

УДК.622.281.4

*Нестеренко О.С., к.т.н., Лихина І.М., магістр, КТУ, м. Кривий Ріг, Україна*

## **ЗМІНА ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ СКЛЕПИСТОЇ ЧАСТИНИ КАМЕРИ ТА ЇЇ КРІПЛЕННЯ**

Будівництво камер великого перерізу є одним із трудомістких процесів який потребує значних коштів та часу. Одним із складних і трудомістких процесів є підтримання склепистої частини камери у процесі її будівництва та експлуатації. Тому питання пов'язане із спорудженням та кріпленням склепистої частини камери є актуальним.

Камери великого поперечного перерізу (більше 100 м<sup>2</sup>) широко використовуються в народному господарстві. Такі камери намагаються розташовувати в міцних стійких породах, надаючи їм склепінчастої форми поперечного перерізу.

Довжина камер зазвичай складає не більше 200 м, ширина до 30 м, висота до 60 м, площа поперечного перерізу великих камер досягає 1000 м<sup>2</sup> і більше.

У гірничодобувній промисловості до камер великого поперечного перерізу відносять камери подрібнювально-бункерних комплексів, час будівництва яких часто визначає термін здачі шахти в експлуатацію. Особливо великий поперечний переріз мають відкриті камери дробарок, в яких розташовується усе основне устаткування (дробарки, живильник, монтажний кран). Об'єм таких камер при розташуванні в них двох дробарок досягає 10 тис. м<sup>3</sup>. Цей тип комплексів характерний для залізорудних шахт. Монолітне бетонне кріплення застосовується для кріплення камер електропідстанції, монтажних і ходових виробок, прохідних з трьох центровим або коробовим склепінням. Марка бетону приймається не нижче 200. Залежно від розмірів виробки і стійкості порід товщина бетонного кріплення приймається від 200 до 400 мм і більше.

Монолітне залізобетонне кріплення найбільш поширене для кріплення камер великого перерізу, зважаючи на великі площі оголення породи. За проектними даними на 1 м<sup>3</sup> виїмки склепистої частини камери витрачається 0,15 – 0,3 м<sup>3</sup> бетону. Фактичні витрати бетону у зв'язку з незадовільним оконтурюванням виробок іноді перевищує проектний в 1,2 - 1,5 рази.[1,2]

Розглянемо досвід спорудження камер закордоном і в Кривбасі у міцних породах, з коробовим склепінням та кріпленням його монолітним бетоном. Результати аналізу літературних джерел [3-5] зведені до табл. 1. Проаналізувавши отримані дані можемо зробити висновок, що із збільшенням висоти склепіння витрати бетону на товщину кріплення склепіння скорочуються. Тому вибір науково обґрунтованої форми склепіння камери товщини його кріплення може скоротити витрати матеріалу та часу на спорудження камери.

Нами для рішення завдання по удосконаленню кріплення підтримання склепистої частини камери було вирішено провести дослідження аналітичним методом напружено стану масиву навколо камери, а також напруженого стану кріплення.

Нами розглядалися умови спорудження камери ЦПТ на кар'єрі ПГЗК, де проходка велась по мартитовим роговикам та джеспілітам. Проектне кріплення склепіння камери - монолітне залізобетонне товщиною 500мм.

Для цього був проведений аналіз з склепистої частини камери методом комп'ютерного моделювання, на базі програмного комплексу для розрахунку та проектування конструкцій «ЛІРА версія 9.0», у якій теоретичною основою є метод кінцевих елементів (МКЕ), реалізований у формі переміщень. У програмному комплексі була побудована розрахункова схема склепистої частини камери з оточуючим масивом гірничих порід.

Паралельно з цим проводилось дослідження на міцність можливостей монолітного бетонного кріплення у різноманітних умовах навантаження. Різноманітні умови моделювання дозволили відмітити що при незначних значеннях коефіцієнта бічного розпору рівному 0,2, або при його відсутності, замкова частина склепіння прагне до утворення вивалів. Так як відмічається зниження контурних стискуючих напружень і наявність розтягуючих.

Таблиця 1

Назва камери	Ширина склеп., м (B)	Висота склеп., м (h)	Тип кріплення.	Товщина кріплення, мм		Об'єм бетону, м <sup>3</sup> (V <sub>б</sub> )	Площа свода, м <sup>2</sup>	B/h	V <sub>б</sub> /V <sub>п</sub>
				п'ята	замок				
Насона станція Віанден	21	6	мон. бетон	1100	1100	23	114,66	3,5	0,2
ГЕС Ізер-Арк	24,5	7	мон. бетон	2000	800	36,7	156,1	3,5	0,235
Борисоглєбская ГЕС	16,5	6,7	залізо-бетон	350	3,50	6,8	70,79	2,5	0,096
Камери в Італії	27	18	мон. бетон	1100	1100	18	189,54	1,7	0,095
ГЕС Липно-1	28,8	9,3	мон. бетон	2620	1900	36,3	215,65	3,1	0,168
Дробарка на ш.Первомайській	8,5	3,5	мон. бетон	400	400	3,16	18,79	2,7	0,167
Перевант. вузол на ПГЗК	13,5	4,6	мон. бетон	500	500	8,55	45,3	2,95	0,188

