

Zenon SZCZEPANIAK

Instytut Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

PROJEKTOWANIE GÓRNICZEJ OBUDOWY MUROWEJ O KSZTAŁCIE KOŁOWYM
BEZ DOPUSZCZENIA DO WYSTĘPOWANIA W NIEJ RYS I SZCZELIN

Streszczenie. Obudowy murowe o kształcie kołowym są obecnie powszechnie stosowane przy głębinieniu szybów. Decydują o tym: łatwa technologia i niskie koszty wykonawstwa obudowy (zwłaszcza z betonu) oraz korzystna jej współpraca z górotworem przy wywieraniu na nią równomiernego nacisku o kierunku radialnym od strony otaczających ją skał. W pracy uzasadniono, że również przy mniej korzystnym obciążeniu obudowy, to jest zwiększonym w jednym kierunku, może ona skutecznie przeciwstawiać się dużemu ciśnieniu górotworu. Pierścień obudowy w takim przypadku ulega zginaniu, co wymaga opracowania odpowiedniego sposobu ustalania jej stateczności. W pracy przedstawiono metodę sprawdzania podporności obudowy murowej o kształcie kołowym przy jej obciążeniu odbiegającym od wielkości równomiernej w kierunkach radialnych. Opracowano nowe wzory do projektowania grubości obudowy zginanej pod wpływem wywierania na nią w jednym kierunku zwiększonego nacisku górotworu. W przypadku działania różnych wielkości ciśnień p_1 i p_2 na obudowę o kształcie kołowym (w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach) jej grubość można projektować wg podanych w apracy wzorów (6) - (13).

1. UZASADNIENIE CELOWOŚCI STOSOWANIA OBUDOWY MUROWEJ
W WYROBISKACH GÓRNICZYCH

Obudowy murowe z cegły, betonitów i z betonu mogą być stosowane we wszystkich rodzajach kapitalnych wyrobisk górniczych, jak: szyby, wyrobiska przyszybowe, komory i udostępniające wyrobiska korytarzowe. W przypadku kapitalnych wyrobisk podziemnych ze względu na wymaganą ich funkcjonalność wykonywano je najczęściej w obudowie murowej składającej się z prostych murów przyociosowych i opartych na nich sklepień o kształcie łuków kołowych lub parabolicznych. Konstrukcja takiej obudowy była dostosowana do dość dużych ciśnień górotworu od strony stropu wyrobiska, przy braku oddziaływania na nią nacisku skał ociosowych.

Wraz ze wzrostem głębokości kopalń coraz częściej ujawnia się deformowanie skał ociosowych, co powoduje wywieranie na obudowę również dużego nacisku w kierunku poziomym. Ciśnieniu takiemu nie mogą przeciwstawiać się proste mury przyociosowe. Również obudowy owalne z murami przyociosowymi o kształcie łukowym ale o małej krzywiznie nie zdają egzaminu ze względu na występowanie w nich dość dużych momentów zginających decydujących o wy-

stępowaniu w konstrukcji obudowy naprężeń rozciągających, ograniczających zachowanie wymaganej jej stateczności.

Występowanie ciśnień deformacyjnych na dużych głębokościach na obudowę kapitalnych wyrobisk podziemnych zadecydowało o konieczności stosowania obudów o wysokiej podporności i zadanej podatności, co praktycznie wyeliminowało celowość stosowania w nich obudów murowych.

Obudowy murowe najbardziej powszechnie stosowane są w głębionych szybach ze względu na występowanie w tego rodzaju wyrobiskach wzdłuż ich obwodu dość równomiernego ciśnienia górotworu, co uzasadnia stosowanie w nich obudów o kształcie kołowym. Ograniczanie obudowy murowej o kształcie kołowym głównie dla pionowych wyrobisk szybowych związane jest również z łatwością jej wykonywania z betonu, który znalazł w głębionych obecnie szybach szerokie zastosowanie.

