WACŁAW PIEKARSKI

BEZPIECZEŃSTWO BUDOWLI W ŚWIETLE KORELACJI ZACHODZĄCEJ MIĘDZY GRANICĄ PLASTYCZNOŚCI I WYTRZYMAŁOŚCI

ROZPRAWY
INŻYNIERSKIE
CCXXII

TOM X · ZESZYT 2 · ROK 1962

SPIS TREŚCI

1. Naprężenie obliczeniowe i graniczne oraz współczynnik bezpieczeństwa

W artykule nawiązujemy do znanych, pionierskich prac W. WIERZBICKIEGO o objektywnych metodach badania bezpieczeństwa budowli, a w szczególności do publikacji [1]-[7].

Przy projektowaniu konstrukcji budowlanej naprężenie oblicza się na podstawie przyjętego schematu statycznego i ogólnych założeń mechaniki budowli. Schemat statyczny i założenia mechaniki budowli dają przybliżony obraz rzeczywistej pracy budowli, stąd też naprężenie obliczeniowe σ jest przybliżone.

Ze względu na bezpieczeństwo budowli może być brany pod uwagę wzrost naprężenia obliczeniowego σ, spowodowany nie zrealizowaniem przyjętego schematu statycznego i założeń mechaniki budowli. Tak zwiększone naprężenie jest naprężeniem granicznym σ_g i jak wiadomo określa się za pomocą wzoru

$$\sigma_g = \sigma(1+\Sigma a_i), \qquad a_i \geqslant 0, \qquad i = 1, 2, ..., \tag{1}$$

gdzie a_i jest współczynnikiem uwzględniającym ewentualny przyrost naprężeń obliczeniowych σ, spowodowany nie zrealizowaniem założenia, oznaczonego wskaźnikiem i. Dla zapewnienia projektowanej konstrukcji stopnia bezpieczeństwa, równego obranemu wskaźnikowi bezpieczeństwa p, naprężenie graniczne σ_g powinno być równe wytrzymałości R_g materiału użytego do budowli:

$$R_g = \sigma(1+\Sigma a_i). \tag{2}$$

Ponieważ naprężenie obliczeniowe σ jest tu naprężeniem dopuszczalnym k ($\sigma = k$), przeto otrzymujemy ze wzoru (2) naprężenie dopuszczalne:

$$k = \frac{R_g}{1+\Sigma a_i}. \tag{3}$$

Jeśli $\bar{R}$ oznacza przeciętną wartość wytrzymałości materiału, to dla k ze wzoru (3) określamy liczbę

$$n = \frac{\bar{R}}{k}, \tag{4}$$

która jest współczynnikiem bezpieczeństwa dla danej konstrukcji, [8], [9] i [10].

2. Określenie bezpieczeństwa budowli ze względu na granicę plastyczności Q i wytrzymałości R

Bezpieczeństwo budowli możemy określić ze względu na granicę plastyczności, wytrzymałości użytego materiału, albo też ze względu na granicę plastyczności i wytrzymałości łącznie.

1. W pierwszym przypadku przyjętemu wskaźnikowi bezpieczeństwa p_Q odpowiada naprężenie na granicy plastyczności Q_g. Oznacza to, że na to, by z prawdopodobieństwem p_Q nie nastąpiła katastrofa budowli, naprężenie graniczne σ_g obliczone ze wzoru (1) nie powinno być większe od granicy plastyczności Q_g.

2. Dla drugiego rodzaju określenia bezpieczeństwa budowli wskaźnikowi bezpieczeństwa p_R odpowiada granica wytrzymałości R_g. To oznacza, że na to, by z prawdopodobieństwem p_R nie nastąpiła katastrofa budowli, naprężenie graniczne σ_g obliczone ze wzoru (1) nie powinno być większe od granicy wytrzymałości R_g. Granica plastyczności Q i granica wytrzymałości R, względem których wyznaczamy bezpieczeństwo budowli, określają zależne od siebie własności stali i mogą być rozpatrywane jako parametry określające dwuwymiarową zmienną losową (Q, R). Na drodze doświadczalnej (tablica 1) można stwierdzić, że pomiędzy nimi istnieje

