ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1964
Seria: GÓRNICTWO z. 12 Nr kol. 124

MARIAN CHYCKI

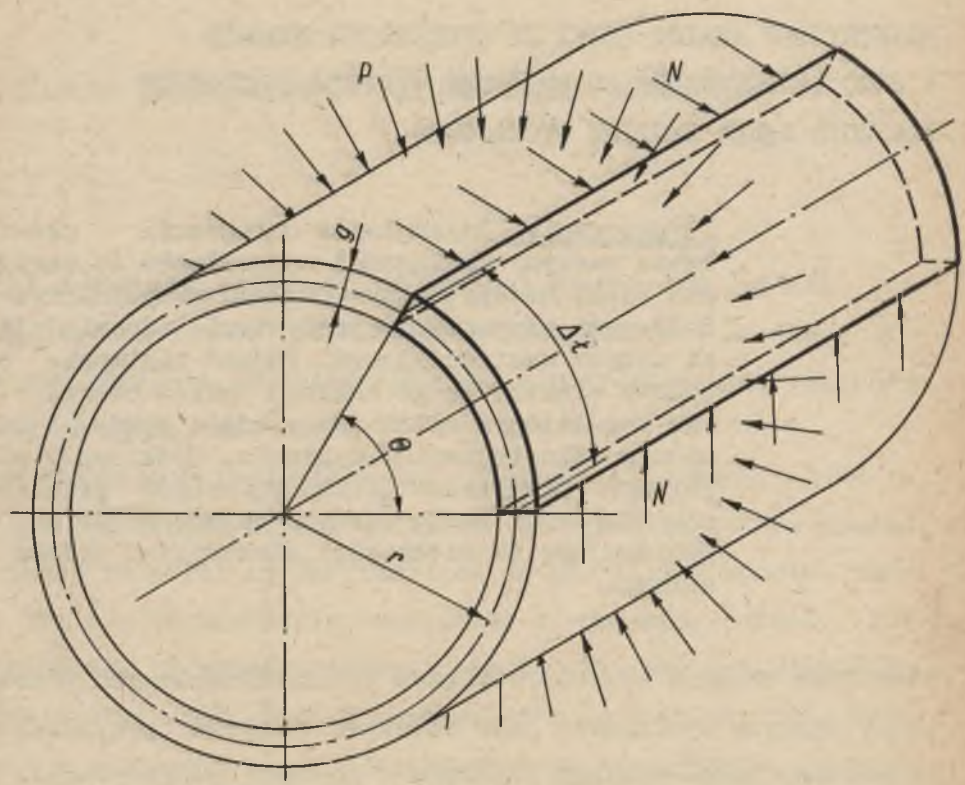
ELEKTRYCZNY ANALOG BELKI NA SPRĘŻYSTYM PODŁOŻU I JEGO ZASTOSOWANIE DO OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH PŁASZCZA BĘBNA MASZYNY WYCIĄGOWEJ

Streszczenie. Zagadnienie obliczenia płaszcza bębna maszyny wyciągowej sprowadzono do zagadnienia belki na sprężystym podłożu uzupełnionym dodatkowymi elementami sprężystymi, odpowiadającymi żebrom usztywniającym. Podano następnie opis budowy elektrycznego analogu takiej belki, w którym uogólnionym siłom odpowiadają prądy, a uogólnionym odkształceniom napięcia. Omówiono i zilustrowano przykładem liczbowym sposób przeliczenia wielkości mechanicznych układu belki na odpowiadające im większości elektryczne układu analogu.

Stosowane obecnie sposoby obliczeń wytrzymałościowych płaszcza bębna maszyny wyciągowej jako podstawę obliczeń przyjmują uproszczony model takiego płaszcza w postaci cylindrycznej, izotropowej powłoki nieusztywnionej lub usztywnionej poprzecznymi żebrami i obciążonej osiowo-symetrycznie.
Obliczenia takiego płaszcza sprowadzają się do rozwiązania liniowego równania różniczkowego czwartego rzędu [1, str. 272].

Możliwy jest również inny sposób obliczeń wytrzymałościowych płaszcza bębna maszyny wyciągowej, wykorzystujący ogólnie znane podobieństwo w równaniach opisujących odkształcenia po-

włoki cylindrycznej i belki na podłożu sprężystym. Podobieństwo to ma również swoje uzasadnienie fizyczne, w którym belką na podłożu sprężystym jest element powłoki (rys. 1), wraz z



Rys. 1. Elementarny wycinek powłoki płaszcza

przypadającą na niego częścią obciążenia, wycięty dwoma płaszczyznami osiowymi. Założono, że płaszczyzny te przecinają się pod kątem:

$$\Theta = \frac{\Delta z}{r} \tag{1}$$

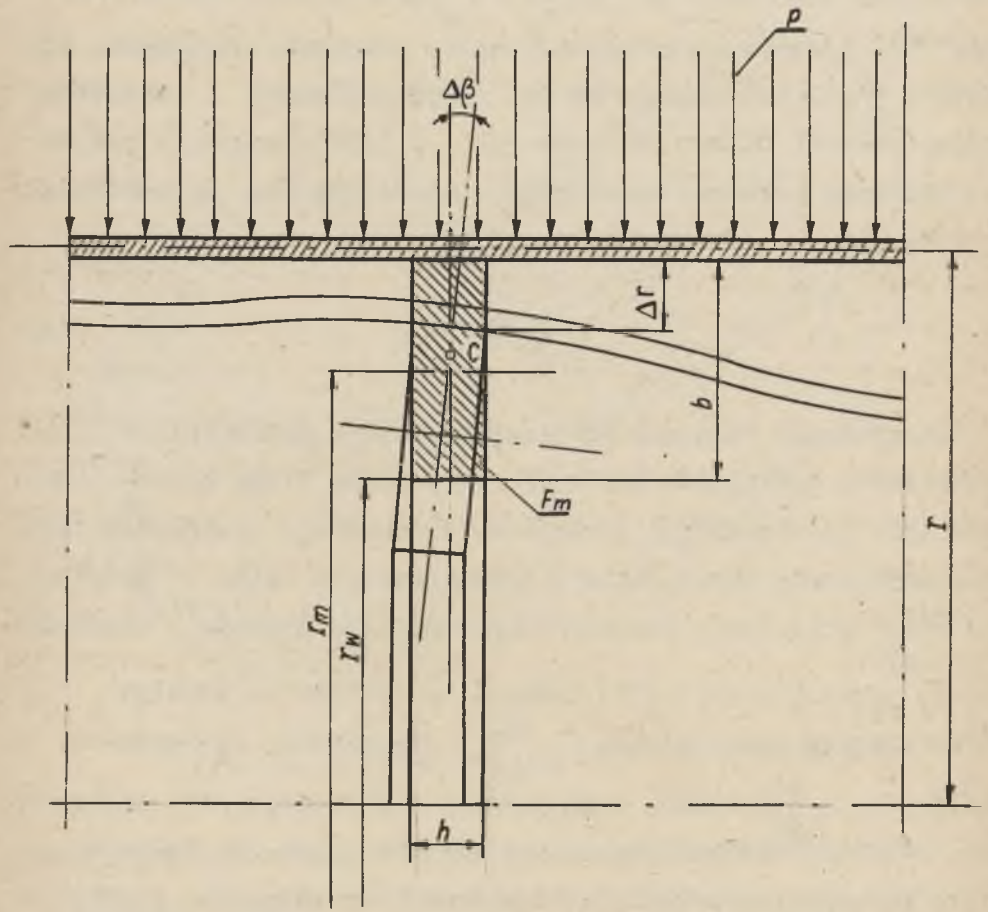
przy czym przyjęto, że występująca w równaniu (1) jak również w innych równaniach tej pracy długość łuku $\Delta ł$ (rys. 1) ma wartość przyjętej jednostki długości np. 1 cm. Oznaczenie jednostkowej długości łuku przez $\Delta ł$ jest konieczne ze względów wymiarowych. Obciążenie elementu określone jest przez powierzchniowe natężenie obciążenia płaszcza bębna $p \frac{kG}{cm^2}$ [1, str. 271]. Mnożąc powierzchniowe natężenie $p \frac{kG}{cm^2}$ przez jednostkową szerokość Δl elementu otrzymujemy liniowe natężenie obciążenia elementu $q \frac{kG}{cm}$. Oddziaływanie na tak wycięty element pozostałej części powłoki (układ sił N na rys. 1) jest równoważne podparciu elementu podłożem sprężystym o współczynniku sprężystości C_p równym

$$C_p = \frac{Eg}{r} \frac{\Delta ł}{r} \frac{kG}{cm^2} \tag{2}$$

Uzasadnienie równania (2) znajduje się w podręcznikach wytrzymałości materiałów np. w [2, str. 620]. W ten sposób zagadnienie wytrzymałości powłoki cylindrycznej, obciążonej osiowo-symetrycznie sprowadza się do zagadnienia belki o sztywności $\frac{EJ}{1-\nu^2}$ (obliczenie momentu bezwładności przekroju elementu podaje praca [1, str. 271] leżącej na podłożu sprężystym o współczynniku sprężystości $C_p \frac{kG}{cm^2}$ i obciążonej obciążeniem o natężeniu $q \frac{kG}{cm}$. Jeżeli taka powłoka usztywniona jest poprzecznymi żebrami usztywniającymi, to odpowiadająca jej belka na podłożu sprężystym posiada jeszcze dodatkowe elementy sprężyste w postaci podpór i utwierdzeń sprężystych.

Rys. 2 przedstawia fragment podłużnego przekroju użebrowanego płaszcza bębna maszyny wyciągowej, na którym widać żebro

usztywniające wraz z przylegającą do niego częścią płaszcza przed i po obciążeniu. Przyłożenie do płaszcza osiowo-symetrycznego obciążenia powoduje również osiowo-symetryczne odkształcenie tak płaszcza jak i żeber usztywniających. Jak widać na rys. 2 odkształcenie żebra usztywniającego polega na je