2. ZALETY I WADY OBUDOWY MUROWEJ O KSZTAŁCIE KOŁOWYM

W historycznym rozwoju budownictwa górniczego tarcze projektowanych i głębionych szybów posiadały kształty prostokątne, beczkowe, eliptyczne i kołowe. Zaletą kształtu prostokątnego jest pełne wykorzystanie wielkości przekroju poprzecznego tarczy szybu w zakresie rozmieszczenia w niej jego wyposażenia. W ujęciu procentowym wykorzystanie wymienionych kształtów tarcz szybowych w zakresie usytuowania w nich wymaganego wyposażenia szybu wyraża się następującymi liczbami:

kształt prostokątny	- 100%,
kształt beczkowy	- 78%,
kształt eliptyczny	- 73%,
kształt kołowy	- 70%.

Z powyższych danych wynika, że jeżeli o wielkości przekroju poprzecznego szybu nie decydują względy wentylacyjne lecz gabaryty zainstalowanych urządzeń, wówczas najkorzystniejszy byłby kształt prostokątny. Konstrukcje obudów o kształcie prostokątnym jak również o kształcie owalnym (beczkowy i eliptyczny) mają podstawową wadę wynikającą z występowania w nich dużych momentów zginających przy każdym rodzaju ciśnienia górotworu, w tym także przy ciśnieniu równomiernym. Stąd przy większych ciśnieniach górotworu obudowy szybów o wymienionych kształtach należałoby wykonywać o bardzo dużych grubościach i z materiałów o dużej wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie. Konstrukcje takich obudów byłyby bardzo drogie i trudne w praktycznym stosowaniu.

Najtańszą długotrwałą obudową szybową i łatwą w zastosowaniu, umożliwiającą uzyskiwanie dużych postępów głębionych szybów, jest obudowa murowa z betonu. Prawidłowo przygotowany beton posiada po związaniu dużą wytrzymałość na ściskanie i minimalną na rozciąganie. Własności mechaniczne betonu zmuszają więc do wykonywania z niego konstrukcji obudowy o takim kształ-

cie, przy którym pracowałaby głównie na ściskanie w każdych warunkach jej obciążenia od strony górotworu. Konstrukcją taką jest obudowa o kształcie kołowym, która we współpracy z górotworem charakteryzuje się następującymi zaletami:

- przy równomiernym ciśnieniu górotworu na obudowę występują w niej tylko naprężenia ściskające, rys. 1,
- w przypadku nierównomiernego oddziaływania górotworu na obudowę pod wypadkową maksymalnego jej obciążenia wystąpi dość duży moment zginający, który spowoduje zmianę rozkładu naprężeń w obudowie (rys. 2) w stosunku do ich rozkładu w rurze szybowej równomiernie obciążonej (rys. 1).

Obudowa murowa o kształcie kołowym, dokładnie powiązana z obrysem wyłomu wyrobiska przy każdym sposobie jej obciążenia, może ulec zniszczeniu po wystąpieniu w niej naprężeń przekraczających doraźną wytrzymałość materiału na ściskanie. Stąd wyłania się podstawowa zaleta kołowego kształtu szybu, przy którym konstrukcja obudowy dokładnie przylegająca do obwodu jego wyłomu zmuszona jest w każdych warunkach wywieranego na nią ciśnienia do współpracy z górotworem. O stateczności takiej obudowy decydują naprężenia ściskające, na które mur z cegły, betonitów a zwłaszcza z betonu posiada dostatecznie dużą wytrzymałość.