Tablica 1. Tablica korelacyjna współzależnosci między granicą plastyczności Q i granicą wytrzymałości R specjalnej stali konstrukcyjnej

Nr	R_j [kG/mm²] / Q_i [kG/mm²]	63,0—65,0	65,0—	67,0—	69,0—	71,0—	73,0—	75,0—	77,0—	79,0—	81,0—83,0	Liczba prętów
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	j
1	43,0—45,0					1						1
2	45,0—	2	1	2	3	3	1					12
3	47,0—		2	1	6	7	3					19
4	49,0—				7	11	8	4				30
5	51,0—				4	12	27	6				49
6	53,0—				4	10	12	2	1			29
7	55,0—				1	4	8	5	1	1		20
8	57,0—						1		1			2
9	59,0—					1			1	1		3
10	61,0—63,0										1	1
i		2	3	3	25	49	60	17	4	2	1	166

współzależność statystyczna, a dla wyrównania empirycznych rozkładów zmiennej losowej (Q, R) można przyjmować rozkład normalny, jako dostatecznie wystarczające ich przybliżenie.

3. W trzecim przypadku bezpieczeństwo budowli może być określone ze względu na granicę plastyczności i wytrzymałości jednocześnie.

Dla zapewnienia budowli obranego stopnia bezpieczeństwa p powinien być tu zachowany warunek, wyrażony wzorem

$$Pr[Q > Q_g,\ R > R_g] = \Omega. \tag{5}$$

Oznacza to, że granica plastyczności Q jest większa od Q_g i jednocześnie granica wytrzymałości R jest większa od R_g z prawdopodobieństwem $Pr\,[Q > Q_g,\ R > R_g]$. Gdy bezpieczeństwo budowli określone jest ze względu na granicę plastyczności i gdy granica ta jest przekroczona, o bezpieczeństwie budowli decyduje granica wytrzymałości. Jest tu pewnego rodzaju asekuracja budowli i różnica

$$D = R_g - Q_g \tag{6}$$

jest zapasem bezpieczeństwa.

Przez katastrofę budowli rozumiemy tu przekroczenie założonych wytrzymałościowych i konstrukcyjnych warunków pracy. W przypadku rozpatrywania bezpieczeństwa budowli ze względu na granicę plastyczności i wytrzymałości łącznie, gdy bezpieczeństwo to określono ze względu na granicę plastyczności, przekroczenie jej uważamy za katastrofę w myśl powyższej definicji. Przed ostatecznym zniszczeniem budowli zabezpiecza niedopuszczenie przekroczenia granicy wytrzymałości.

3. Współzależność dwóch zmiennych losowych o rozkładzie normalnym

Teoretyczną gęstość prawdopodobieństwa normalnego rozkładu dwuwymiarowej zmiennej losowej (Q, R) wyraża wzór

$$f(Q, R) = C \exp\left[-\tfrac{1}{2}\varphi(Q, R)\right], \tag{7}$$

w którym

$$C = \frac{1}{2\pi\mu_Q\mu_R\sqrt{1-r^2}},$$

$$\varphi(Q, R) = \frac{1}{(1-r^2)}\left[\frac{(Q_0-Q)^2}{\mu_Q^2} - 2r\frac{(Q_0-Q)(R_0-R)}{\mu_Q\mu_R} + \frac{(R_0-R)^2}{\mu_R^2}\right],$$

przy czym Q_0 i R_0 są przeciętnymi wartościami brzegowych rozkładów zmiennych losowych Q i R, μ_Q i μ_R są odchyleniami standardowymi tych rozkładów brzegowych, r jest współczynnikiem korelacji,

$$r = \frac{\mu_{QR}}{\mu_{2Q}\mu_{2R}}.$$

Teoretyczne gęstości prawdopodobieństwa normalnych rozkładów brzegowych zmiennych losowych Q i R określają wzory

$$f(Q) = \frac{1}{\mu_{2Q}\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(Q_0-Q)^2}{2\mu_{2Q}^2}\right],$$

$$f(R) = \frac{1}{\mu_{2R}\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(R_0-R)^2}{2\mu_{2R}^2}\right].$$