Аналіз розподіл головних напружень показав, що в усіх точках контуру склепу та законтурного масиву напруження стиснення та розтягнення значно менші відповідної межі міцності породи. А саме, у замку склепіння у 4 рази, а у п'яті у 3 рази. Тобто склепіння камери є стійким, а кріплення буде виконувати огорожувальну функцію. Розрахунок кріплення склепіння камер виконано при навантаженні його власною вагою та забутовкою.

Розрахункові навантаження прийняті з урахуванням коефіцієнта перевантаження 1,2:

$$q_0 = 1,875 \cdot 1,2 = 2,25 \text{ тс/м};$$

$$q = 2,5 \cdot 1,2 = 3 \text{ тс/м}.$$

де  $q_0$  - інтенсивність навантаження у замку склепіння;

$q$  - інтенсивність навантаження у п'яті склепіння.

Для визначення інтегральних сум розбиваємо склепіння на 8 рівних частин через  $\Delta\varphi=8^\circ$ . Параметри отриманих точок для зручності зводимо до табл. 2. По розрахунку побудована крива тиску, що зображена на рис. 1.

Проведений аналіз силових параметрів ( $M$ ,  $N$ ,  $Q$ ,  $e$ ) монолітного бетонного кріплення у підсклепистій частині камери при її постійній товщині та проектних розмірах вказав на наявність в замковій частині (а саме точки 0, 1, 2, 5, 6) та п'яті склепіння розтягуючих

напружень, що перевищують дозволених, у п'яти склепіння ексцентриситет перевищує дозволених відхилення більш ніж у 2 рази, а у замку він перевищує осьову лінію склепіння на 0,3 м.

З отриманого розрахунку можна зробити висновок, що існує необхідність змінити форму склепіння з проектного трьохциркульного на одноциркульний із зменшенням товщини кріплення у замковій частині до 0,2 м.

Для подальшого дослідження було виконано розрахунок кріплення зміненої форми та товщини.

Приймаємо нову форму склепіння у вигляді піднятого одноциркульного склепіння з радіусом осьової лінії 6,85 м та зміненою товщиною монолітного бетонного кріплення у замку, що дорівнює 0,2 м.

Таблиця 2

№ з/п	x, м	y, м	φ, град.	Вертикальне навантаження			Бічне навантаження			Mx, тс	Nx, тс	Qx, тс	e, м
				Gx, тс	gx, м	Mg, тс·м	Ey, тс	ey, м	Mv, тс·м				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,43	13,71	0	0,32
1	1,04	0,06	6°58'10''	2,41	0,52	1,25	0,02	0,03	0,001	4,0	13,84	-0,74	0,29
2	2,06	0,25	13°56'4''	4,9	1,03	5,05	0,06	0,13	0,01	2,8	14,42	-1,48	0,19
3	3,05	0,56	20°53'59''	7,43	1,53	11,34	0,14	0,28	0,04	0,73	15,30	-2,02	0,05
4	4	1	27°51'55''	9,96	2,0	19,92	0,25	0,5	0,13	-1,91	16,53	-2,44	-0,12
5	4,9	1,53	34°49'51''	12,47	2,45	30,55	0,38	0,77	0,29	-5,43	18,04	-2,63	-0,3
6	5,62	2,27	54°23'49''	14,53	2,81	40,83	0,57	1,14	0,65	-5,93	19,39	2,22	-0,31
7	6,08	3,2	72°0'46''	15,9	3,04	48,34	0,8	1,6	1,28	-1,32	20,01	7,85	-0,07
8	6,25	4,25	90°	16,41	3,13	51,36	1,06	2,13	2,26	9,08	16,41	12,65	0,55
Σ		36,94											

З урахуванням коефіцієнту перевантажень:

$$q = 1,875 \times 1,2 = 2,25 \text{ тс/м};$$

$$q_0 = 2,5 \cdot 1,2 = 3 \text{ тс/м}.$$

Параметри отриманих точок для зручності зводимо до табл. 3. По розрахункам побудована крива тиску, що зображена на рисунку 2.

Проведений аналіз силових параметрів (*M*, *N*, *Q*, *e*) монолітного бетонного кріплення у підсклепистій частині камери при змінній формі склепіння вказав на відсутність розтягуючих напружень, що перевищують дозволених, окрім точки «8», а ексцентриситет не виходить за дозволених межі.

