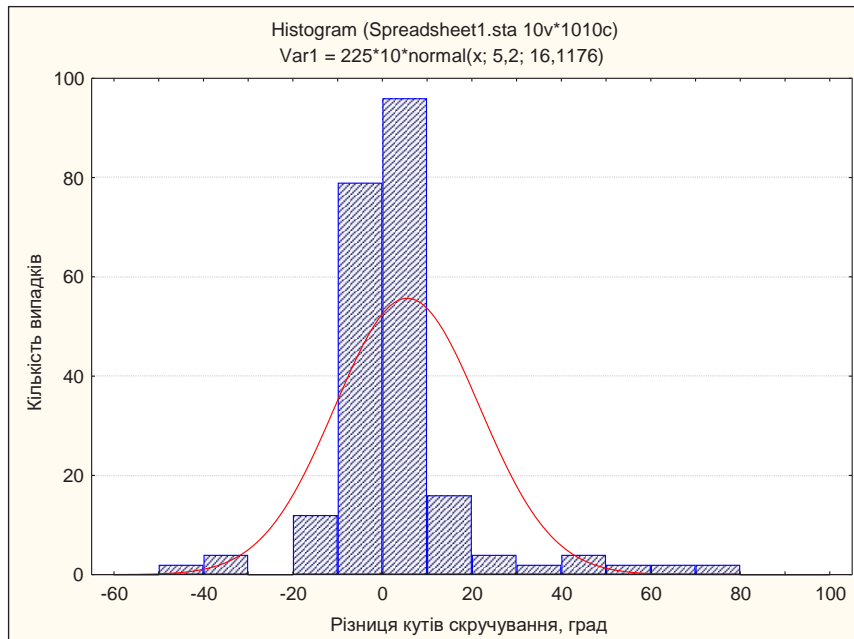


Рис. 4. Розподіл градієнта кутів скручування рам

ним графіком гірничих робіт і з метою економії коштів.

У результаті рамне кріплення передчасно руйнується і різко втрачає свою несучу здатність через поперечний вигин спецпрофіля. Це призводить до швидкого зменшення площі поперечного перерізу виробки, а також неможливості подальшого відновлення сегментів кріплення для їх повторного використання [5]. Якщо запобігти можливості поздовжнього скручування профілю, працездатність рамного кріплення можна значно продовжити, що дозволить розширити термін служби підготовчих виробок у задовільному стані і забезпечити необхідні умови для вентиляції і транспорту [6]. Збереження рамного кріплення також дає можливість повторного використання спецпрофіля після його вирівнювання на спеціальних машинах.

Як показують натурні спостереження, процес пластичного вигину спецпрофіля рамного кріплення протікає у більшості випадків на ділянках поздовжнього скручування. Очевидно, що механізм вигину і скручування протікає через розвиток згинальних і обертаючих моментів, що скручують сегменти рамного кріплення. Такі моменти в натурних умовах зареєструвати вельми складно [6]. Дослідження напружено-деформованого стану рамних кріплень буде виконано на комп'ютерних моделях [7, 8]. Водночас будь-які натурні вимірювання гірського тиску і параметри деформації рам досить важливі для порівняння розрахункових і

фактичних параметрів цього складного геомеханічного процесу. Скручування відбувається як у бік очисного вибію, так і у протилежний, причому величина скручування сягає 80° .

Висновки. Скручування спецпрофілю рамного піддатливого кріплення стало новим типом його небезпечної пластичної деформації, яка призводить до втрати стійкості кріплення та його несучої здатності. Максимум градієнта скручування може спостерігатися на будь-якій ділянці рами по довжині її периметра і щодо розмірності периметра рами досягає $48^{\circ} \text{ м}^{-1}$. Гістограма скручування свідчить про те, що градієнт кутів скручування профілю розподілений симетрично, причому рідко перевищує 20° , а у більшості випадків знаходиться в діапазоні 10° , а сама гістограма нагадує нормальний розподіл з великим ексцесом. Це свідчить про те, що для втрати стійкості рамного кріплення і руйнування профілю не потрібен значний кут поздовжнього скручування. Критична величина кута поздовжнього скручування, за якої починається пластична деформація вигину спецпрофіля знаходиться в діапазоні $10\text{--}20^{\circ}$. Необхідно запобігти можливості поздовжнього скручування профілю, що дозволить значно продовжити працездатність рамного кріплення й розширити термін служби підготовчих виробок у задовільному стані та забезпечити необхідні умови для вентиляції і транспорту.

Список літератури:

1. Sharpe L., Coggan J. Assesment of roadway performance during retreat longwall extraction at a United Kingdom deep mine. *Proc. 27th Int. Conf. Ground control in mining*. Morgantown, WVU, 2016. Pp. 119–128.
2. Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Демченко А.И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок. Днепропетровск : ЧП «Лири ЛТД», 2005. 240 с.
3. Chase F.E., Zipf R.K., Mark C. The massive collapse of coal pillars – case histories from the United State. *Proc. 13th int. Conf. on ground control in mining*. Morgantown, WVU, 2014. Pp. 69–80.
4. Яйцов А.А., Кожушок О.Д., Болбат В.А., Бугаева Н.В. Результаты оценки условий поддержания подготовительных выработок в условиях шахты Красноармейская-западная №1. *Проблеми гірського тиску* : збірник наукових праць ДонНТУ. Донецьк : ДонНТУ, 2007, вип. 15. С. 122–145.
5. Mitri Y.S., Yassani F.P. Structural characteristics of coal mine steel arch supports. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanic Absrt.*, 2016, Vol .27, No 2, pp. 121–127.
6. Ambrose D., Whittaker B.N. Strength behavior of steel arch supports with reference to loading distribution. *Min. Sci. Technol.* 2013, Pp. 267–275.
7. Abazovic, E. and A. Amon. A Practice Oriented Modified Linear Elastic Constitutive Model for Fire Loads and Its Application in Tunnel Construction, in Numerical Modeling in Geomechanics – 2013. *Proceedings of the 3rd International Symposium*, Sudbury, Ontario, Canada, October 2013, pp. 313–319, R. Brummer, et al., Eds. Lisse : Balkema.
8. Boidy, E., A. Bouvard and F. Pellet. (2012) Back Analysis of Time-Dependent Behaviour of a Test Gallery in Claystone, *Tunn. & Underground Space Tech.*, 17, pp. 415–424.

**НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ
ПРОДОЛЬНОГО СКРУЧИВАНИЯ ВДОЛЬ ПЕРИМЕТРА РАМНОЙ КРЕПИ**

Приведены результаты шахтных инструментальных наблюдений пластических деформаций спецпрофиля рамной податливой крепи. Внимание акцентируется на исследовании параметров продольного скручивания, которое приводит к потере устойчивости рам и существенно уменьшает её несущую способность.

Ключевые слова: горное давление, горная выработка, рамная крепь, углы скручивания.

**ACTUAL MEASUREMENTS OF PROFILE TORSION ANGLES
ALONG PERIMETER OF A FRAME SUPPORT**

The results of the mine instrumental observations of plastic deformations of the special profile of the frame support are given. Attention is focused on the study of the parameters of longitudinal twisting, which leads to the loss of stability of the frames and significantly reduces its bearing capacity.

Key words: groud pressure, head entry, frame support, torsion angles.