Rys. 2. Fragment podłużnego przekroju płaszcza

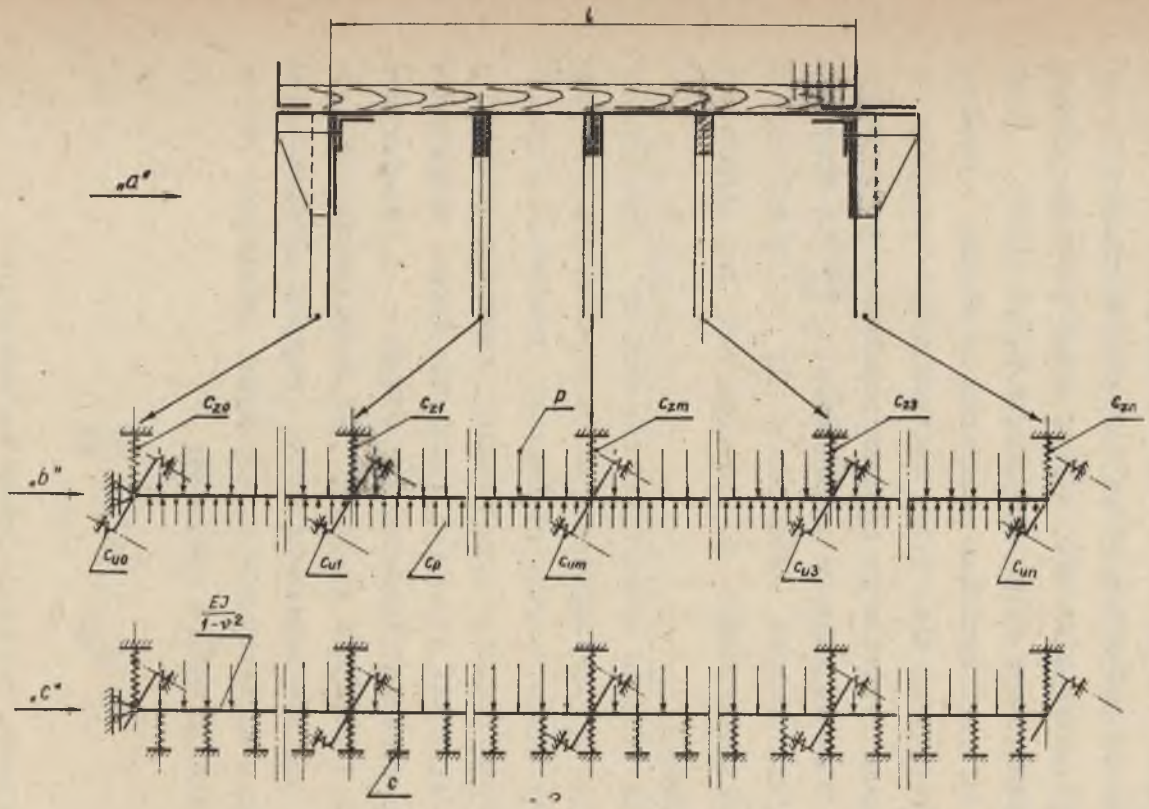
go promieniowym ściśnięciu o odcinek Δr i jednoczesnym skręceniu każdego jego przekroju o kąt $\Delta\beta$. W celu uproszczenia obliczeń założono, że przekroje żebra w czasie skręcania nie ulegają deformacji, obracając się jedynie wokół pewnego punktu C. Ściśnięcie promieniowe żebra o odcinek Δr i obrót jego przekroi o kąt $\Delta\beta$ jest wynikiem działania ze strony powłoki na myślowo oddzielone od niej żebro usztywniające ciągłego i osiowo-symetrycznie rozłożonego nacisku promieniowego o natężeniu $q_o \frac{kG}{cm}$ i momentu gnącego o natężeniu $m_o \frac{kGcm}{cm}$. Przyjęto, że przy założeniu małych odkształceń Δr i $\Delta\beta$ zależności między tymi odkształceniami a wywołującymi je siłami q_o i m_o są liniowe.

Układ belki na podłożu sprężystym uzupełniony dodatkowymi podporami i utwierdzeniami sprężystymi, a odpowiadający użebrowanemu płaszczowi bębna maszyny wyciągowej, przedstawia rys.3b. Rys. 3a przedstawia fragment poprzecznego przekroju użebrowanego płaszcza. Jak widać z rys. 3b działaniu żeber usztywniających odpowiada działanie dodatkowych podpór i utwierdzeń sprężystych, przyłożonych w miejscach tak rozmieszczonych na długości belki, jak rozmieszczone są na długości płaszcza żebra usztywniające. Współczynnik sprężystości dodatkowej podpory sprężystej określa ogólne równanie:

$$C_{zm} = \frac{q_o \Delta r}{\Delta r} \frac{kG}{cm} \tag{3}$$

Dla konkretnego żebra usztywniającego ma ono postać:

$$C_{zm} = \frac{EF_m}{r_m} \frac{\Delta r}{r_m} \frac{kG}{cm} \tag{3a}$$



Rys. 3. Użebrowany płaszcz bębna maszyny wyciągowej i odpowiadające mu belki sprężyście podparte

a) użebrowany płaszcz, b) belka na podłożu sprężystym, c) uproszczony układ belki na podłożu sprężystym

w którym:

F_m - powierzchnia m-tego żebra usztywniającego,

r_m - promień środka ciężkości tego przekroju.

Równanie (3a) określa C_{zm} w sposób przybliżony z wystarczającą jednak dla rozpatrywanego zagadnienia dokładnością.
Ogólne równanie określające współczynnik sprężystości utwierdzenia sprężystego ma postać:

$$C_{um} = \frac{m_o \Delta \mathfrak{T}}{\Delta \beta} \frac{kGcm}{rd} \tag{4}$$

W przypadku żebra o prostokątnym przekroju przybiera ono postać następującą:

$$C_{um} = \frac{Eh^3 \Delta \mathfrak{T}}{12r} \ln \frac{r}{r_w} \frac{kGcm}{rd} \tag{4a}$$

Oznaczenia stosowane w równaniu (4a) odnoszą się do rys. 2 natomiast uzasadnienie tego równania znajduje się w pozycji [2, str. 673] podanej literatury. Określenie współczynników sprężystości utwierdzeń sprężystych, odpowiadających żebrom usztywniającym o innych przekrojach, jest zagadnieniem obszerniejszym i wymagającym osobnego omówienia. Dzieląc ciągły ośrodek sprężysty belki (rys. 3b) o długości l na n równych części i zastępując każdą z nich podporą sprężystą o współczynniku sprężystości określonym równaniom:

$$C = C_p \frac{l}{n} \frac{kG}{cm} \tag{5}$$

otrzymuje się uproszczony układ belki na podłożu sprężystym, przedstawiony na rys. 3c. Całkowity współczynnik k-tej podpory sprężystej oznaczany w dalszym ciągu tej pracy przez C_k będzie wynosił:

$$C_k = \begin{cases} C + C_z & \text{dla } k=0 \text{ i } k=n \text{ oraz } k \text{ tych podpór, przy} \\ & \text{których znajdują się elementy sprę} \\ & \text{żyste odpowiadające żebrom usztyw} \\ & \text{niającym. } C \text{ dla pozostałych } k. \end{cases} \tag{6}$$