3. METODY PROJEKTOWANIA OBUDOWY MUROWEJ O Kształcie kołowym

3.1. Obudowa obciążona równomiernie w kierunku radialnym

Obudowę szybu obciążoną przez otaczające ją skały w sposób równomierny można rozpatrywać jako rurę cienkościenną lub grubościenną i projektować jej grubość dwoma sposobami:

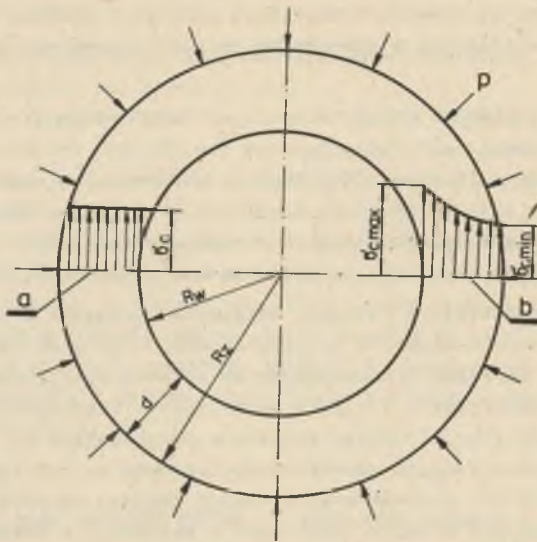
- jako naczynie cienkościenne,
- jako naczynie grubościenne, np. wg sposobu Lamego lub Hubera, obowiązującego dla rur grubościennych.

Podstawowy wzór na grubość obudowy szybu traktowanego jako naczynie cienkościenne wyraża się wg [6] zależnością (1) przy przyjęciu w niej rozkładu ściskających naprężeń dopuszczalnych jak na rys. 1a

$$d = \frac{2 \cdot R_z \cdot p}{k_c} \quad (1)$$

gdzie:

- d - grubość obudowy szybu,
- R_z - promień zewnętrzny obudowy szybu,
- p - ciśnienie górotworu na obudowę szybu na różnych głębokościach,
- k_c - dopuszczalne naprężenia na ściskanie dla danego rodzaju materiału obudowy murowej.



Rys. 1. Rozkład naprężeń ściskających w obudowie murowej o kształcie kołowym - równomiernie obciążonej w kierunku radialnym i przyjętej:

a) jako rura cienkościenna - wykres naprężeń (a) b) jako rura grubościenna - wykres naprężeń (b)

Fig. 1. Compressive stress distribution in a brick lining of circular shape - uniformly loaded in radial direction and assumed as:

a) thin-walled pipe - stress diagram (a), b) thick-walled pipe - stress diagram (b)

Przy rozpatrywaniu obudowy szybu jako naczynia grubościennego wzór na grubość obudowy można wyprowadzić z ogólnej zależności Lamego, wyrażającej się wg [1] wzorem (2), który dotyczy rury grubościennej przy wewnętrznym i zewnętrznym jej obciążeniu

$$\sigma_c = \frac{p_w \cdot R_w^2 - p \cdot R_z^2}{R_w^2 - R_z^2} + \frac{(p_w - p) R_z^2 \cdot R_z^2}{R^2 (R_z^2 - R_w^2)}, \quad (2)$$

gdzie:

- σ_c - obwodowe naprężenia ściskające w ścianie projektowanej rury,
- p_w - ciśnienie równomierne wewnątrz projektowanej rury grubościennej,
- p - ciśnienie działające na zewnętrzną stronę ścianki projektowanej rury,
- R_w - promień wewnętrzny projektowanej rury,
- R_z - promień zewnętrzny ścianki projektowanej rury.

$$R \in \langle R_w; R_z \rangle$$

Z zależności (2) za pomocą wzoru (3) można określić wielkość ciśnienia zewnętrznego p , jakie może przejmować obudowa przy określonej jej grubości d , ustalonej wielkości promienia tarczy szybu R_w oraz o znacznej wytrzymałości na ściskanie budującego ją materiału (rys. 1b) przy założeniu, że $p_w = 0$