Momenty centralne drugiego rzędu są odpowiednio równe

$$\mu_{QR} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (Q_0 - Q)(R_0 - R) f(Q, R)\, dQ dR,$$

$$\mu_{2Q} = \int_{-\infty}^{\infty} (Q_0 - Q)^2 f(Q)\, dQ,$$

$$\mu_{2R} = \int_{-\infty}^{\infty} (R_0 - R)^2 f(R)\, dR.$$

Podstawą do określenia przeciętnych wartości Q_0 i R_0 i momentów centralnych drugiego rzędu μ_{QR}, μ_{2Q} i μ_{2R} w rozkładzie teoretycznym są przeciętne wartości z próby $\overline{Q}$ i $\overline{R}$ i momenty centralne drugiego rzędu z próby $\overline{\mu}_{QR}$, $\overline{\mu}_{2Q}$ i $\overline{\mu}_{2R}$, określone wzorami

$$\overline{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{k} n_i Q_i, \qquad \overline{R} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{h} n_j R_j,$$

$$\overline{\mu}_{QR} = \frac{1}{n} \sum_{kh} n_{ij} (\overline{Q} - Q_i)(\overline{R} - R_j),$$

$$\overline{\mu}_{2Q} = \frac{1}{n} \sum_{k} n_i (\overline{Q} - Q_i)^2, \qquad \overline{\mu}_{2R} = \frac{1}{n} \sum_{h} n_j (\overline{R} - R_j)^2,$$

gdzie n_i jest częstością rozkładu brzegowego o liczbie k klas granicy plastyczności Q, n_j jest częstością rozkładu brzegowego o liczbie h klas granicy wytrzymałości R, n oznacza liczebność próby.

Wyrównanie próby otrzymujemy przyjmując

$$Q_0 = \overline{Q}, \qquad R_0 = \overline{R},$$

$$\mu_{QR} = \overline{\mu}_{QR}, \qquad \mu_{2Q} = \overline{\mu}_{2Q}, \qquad \mu_{2R} = \overline{\mu}_{2R}.$$

1. Teoretyczną gęstość prawdopodobieństwa rozkładu normalnego zmiennej losowej R dla danej wartości $Q = Q_i$ określa wzór

$$f\left(\frac{R}{Q_i}\right) = \frac{1}{S_R \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(R_Q - R)^2}{2S_R^2}\right], \tag{8}$$

przy czym przeciętną wartość R_Q należy obliczyć ze wzoru

$$R - R_Q = r \frac{\mu_{2R}}{\mu_{2Q}} (Q - Q_0). \tag{9}$$

Jest to równanie regresji R względem Q. Pozwala ono przewidzieć granicę wytrzymałości R, gdy dana jest granica plastyczności Q. Wobec czego wystarczy przeprowadzić badanie tylko nad granicą plastyczności Q, by można sądzić również i o granicy wytrzymałości R. Wartość istotności korelacyjnej równania (9) wyrażona za pomocą wzoru

$$S_R = \mu_{2R}\sqrt{1-r^2}$$

jest odchyleniem standardowym względnego rozkładu zmiennej losowej R dla wartości $Q = Q_i$.

Dla danej wartości Q_i mamy wzór

$$Pr\left[\frac{R-R_Q}{S_R} \leqslant |a|\right] = \theta|a|. \tag{10}$$

Wynika z niego, że granica wytrzymałości R jest zawarta w przedziale

$$R_Q - aS_R \leqslant R \leqslant R_Q + aS_R \tag{11}$$

z prawdopodobieństwem $\theta|a| = 1-\beta$, gdzie β jest poziomem ufności.

Wzór (10) jest prawdziwy dla $n > 20$.

2. Podobnie względną teoretyczną gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej Q dla danej wartości $R = R_j$ określa wzór

$$f\left(\frac{Q}{R_j}\right) = \frac{1}{S_Q\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(Q_R-Q)^2}{2S_Q^2}\right], \tag{12}$$

gdzie przeciętną wartość Q_R określa równanie

$$Q - Q_R = r\frac{\mu_{2Q}}{\mu_{2R}}(R-R_0), \tag{13}$$

które jest równaniem regresji Q względem R. Pozwala ono przewidzieć granice plastyczności Q, gdy dana jest granica wytrzymałości R.