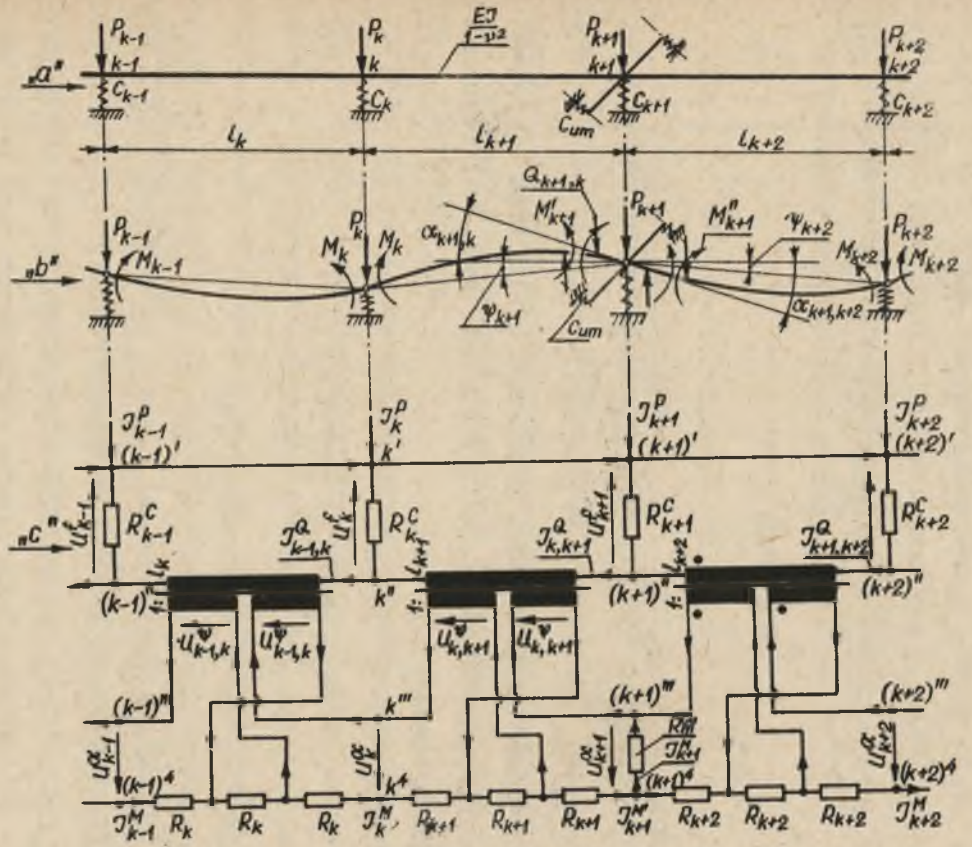
Przedstawiona interpretacja użebrowanego płaszcza bębna maszyny wyciągowej daje możliwość zastosowania do obliczeń płaszcza elektrycznego analogu belki na podłożu sprężystym [3]. Podstawą budowy analogu jest uproszczony układ takiej belki, którego fragment przedstawia rys. 4a. Między układem przedstawionym na tym rysunku a układem z rys. 3c nie ma żadnych istotnych różnic. Obciążenia skupione P_k zastępujące obciążenie ciągłe układu z rys. 3c mają wartości:

$$P_k = p \frac{l}{n} kG, \quad k = 1,2,\ldots (n-1) \tag{7}$$

Belka z rys. 4a jest układem wielokrotnie statycznie niewyznaczalnym. Przyjęty odpowiadający mu układ statycznie wyznaczalny przedstawia rys. 4b.

Dla dowolnego odcinka belki z rys. 4b ważne są następujące związki:

$$\left.\begin{array}{c} \text{równania równowagi} \\ M_{k-1} - M_k = Q_{k-1,k}\, l_k \\ Q_{k,k-1} = - Q_{k-1,k} \end{array}\right\} \tag{8}$$



Rys. 4. Fragment belki na podporach sprężystych i odpowiadający mu fragment analogu elektrycznego
a - belka na podporach sprężystych, b - linia ugięcia belki, c - układ elektryczny analogu belki

równania wiążące odkształcenia odcinka l_k z siłami, które te odkształcenia wywołują:

$$\left.\begin{aligned}
&\alpha_{k-1,k} - \alpha_{k,k-1} = \frac{l_k}{2E_1J}(M_{k-1} + M_k)\\
&\psi_{k-1,k} = \alpha_{k-1,k} - \frac{l_k}{6E_1J}(2M_{k-1} + M_k)\\
&\psi_{k-1,k} = \frac{f_k - f_{k-1}}{l_k} =\\
&= \frac{P_k + Q_{k,k-1} - Q_{k,k+1}}{C_k\, l_k} - \frac{P_{k-1} - Q_{k-1,k} + Q_{k-1,k-2}}{C_{k-1}\, l_k}
\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Dalsze równania dają warunki równowagi utwierdzeń sprężystych. Dla utwierdzenia przy (k+1) podporze (rys. 4b) równanie równowagi ma postać:

$$(M'_{k+1} - M''_{k+1})\,\frac{1}{C_{um}} = \alpha_{k+1} \qquad (10)$$

w równaniach (8), (9) i (10) oznaczają:

M_{k-1}, M_k, $Q_{k-1,k}$, $Q_{k,k-1}$, $\alpha_{k-1,k}$, $\alpha_{k,k-1}$ - momenty gnące, siły tnące i kąty obrotów na końcach k-tego odcinka.