$$p = \frac{k_c \cdot d(2R_w + d)}{2(R_w + d)^2}, \quad (3)$$

gdzie k_c - dopuszczalne naprężenia na ściskanie w materiale obudowy. Praktyczne wykorzystanie wzoru (3) sprowadza się do ustalania możliwości przyjmowania przez obudowę maksymalnej wielkości ciśnienia p przy minimalnej jej grubości d , koniecznej do przyjęcia ze względu na potrzebę prawidłowego zamocowania w niej zbrojenia szybu. Dla większego ciśnienia górotworu od ustalonego wg wzoru (3) można projektować grubość obudowy d (rys. 1b) za pomocą wzoru (4), wyprowadzonego z zależności (3) lub przy wykorzystaniu wzoru Hubera (5)

$$d = R_w \left(\sqrt{\frac{k_c}{k_c - 2p}} - 1 \right) \quad (4)$$

$$d = R_w \left(\sqrt{\frac{k_c}{k_c - p}} - 1 \right) \quad (5)$$

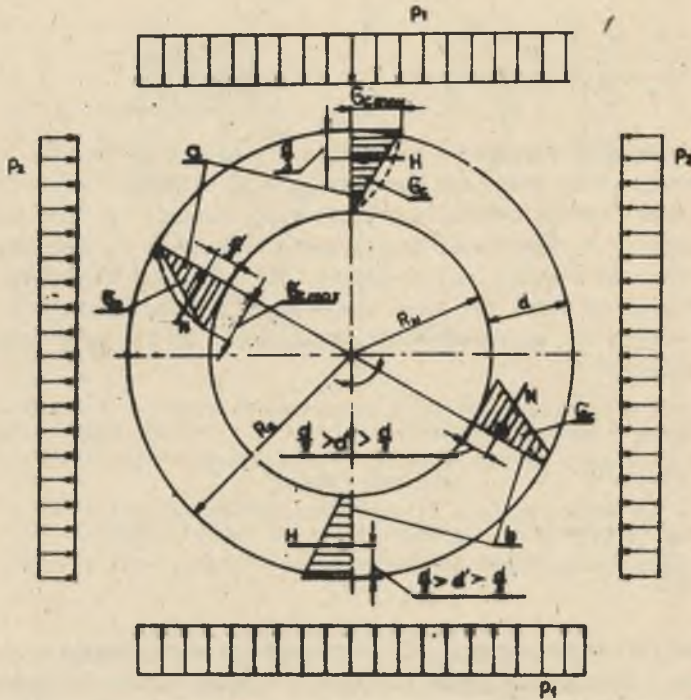
3.2. Obudowa obciążona równomiernie dwoma różnymi wielkościami ciśnienia górotworu w dwóch kierunkach wzajemnie prostopadłych

Przedstawione wzory (1), (3), (4) i (5) wskazują, że przy równomiernym ciśnieniu górotworu na obudowę murową pracuje ona najbardziej prawidłowo, jeżeli wykonana jest w postaci rury kołowej o dostatecznie dużej grubości i dokładnie powiązanej z otą zającymi ją skałami. W przypadku takim w konstrukcji obudowy występują naprężenia ściskające, na które budujący ją materiał posiada dostatecznie dużą wytrzymałość.

W dalszym ciągu pracy uzasadni się, że kołowy kształt obudowy szybu (względnie innego rodzaju górniczego wyrobiska kapitalnego) jest korzystny również przy innych sposobach jej obciążenia. W pracy rozpatrzono równomierne obciążenie obudowy ale o różnych wielkościach w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach (rys. 2). Wielkości nacisków górotworu na obudowę szybu - p_1 i p_2 (rys. 2, gdzie $p_1 > p_2$) można obliczyć za pomocą odpowiednich zależności podanych w [3].

Przyczynami wystąpienia nacisków skał na obudowę szybu o wielkościach $p_1 > p_2$ mogą być:

- nachylenie warstw skalnych,
- występowanie uskoków,
- zmienna wytrzymałość skał w otoczeniu projektowanego szybu,
- skłonność skał do pęcznienia.