Istotność korelacyjna

$$S_Q = \mu_{2Q}\sqrt{1-r^2}$$

jest odchyleniem standardowym względnego rozkładu zmiennej losowej Q dla wartości $R = R_j$. Dla danej wartości R_j wzór

$$Pr\left[\frac{Q-Q_R}{S_Q} \leqslant |a|\right] = \theta|a| \tag{14}$$

oznacza, że granica plastyczności Q jest zawarta w przedziale

$$Q_R - aS_Q \leqslant Q \leqslant Q_R + aS_Q \tag{15}$$

z prawdopodobieństwem $\theta|a| = 1-\beta$, gdzie β jest poziomem ufności.

Wzór (14) stosuje się również dla $n > 20$.

3. W przypadku rozpatrywania bezpieczeństwa budowli ze względu na granicę plastyczności Q i jednocześnie ze względu na granicę wytrzymałości R, prawdo-

podobieństwo tego, że granica plastyczności Q jest większa od Q_g i jednocześnie granica wytrzymałości R jest większa od R_g, wyraża się wzorem (5), któremu nadać można postać następującą:

$$(16) \qquad Pr\,[Q > Q_g,\ R > R_g] = \int\limits_{Q_g}^{\infty}\int\limits_{R_g}^{\infty} f(Q, R)\,dQdR,$$

gdzie $f(Q, R)$ jest teoretyczną gęstością prawdopodobieństwa dwuwymiarowej zmiennej losowej (Q, R), która dla rozkładu normalnego określona jest wzorem (7). Jeżeli między zmiennymi losowymi Q i R zachodzi współzależność, to wzór (16) przyjmuje formę

$$(17) \qquad Pr\,[Q > Q_g,\ R > R_g] = Pr\,[Q > Q_g] + Pr\,[R > R_g] + F(Q_g, R_g) - 1,$$

gdzie $F(Q_g, R_g)$ jest dystrybuantą dwuwymiarowej zmiennej losowej (Q, R), wyrażoną wzorem

$$F(Q_g, R_g) = Pr\,[Q \leqslant Q_g,\ R \leqslant R_g],$$

a $Pr\,[Q > Q_g]$ i $Pr\,[R > R_g]$ wzorami następującymi:

$$(18) \qquad Pr\,[Q > Q_g] = \frac{1}{\mu_{2Q}\sqrt{2\pi}} \int\limits_{Q_g}^{\infty} \exp\left[-\frac{(Q_0 - Q)^2}{2\mu_{2Q}^2}\right] dQ,$$

$$(19) \qquad Pr\,[R > R_g] = \frac{1}{\mu_{2R}\sqrt{2\pi}} \int\limits_{R_g}^{\infty} \exp\left[-\frac{(R_0 - R)^2}{2\mu_{2R}^2}\right] dR.$$

Jeśli między zmiennymi losowymi Q i R nie zachodzi współzależność, wzór (16) przyjmuje postać

$$(20) \qquad Pr\,[Q > Q_g,\ R > R_g] = Pr\,[Q > Q_r]\,Pr\,[R > R_r].$$

Wynika to ze wzoru (7), jeżeli przyjmiemy w nim $r = 0$. Gdy budowli zapewniamy stopień bezpieczeństwa ze względu na granicę plastyczności $p_Q = p$, to przy osiągnięciu jej o bezpieczeństwie budowli decyduje granica wytrzymałości $p_R = p$. To znaczy, że z prawdopodobieństwem $Pr\,[Q > Q_g,\ R > R_g]$ możemy liczyć się z zapasem bezpieczeństwa o wartości wyrażonej wzorem (6). Przy przekroczeniu zaś granicy plastyczności i osiągnięciu przez nią wartości $Q = Q_i > Q_g$ o bezpieczeństwie budowli przed jej zupełnym zniszczeniem decyduje również granica plastyczności, ale zapas bezpieczeństwa przyjmuje tu wartość

$$(21) \qquad D_i = R_g - Q_i$$

mniejszą od zapasu bezpieczeństwa ze wzoru (6). Przy wartości $R_g = Q_i$ o praktycznym zapasie bezpieczeństwa nic z góry nie możemy powiedzieć.