$\psi_{k-1,k}$ - kąt obrotu cięciwy odkształconego k-tego odcinka,

α_{k+1} - kąt obrotu utwierdzenia sprężystego przy (k+1) podporze sprężystej,

f_{k-1}, f_k - ugięcia (k-1) i k podpory sprężystej.

Układom równań (8), (9) i (10) odpowiadają następujące umowy, określające dodatnio zwroty uogólnionych sił i odkształceń. Do

datnie zwroty momentów sił wchodzących do równań statyki oraz dodatni kierunek obrotów przekrojów poprzecznych belki jest zgodny z kierunkiem obrotu wskazówek zegara. Dodatni zwrot sił poprzecznych i ugięć skierowano pionowo w dół.
Układ równań (8), (9) i (10) nie zawiera warunków nierozdzielności odkształceń elementów składowych układu z rys. 4b. Warunki te wyrażają się ogólnymi równaniami

$$\alpha_{k,k-1} = \alpha_{k,k+1} \tag{11}$$

a ich realizacja nastąpi, jak to zostanie wykazane w dalszej części pracy przez odpowiedni sposób połączeń poszczególnych fragmentów analogu zbudowanych na podstawie równań (8), (9) i (10). Schemat elektrycznego analogu belki na podłożu sprężystym przedstawia rys. 4c.

Składa się on z szeregu odpowiednio połączonych transformatorów i oporów. Transformatory posiadają po trzy uzwojenia nawinięte w tym samym kierunku, z których dwa mają równe ilości zwojów. Przekładnia między trzecim uzwojeniem a każdym z dwóch pozostałych wynosi $l_k:1$. Założono, że transformatory są idealne. Układ elektryczny z rys. 4c został tak zbudowany, aby prądy płynące w poszczególnych jego gałęziach odpowiadały uogólnionym siłom występującym w układzie z rys. 4b. Różnice potencjałów między odpowiednio dobranymi węzłami układu elektrycznego odpowiadają uogólnionym odkształceniom układu mechanicznego belki sprężyście podpartej. Ogólnie wyraża się to następującymi równaniami symbolicznymi:

$$J \longleftrightarrow P,\ M$$

$$U \longleftrightarrow \varphi,\ \alpha$$

przy czym znak $\longleftrightarrow$ oznacza "odpowiada".

Stosując do układu elektrycznego z rys. 4c pierwsze i drugie prawo Kirchhoffa oraz pamiętając o podstawowych własnościach transformatora idealnego, otrzymujemy następujące równania elektryczne, odpowiadające układowi równań mechanicznych (8), (9) i (10)

$$J^M_{k-1} - J^M_k = J^Q_{k-1,k}\, l_k$$

$$U^\alpha_{k-1} - U^\alpha_k = 3R_k\,(J^M_{k-1} + J^M_k)$$

$$U^\psi_{k-1,k} = U^\alpha_{k-1} - R_k\,(2J^M_{k-1} + J^M_k)$$

$$U^\psi_{k-1,k} = \frac{U_k - U_{k-1}}{l_k} =$$

$$= \frac{J^P_k + J^Q_{k,k-1} - J^Q_{k,k+1}}{l_k} R^C_k - \frac{J^P_{k-1} + J^Q_{k-1,k-2} - J^Q_{k-1,k}}{l_k} R^C_{k-1} \tag{12}$$

$$J^Q_{k-1,k} = - J^Q_{k,k-1}$$

$$(J^{M'}_{k+1} - J^{M''}_{k+1})\, R^{cu}_m = U^\alpha_{k+1}$$

Porównując obie grupy równań mechanicznych i elektrycznych zauważa się, że istnieje między nimi pełna analogia, w szcze-

gólności zaś poszczególnym wielkościom mechanicznym odpowiadają następujące wielkości elektryczne:

$$P_k \longleftrightarrow J_k^P$$

$$M_k \longleftrightarrow J_k^M$$

$$Q_{k-1,k} \longleftrightarrow J_{k-1,k}^Q$$

$$\alpha_{k-1,k} \longleftrightarrow U_{k-1}^{\alpha}$$

$$\psi_{k-1,k} \longleftrightarrow U_{k-1,k}^{\psi}$$

$$f_k \longleftrightarrow U_k^f$$

$$\frac{l_k}{6E_1J} \longleftrightarrow \bar{R}_k$$

$$\frac{1}{C_k} \longleftrightarrow R_k^c$$

$$\frac{1}{C_{um}} \longleftrightarrow R_m^{cu}$$

W celu dokładnego określenia wielkości natężeń prądów zasilających układ analogu, jak również w celu określenia innych elementów tego układu, przyjęto następujące skale przejściowe wiążące wielkości układu mechanicznego z odpowiadającymi im wielkościami układu elektrycznego analogu. Skala natężenia prądów:

$$\left.\begin{aligned} k_p &= \frac{J^P}{P}\ \frac{A}{kG} \\ k_Q &= \frac{J^Q}{Q} = k_P\ \frac{A}{kG} \end{aligned}\right|$$

skale oporności:

$$\left.\begin{aligned} k_c &= \frac{R^c}{\frac{1}{C}} \; \frac{\Omega}{\frac{cm}{KG}} \\ k_u &= \frac{R^{cu}}{\frac{1}{C_u}} \; \frac{\Omega}{\frac{rd}{KGcm}} \\ k_l &= \frac{R}{\frac{l_k}{6E_1J}} \; \frac{\Omega}{\frac{rd}{KGcm}} \end{aligned}\right\} \quad (a)$$