Rys. 2. Rozkład naprężeń ściskających w obudowie murowej o kształcie kołowym przy różnych wielkościach jej obciążenia w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach - bez dopuszczenia w niej rys i szczelin

- a) rozkład naprężeń na powierzchni zbliżonej do trójkąta, b) rozkład naprężeń na powierzchni zbliżonej do trapezu

Fig. 2. Compressive stress distribution in a brick lining of circular shape at its different loads in two perpendicular directions - without allowing for scratches and cracks

- a) stress distribution on the surface approximate to a triangle, b) stress distribution on the surface approximate to a trapezium

Obudowę (rys. 2) dla ustalonego jej obciążenia wielkościami p_1 i p_2 można projektować wg następującego sposobu postępowania:

- przyjmuje się w pierwszej kolejności minimalną grubość obudowy $d_0 \approx 0,4$ m niezbędną do prawidłowego zamocowania w niej dźwigarów zbrojenia szybu,
- oblicza się wielkość rozporu H pod wypadkową większego obciążenia obudowy ciśnieniem górotworu p_1 (rys. 2)

$$H = p_2(R_w + d_0) - p_2R_z \quad (6)$$

- zakłada się, że w żadnym przekroju obudowy nie mogą wystąpić pod wpływem obciążenia jej wielkościami nacisków p_1 i p_2 naprężenia rozciągające, a ze względu na dopuszczalną wielkość naprężeń ściskających przyjęta wstępnie grubość obudowy d_0 powinna spełniać warunek wyrażony zależnością (7)

$$d = \frac{2H}{k_c} \leq d_0, \quad (7)$$

gdzie k_c - dopuszczalne naprężenia na ściskanie w materiale obudowy.

Sprawdzenie zachowania powyższego założenia oraz przyjęcia wystarczających grubości obudowy d_0 przeprowadza się wg następujących obliczeń.

Ustala się maksymalną wielkość momentu zginającego M_{\max} w obudowie oraz miejsce jego występowania określone kątem α_w za pomocą równania (8), przy przyjęciu miejsca działania rozporu H obliczonego za pomocą zależności (6) - w górnej granicy rdzenia podłużnego przekroju pierścienia obudowy (rys. 2 - wykres a).

$$\begin{aligned} M = & 0,5 p_1 [(R_z - 0,5 d_0)^2 - 0,125 d_0^2] \sin^2 \alpha_w + \\ & + p_2 R_z (1 - \cos \alpha_w) [0,5 R_z (1 - \cos \alpha_w) + 0,5 d_0 \cos \alpha_w] - \\ & - p_2 R_z [R_z (1 - \cos \alpha_w) + d_0 (0,5 \cos \alpha_w - 0,33)] \end{aligned} \quad (8)$$

Z zależności (8) wielkość M_{\max} i kąt α_w ustala się na podstawie wykresu przedstawionego na rys. 3.

Ustalenie wielkości M_{\max} umożliwia obliczenie wartości mimośrodowość e_0 oraz naprężeń ściskających $\sigma_{c \max}$ w obudowie w miejscu określonym kątem α_w (rys. 3)

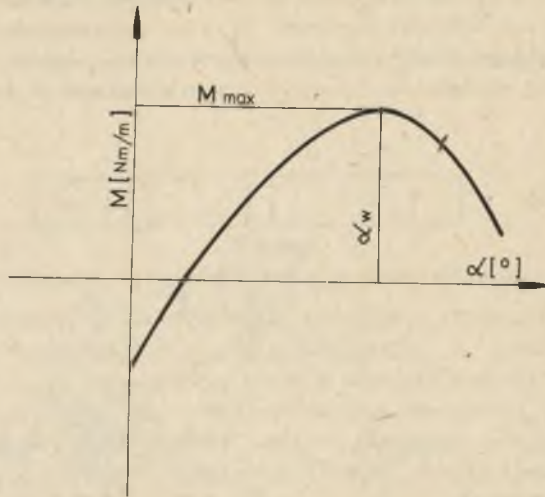
$$e_0 = \frac{M_{\max}}{N} \leq \frac{d_0}{6} \quad (9)$$