4. Badanie specjalnej stali konstrukcyjnej

Do zbadania współzależności statystycznej pomiędzy granicą plastyczności Q i granicą wytrzymałości R oraz bezpieczeństwa budowli ze względu na te granice wzięto próbę statystyczną składającą się ze 166 prętów ze specjalnej stali konstrukcyjnej i wyznaczono dla nich granicę plastyczności jak i wytrzymałości. Wyniki doświadczeń przedstawiono w tablicy 1.

Dla rozpatrywanej stali przeciętne wartości i odchylenia standardowe rozkładów brzegowych granicy plastyczności Q i wytrzymałości R z przedstawionej próby $n = 166$ przyjmuję wartości $\overline{Q} = 51{,}81$ kG/mm^2 i $\overline{R} = 72{,}86$ kG/mm^2 oraz $\overline{\mu}_{2Q} = 3{,}18$ kG/mm^2 i $\overline{\mu}_{2R} = 3{,}09$ kG/mm^2. Współczynnik korelacji ma wartość $\overline{r} = 0{,}490$. Błąd w ocenie jego wielkości może równać się

$$\mu_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}} = 0{,}0608,$$

czyli współczynnik korelacji generalnej zbiorowości r może przyjmować wartości w granicach od 0,43 do 0,55. Do obliczeń przyjęto $r = 0{,}50$.

1. Równanie (9) dla badanej stali przyjmuje formę:

$$R_Q = 47{,}68 + 0{,}486\ Q. \tag{22}$$

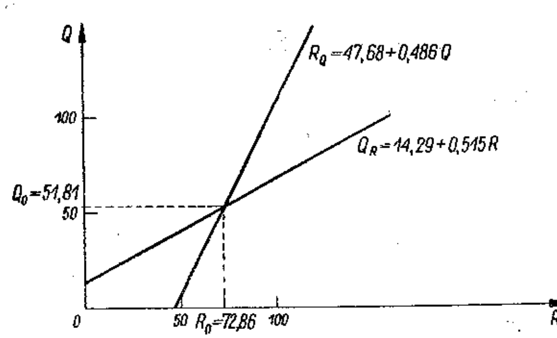
Równanie (22) przedstawiono graficznie na rys. 1. Odchylenie standardowe zmiennej losowej R od przeciętnej R_Q, wyznaczonej z równania (22), określa istotność korelacyjna $S_R = 2{,}68$ kG/mm^2.

Równanie (22) pozwala dla danej stali obliczyć granicę wytrzymałości R_Q, gdy dana jest granica plastyczności Q, przy czym rzeczywista wartość granicy wytrzymałości może różnić się od obliczonej R_Q i zawierać się w przedziale określonym wzorami (10) i (11).

2. Podobnie równanie (13) przyjmuje postać

$$Q_R = 14{,}29 + 0{,}515\ R \tag{23}$$

i przedstawiono ją graficznie na rys. 1. Odchylenie standardowe zmiennej losowej Q od przeciętnej Q_R, obliczonej z równania (23), określa istotność korelacyjna $S_Q = 2{,}78$ kG/mm^2. Równanie (23) pozwala tu obliczyć granicę plastyczności Q_R, gdy dana jest granica wytrzymałości R.

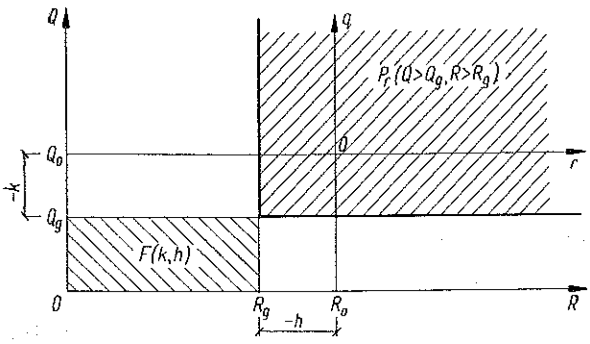


Rys. 1

Podobnie jak w poprzednim przypadku rzeczywista wartość granicy plastyczności może się również różnić od obliczonej Q_R i zawierać się w przedziale wyznaczonym wzorami (14) i (15).