Skale przejściowe dla pozostałych odpowiadających sobie wielkości mechanicznych i elektrycznych wynikają z założonych skal i równań (9) i (12)

$$\left.\begin{aligned} k_M &= \frac{J^M}{M} \; \frac{A}{KGcm} \\ k_\alpha &= \frac{U^\alpha}{\alpha} = k_l \cdot k_M \; \frac{V}{rd} \\ k_\psi &= \frac{U^\psi}{\psi} = k_e \cdot k_M \; \frac{V}{rd} \\ k_f &= \frac{U^f}{f} = k_l \cdot k_M \; \frac{V}{cm} \end{aligned}\right\} \quad (b)$$

Płaszcz bębna maszyny wyciągowej, obok wielkości liczbowych, charakteryzują także pewne warunki brzegowe, które określają równocześnie warunki brzegowe tej belki na podłożu sprężystym, która danemu płaszczowi odpowiada. Te ostatnie warunki brzegowe określają z kolei wartość współczynników sprężystości koń-

cowych podpór i utwierdzeń sprężystych C_o, C_n i C_{uo}, C_{un} belki z rys. 3c. Zakresy ich wartości są następujące:

$$\left.\begin{aligned} 0 < C_o \leqslant \infty \\ 0 < C_n \leqslant \infty \\ 0 \leqslant C_{uo} \leqslant \infty \\ 0 \leqslant C_{un} \leqslant \infty \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

n - ilość odcinków

W stosunku do elektrycznego analogu belki na podłożu sprężystym zakresom wartości mechanicznych odpowiadają następujące zakresy ich elektrycznych odpowiedników

$$\left.\begin{aligned} 0 \leqslant R_o^c < \infty \\ 0 \leqslant R_n^c < \infty \\ 0 \leqslant R_o^{cu} \leqslant \infty \\ 0 \leqslant R_n^{cu} \leqslant \infty \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Jako przykład zastosowania praktycznego podanych wyżej rozważań teoretycznych rozpatrzono następujący przykład liczbowy.

Należy ustalić podstawowe wielkości elementów składowych elektrycznego analogu belki na podłożu sprężystym, odpowiada-

jącej użebrowanemu płaszczowi bębna maszyny wyciągowej o następujących danych:

Płaszcz bębna

$$E = 2100000 \frac{kG}{cm^2}$$

$$v = 0,3$$

$$g = 1,2 \text{ cm}$$

$$r = 230 \text{ cm}$$

$$l = 200 \text{ cm}$$

$$J = 4 \text{ cm}^4$$

$$p = 18 \frac{kG}{cm^2}$$

Żebra usztywniające

Płaszcz usztywniony jest dwoma symetrycznie rozmieszczonymi żebrami usztywniającymi o jednakowych prostokątnych przekrojach. Odległość między żebrami usztywniającymi wynosi 84 cm. Wymiary przekrojów żeber usztywniających

$$b_1 = b_2 = 14 \text{ cm}$$

$$h_1 = h_2 = 4 \text{ cm}$$

$$r_{m1} = r_{m2} = 222,4 \text{ cm}$$

$$r_{w1} = r_{w2} = 215,4 \text{ cm}$$

$$F_1 = F_2 = 56 \text{ cm}^2$$

Warunki brzegowe

Należy rozważyć dwa przypadki warunków brzegowych:

a) $C_o = C_n = \infty$

$C_{uo} = C_{un} = 0$

b) $C_o = C_n = \infty$

$C_{uo} = C_{um} = \infty$

Podstawowe wielkości, określające belkę na podłożu sprężystym odpowiadającą rozpatrywanemu płaszczowi, określają równania (2), (3) i (4).

$$E_1 = \frac{E}{1-r^2} = \frac{2100000}{1-0,3^2} = 2307692 \ \frac{kG}{cm^2}$$

$$q = p.\Delta l = 18.1 = 18 \ \frac{kG}{cm}$$

$$C_p = \frac{Eg}{r} \ \frac{\Delta l}{r} = \frac{2100000.1.2}{230} \cdot \frac{1}{230} = 47,64 \ \frac{kG}{cm^2}$$

$$C_{u1} = C_{u2} = \frac{Eh^3 \Delta l}{12r} \ln \frac{r}{r_w} = \frac{2100000.4^3.1}{12.230} \ln \frac{230}{215,4} =$$

$$= 19355,81 \ \frac{kGcm}{rd}$$

$$C_{z1} = C_{z2} = \frac{EF_m \Delta l}{r_m \ r_m} = \frac{2100000.56.1}{222,4 \ . \ 222,4} = 2377,59 \ \frac{kG}{cm}$$

Belka na podporach sprężystych

Założono podział całkowitej długości belki na 50 odcinków. Wobec tego przy podanym poprzednio rozmieszczeniu żeber usztywniających odpowiadające im elementy sprężyste będą się znajdować przy 15 i 36 podporze sprężystej

$$C = C_p \cdot \frac{l}{n} = 47{,}64 \cdot \frac{200}{50} = 190{,}56 \ \frac{kG}{cm}$$

$$P_k = p \frac{l}{n} = 18.4 = 72 \ kG, \quad k = 1,2,\ldots\ldots 50$$

$$C_k = \begin{cases} \infty \text{ dla } k = 0 \text{ i } k = 51 \\ 190{,}56 \ \frac{kG}{cm} \text{ dla } k=1,2,\ldots\ldots 50 \text{ z wyjątkiem } k=15 \text{ i } k=36 \\ 2568{,}15 \ \frac{kG}{cm} \text{ dla } k = 15 \text{ i } k = 36 \end{cases}$$

$$C_{uk} = \begin{cases} 0 \text{ dla } k=0 \text{ i } k=51 \text{ w przypadku (a) warunków brzegowych} \\ \infty \text{ dla } k=0 \text{ i } k=51 \quad \text{" (b) " "} \\ 0 \text{ dla } k=1,2,\ldots 50 \text{ z wyjątkiem } k=15 \text{ i } k=36 \\ 19355{,}81 \ \frac{kGcm}{rd} \text{ dla } k=15 \text{ i } k=36 \end{cases}$$

Elektryczny analog belki na podporach sprężystych

Założony poprzednio podział belki na 50 równych odcinków ustala ilość i przekładnie transformatorów analogu. Analog będzie posiadał 51 transformatorów. Przekładnia pierwszego i ostatniego transformatora będzie wynosiła 2:1.