Symbol N w zależności (9) oznacza wielkość wewnętrznej siły podłużnej w obudowie w przekroju występowania M_{\max} określonym przez kąt α_w - rys. 3.

$$\sigma_{c \max} = \frac{2N}{d_0} \leq k_c \quad (10)$$

Wielkość siły N występującej w zależnościach (9) i (10) oblicza się wg wzoru (11):

$$N = p_1 R_z \sin^2 \alpha_w + [H - p_2 R_z (1 - \cos \alpha_w)] \cos \alpha_w \quad (11)$$



Rys. 3. Graficzny sposób wyznaczania za pomocą wzoru (8) maksymalnej wielkości i miejsca występowania momentu gnącego M_{\max} w zginanym pierścieniu obudowy murowej

Fig. 3. Graphic presentation of maximum value and place of occurrence of bending moment M_{\max} in a bent ring of the brick lining by means of the formula (8)

Kąt α_w na podstawie przeprowadzonych badań (rysunki 4 i 5) przyjmuje wartości w granicach $40^\circ - 60^\circ$.

Jeżeli obliczona za pomocą wzoru (9) wielkość e_o spełnia warunek $e_o > \frac{d_o}{6}$ lub $\sigma_c > k_c$ (wzór (10)), wówczas przyjętą wstępnie grubość obudowy $d_o = 0,4$ m należy powiększać metodą kolejnych przybliżeń do chwili spełnienia zależności (12) i (13)

$$e_o = \frac{M_{\max n}}{N_{(M_{\max n})}} R \frac{d_n}{6} \quad (12)$$

$$d_n \leq \frac{2N_{(M_{\max n})}}{k_c} \quad (13)$$

Indeks n we wzorach (12) i (13) oznacza ilość kolejnych przyjęć grubości obudowy d_n oraz ilość obliczeń wielkości M_{\max} - wzór (8) i $N_{(M_{\max})}$ - wzór (11), przy których to wielkościach spełnione zostają zależności (12) i (13).

Jeżeli wg wzoru (9) wielkość e_o spełnia warunek $e_o < \frac{d_o}{6}$, wówczas naprężenia ściskające w miejscach działania rozporu $H(\alpha=0)$ i momentu zginającego $M_{\max}(\alpha=\alpha_w)$ rozkładają się nie wg trójkąta (rys. 2 - wykres a), lecz wg trapezu (rys. 2 - wykres b).



Rys. 4. Badania podporności zginanego sklepienia w kształcie łuku kołowego obudowy murowej

Fig. 4. Testing the supporting ability of bent roof in the shape of circular arc of the brick lining



Rys. 5. Badania podporności zginanej obudowy murowej o kształcie owalnym zbliżonym do łuku kołowego

Fig. 5. Testing the supporting ability of bent brick lining of oval shape approximate to circular arc

Trapezowy rozkład naprężeń ściskających stanowi pewien zapas bezpieczeństwa ograniczający możliwość występowania w projektowanej obudowie naprężeń rozciągających oraz tworzenia się w niej rys i szczelin. Stąd w przypadku twierdzenia na podstawie obliczeń, że spełnione zostały zależności (7), (9) i (10), przyjęta wstępnie grubość obudowy Δ_0 można uznać za wystarczającą.

4. UWAGI KOŃCOWE

Materiał obudowy murowej z cegły, betonitów lub z betonu jest przystosowany głównie do przejmowania naprężeń ściskających. Górnicza obudowa murowa będzie pracować na naprężenia ściskające przy wszystkich sposobach jej obciążenia, jeżeli zostaną spełnione następujące warunki techniczno-technologiczne:

- owalny zamknięty kształt obudowy - najlepiej kołowy,
- zapewnienie dokładnego powiązania obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska,
- przyjęcie minimalnej grubości obudowy około 0,4 m,
- dobór materiału obudowy o dostatecznie dużej wytrzymałości na ściskanie ($R_c \geq 3,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$) i o szybkim czasie wiązania betonu lub zaprawy celem uzyskania wymaganej projektowanej podporności obudowy w krótkim czasie od chwili jej wykonania.