З отриманого розрахунку можна зробити висновок, що підняття висоти склепу на 0,3 м та зменшення товщини кріплення у замку до 0,2 м дозволяє майже повністю виключити розтягуючі напруження на внутрішніх волокнах кріплення, а також утримати ексцентриситет у дозволених межах.

З підняттям склепіння на 0,3 м змінилось відношення ширини до висоти і тепер воно має значення  $13,5/4,9=2,75$ . Відповідно до цього змінилось і значення відношення об'єму

бетону до об’єму породи на 1 м<sup>3</sup> камери, тепер він має значення 4,39/45,3=0,097. Виходячи з результатів розрахунку можна відмітити, що порівнюючи з проектною формою та розмірами кріпленням камери, в запропонованому варіанті знижується витрата бетону на 30% та трудомісткість на 29%, на укладання монолітного бетонного кріплення.

Таблиця 3

№ з/п	x, м	y, м	φ, град.	Вертикальне навантаження			Бічне навантаження			Mx, тс	Nx, тс	Qx, тс	e, м
				Gx, тс	gx, м	Mg, тс·м	Ey, тс	ey, м	Mv, тс·м				
0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,31	9,79	0,0	-0,03
1	0,95	0,07	7°58'59''	1,0	0,48	0,47	0,01	0,04	0,00	-0,10	9,82	0,37	-0,01
2	1,88	0,27	15°58'11''	2,26	0,94	2,12	0,05	0,14	0,01	0,21	9,98	0,51	0,02
3	2,77	0,6	23°57'33''	3,71	1,39	5,14	0,12	0,30	0,04	0,39	10,34	0,53	0,04
4	3,61	1,04	31°57'3''	5,32	1,81	9,61	0,21	0,52	0,11	0,15	10,95	0,55	0,01
5	4,38	1,6	39°56'36''	7,01	2,19	15,35	0,32	0,80	0,26	-0,25	11,76	0,71	-0,02
6	5,12	2,33	48°44'48''	8,81	2,56	22,54	0,47	1,17	0,54	-0,59	12,77	1,20	-0,05
7	5,72	3,12	57°3'3''	10,38	2,86	29,69	0,62	1,56	0,97	-0,44	13,70	2,04	-0,03
8	6,25	4,1	66°26'18''	11,88	3,13	37,11	0,82	2,05	1,68	1,03	14,47	3,47	0,07
Σ		37,04											

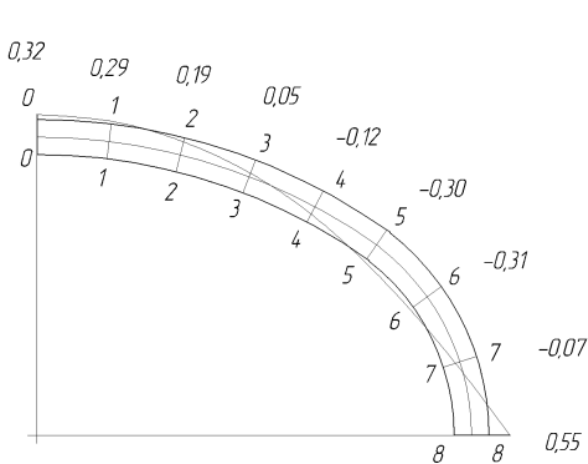


Рис. 1.

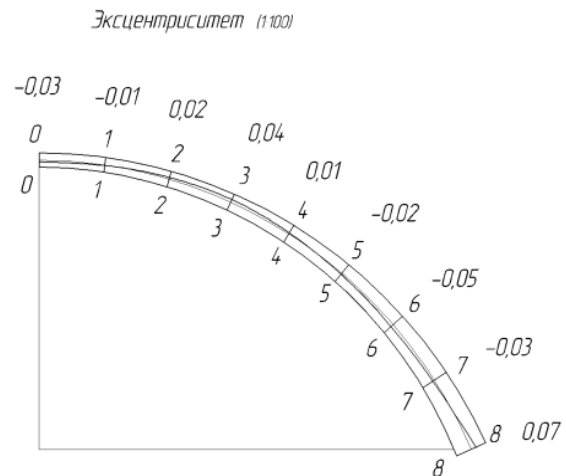


Рис. 2.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Насонов И. Д., Федюкин В. А., Шуплик М. Н. Технология строительства подземных сооружений. Учебник для вузов в 3-х частях. Ч. 11. Строительство горизонтальных и наклонных выработок. - М., Недра, 1983. - 272 с.
2. Смирняков В. В., Вихарева В. И., Очкуров В.И. Технология строительства горных предприятия: Учебник для вузов. - М: Недра, 1989.- 573с.
3. Инфантьев А. Н. Строительство подземных рудников. - М., Недра, 1986. С. 129-131.
4. Мостков В. М. Строительство сооружений большого сечения, Гостехиздат, 1963. – 307с.
5. Мостков В. М. Подземные сооружения большого сечения. – М., Недра, 1974. – С. 186 – 187.