Przekładnie transformatorów pozostałych 4:1. Dla określenia oporów i prądów zasilających analog, przyjęto następujące skale przejściowe (a)

$$k_p = \frac{1mA}{kG}$$

$$k_c = 1 \frac{M\Omega}{\frac{cm}{kG}}$$

$$k_u = 10 \frac{M\Omega}{\frac{rd}{kGcm}}$$

$$k_l = 1 \frac{M\Omega}{\frac{rd}{kGcm}}$$

Pozostałe skale przejściowe (b) mają wobec tego wartości:

$$k_M = \frac{J^M}{M} = 1 \frac{mA}{kGcm}$$

$$k_\alpha = \frac{U^\alpha}{\alpha} = k_l \cdot k_M = 1000 \frac{V}{rd}$$

$$k_\psi = \frac{U^\psi}{\psi} = k_l \cdot k_M = 1000 \frac{V}{rd}$$

$$k_f = \frac{U^f}{f} = k_l \cdot k_M = 1000 \frac{V}{cm}$$

Przyjęte skale przejściowe (a) i obliczone poprzednio wielkości mechaniczne pozwalają obliczyć wielkości prądów zasilających i oporów analogu

$$J_k^P = 72\ \text{mA},\ k=1,2,\ldots\ 50$$

$$R_k^c = \begin{cases} 5{,}25\ \text{k}\Omega & \text{dla } k=1,2,\ldots 50 \text{ z wyjątkiem } k=15 \text{ i } k=36 \\ 389{,}4\,\Omega & \text{dla } k=15 \text{ i } k=36 \end{cases}$$

$$R_k^{cu} = 516{,}6\,\Omega,\quad k=15 \text{ i } k=36$$

$$R_k = \begin{cases} 0{,}036\,\Omega & \text{dla } k=1 \text{ i } k=50 \\ 0{,}26\,\Omega & \text{dla } k=2,3,\ldots\ 49 \end{cases}$$

Skale przejściowe (b) umożliwiają przejście od zmierzonych na analogu wielkości elektrycznych do odpowiadających im wielkości mechanicznych.

Warunki brzegowe:

przypadek a)

$$R_o^c = R_{51}^c = 0$$

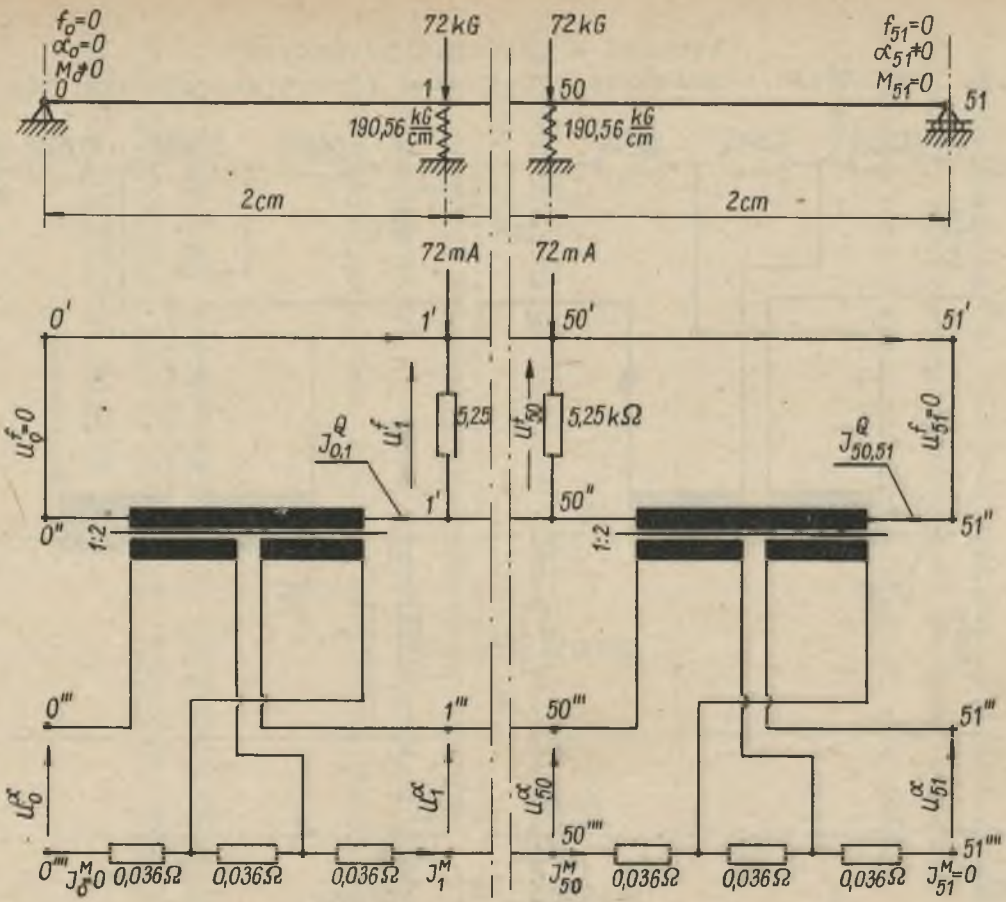
$$R_o^{cu} = R_{51}^{cu} = \infty$$

przypadek b)