Projektowanie kołowej obudowy murowej jest szczególnie kłopotliwe przy nierównomiernym jej obciążeniu w kierunku radialnym. W przypadku wywierania na nią od strony górotworu ciśnienia, w przybliżeniu równomiernego ale o różnych wielkościach p_1 i p_2 (rys. 2), w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach grubość obudowy można projektować wg podanych w pracy wzorów (6) - (13).

LITERATURA

- [1] Bielajew N.M.: Sprotiwlenije materialow. Nauka, Moskwa 1976.
- [2] Borecki M., Chudek M., Szczepaniak Z.: Projektowanie i zabezpieczanie górniczej obudowy murowej. Śląsk, Katowice 1969.
- [3] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 956/61 Gliwice 1981.
- [4] Król W., Starosolski W.: Konstrukcje betonowe cz. I. Warszawa 1976.
- [5] Szczepaniak Z.: Podporność segmentowej obudowy żelbetowej oraz jej wpływ na stateczność wyrobisk na dużych głębokościach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 133, Gliwice 1982.
- [6] Zsuzsik W., Kuczyński J.: Wytrzymałość materiałów. cz. I. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 865/45, Gliwice 1979.

- [7] Zasiłowski J.Z., Zorin A.N., Czerinik I.I.: Rasczoty parametrov kriepi vyrabotok glubych szacht. Izdatielstvo Tiekhnika. Kijew 1972.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Małoszewski

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРНОЙ КАМЕННОЙ КРЕПИ В ФОРМЕ ОКРУЖНОСТИ БЕЗ ДОПУСКА ДО ПОЯВЛЕНИЯ В НЕЙ ТРЕЩИН И ЦЕЛЕЙ

Р е з ю м е

Каменные крепи в форме окружности в настоящее время широко применяются при проходке ствола. На это влияет сравнительно малая стоимость строительства крепей (особенно бетонных) и выгодная совместная её работа с горными породами, при влиянии на неё равномерного нажима в радиальном направлении, действующего со стороны окружающих её скал. В работе подтверждено, что и при менее выгодной нагрузке крепи, т.е. увеличенной в одном направлении, она успешно может сопротивляться большой нагрузке горных пород. Кольцо крепи в этом случае подвергается изгибу, что требует разработки соответственного метода определения её устойчивости. В работе представлено метод проверки устойчивости каменной крепи в форме окружности при нажиме на неё далеким от равномерного в радиальном направлении. Разработано новые формулы для проектирования толщины крепи, изгибаемой под влиянием действия на неё увеличенного в одном направлении нажатия горных пород. В случае действия разных по величине нагрузок P_1 и P_2 на крепь в форме окружности в двух взаимноперпендикулярных плоскостях, её толщины можно проектировать на основе представленных в работе формул (6) - (13).

DESIGNING OF BRICK LINING OF CIRCULAR SHAPE WITHOUT ALLOWING FOR SCRATCHES AND CRACKS

S u m m a r y

Circular brick linings are now widely used in shaft sinking. Easy technology, low costs of lining making (especially of concrete) and lining profitable cooperation with a rock during uniform radial pressure on it from the side of the rocks around are the features which determine its application. The paper gives the reasons for the fact that also at the less profitable lining load, i.e. bigger in one direction, the lining may successfully resist big rock pressure. In such case a support ring bends, and this

needs working out of a suitable method of its stability determining. The paper presents method of checking of supporting ability of brick lining shaped circularly at its load being far from the magnitude uniform in radial directions. New formulae have been worked out for designing a thickness of the lining bent under the rock pressure bigger in one direction. In the case of different pressures p_1 and p_2 acting on the circular lining (in two planes perpendicular to each other), its thickness can be designed according to the formulae (6) - (13) presented in the paper.