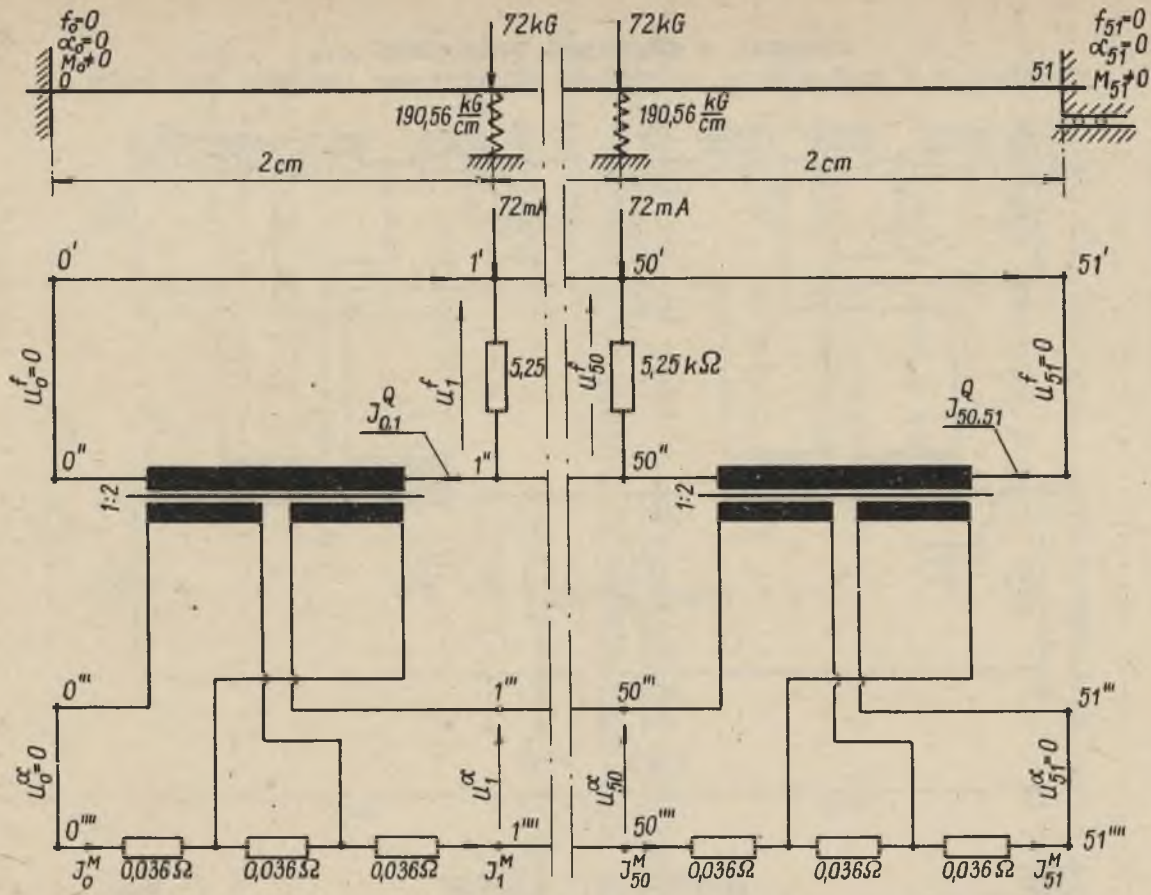
$$R_o^c = R_{51}^c = 0$$

$$R_o^{cu} = R_{51}^{cu} = 0$$

Fragmenty schematu analogu, w których znajdują odbicie przyjęte wyżej warunki brzegowe, przedstawia rys. (5a) i (5b).



Rys. 5a. Schemat realizacji warunków brzegowych w przypadku "a" przykładu podanego w tekście



Rys. 5b. Schemat realizacji warunków brzegowych w przypadku "b" przykładu podanego w tekście

Przedstawione w pracy rozważania teoretyczne, jak również rozpatrywany przykład liczbowy, wskazują na pełną przydatność omawianego analogu do obliczeń wytrzymałościowych płaszczy bębnów maszyn wyciągowych. Atrakcyjność stosowania analogu polega głównie na bardzo znacznym skróceniu czasu wykonywania tych obliczeń.

LITERATURA

[1] Popowicz O.K.: Wyciągi szybowe, Górnictwo tom IX, część 4 WGH. 1957.

[2] Huber M.T.: Steromechanika techniczna PWT 1958.

[3] Szkolnikow M.B.: K woprosu ob eliektriczeskom modelirowani stierżniewych sistem. Wiestnik maszinostrojenia 1962 nr 6.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АНАЛОГ БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЁТОВ КОЖУХА БАРАБАНА ПОДЬЁМНОЙ МАШИНЫ

Р е з ю м е

Вопрос расчёта кожуха барабана подъёмной машины был сведён к вопросу балки на упругом основании по полненном добовочнымы упругими элементами соотвестствующими рёбрам жёсткости. Дальше даётся описа-

ние устройства электрического аналога такой балки, в котором обобщённым силам соответствуют силы тока а обобщённым деформациям - напряжения. Описывается и иллюстрируется численным примером способ пересчёта механических величин системы балки на соответствующие им электрические величины системы аналога.

ELECTRIC ANALOG OF BEAM ON THE ELASTIC BASE AND ITS APPLICATION TO STRENGTH CALCULATIONS OF WINDING DRUM SHELL

S u m m a r y

The strength calculating problem of winding drum shell was trought down to the problem of beam on the elastic base with additional springs elements which determine of stiffening rib equivalent. Next, the description of electric analog construction was given, in which to general forces auswer the currents and to general case of strain auswer the voltage. The method of count over the machanical quantitys of beam system to auswering them electrical quantitys of analog system, were discused and illustrated by numerical exemple.