3. Przy określaniu bezpieczeństwa budowli ze względu na granicę plastyczności Q i wytrzymałości R jednocześnie dla danej stali przyjętemu stopniowi bezpieczeństwa $p = 0{,}9$ odpowiadają $Q_g = 46{,}74$ kG/mm² i $R_g = 68{,}90$ kG/mm². Oznacza to, że dla zapewnienia stopnia bezpieczeństwa p_Q granica plastyczności Q powinna być większa od $Q_g = 46{,}74$ kG/mm² i jednocześnie granica wytrzymałości R powinna być większa od $R_g = 68{,}90$ kG/mm². Wskutek tego zapas bezpieczeństwa przyjmuje tu wartość $D = 22{,}16$ kG/mm². Prawdopodobieństwo $Pr\,[Q > 46{,}74,\ R > 68{,}90]$ oznacza, że granica $Q > 46{,}74$ kG/mm² i jednocześnie $R > 68{,}90$ kG/mm², czyli z tym prawdopodobieństwem możemy się liczyć dla projektowanej budowli z zapasem bezpieczeństwa $D = 22{,}16$ kG/mm². Wartość prawdopodobieństwa $Pr\,[Q > 46{,}74,\ R > 68{,}90]$ obliczamy w sposób następujący:

Korzystamy z gotowych tablic dwuwymiarowej zmiennej losowej o rozkładzie normalnym, np. opracowanych przez K. Pearsona, [11]. Podane są tam wartości prawdopodobieństwa dla wartości r od 1 do —1 w odstępach 0,05 i dla wartości zmiennych losowych $h = 0{,}0$ do 2,6 i $k = 0{,}0$ do 2,6 w odstępach co 0,1.



Rys. 2

Przy przejściu ze współrzędnych $R, 0, Q$ na $r, 0, q$ (rys. 2) wielkość $F(h,k)$ [por. wzór (16)] wyraża się całką

$$F(h,k) = \int_h^{\infty}\int_k^{\infty} f(r,q)\,dr\,dq.$$

Dla wartości wskaźników bezpieczeństwa $p_Q = 0{,}9$ i $p_R = 0{,}9$ znajdujemy za pomocą odpowiednio przekształconych wzorów (18) i (19) wartości h i k, dla których z tablic Pearsona odczytujemy wartość dystrybuanty $F(h,k)$. Wartości pośrednie interpolujemy liniowo i obliczamy ze wzoru

$$F(h,k) = cdF_{0,0} + bc\,F_{0,1} + ad\,F_{1,0} + ab\,F_{1,1},$$

w którym oznaczenia zgodne są z rys. 3.

Dla wartości $p_Q = p_R = 0{,}9$ obliczamy ze wzoru (17) prawdopodobieństwo $Pr\,[Q > 46{,}74,\ R > 68{,}90] = 0{,}8309$. Przy nieuwzględnieniu współzależności zgodnie ze wzorem (20)

$$Pr\,[Q > 46{,}74,\ R > 68{,}90] = 0{,}9 \cdot 0{,}9 = 0{,}81.$$

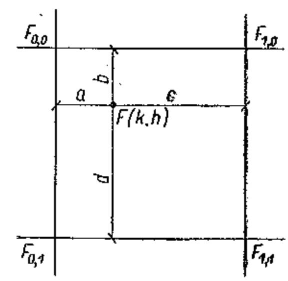
Dla stopnia bezpieczeństwa $p_Q = 0{,}9$ przy wzroście naprężeń obliczeniowych np.

$$1 + \sum^{Q} a_i = 1{,}55\ k,$$

gdzie k obliczone jest ze wzoru (3), obliczamy wartość naprężenia dopuszczalnego $k = 30{,}0$ kG/mm^2, zaś współczynnik bezpieczeństwa ze wzoru (4) przyjmuje wartość $n_Q = 1{,}73$.

Dla stopnia bezpieczeństwa $p_R = 0{,}9$ obliczone powyżej naprężenie dopuszczalne $k = 30{,}0$ kG/mm^2 może wzrosnąć

$$1 + \sum^{R} a_i = 68{,}90/30{,}0 = 2{,}30$$



Rys. 3

razy, a współczynnik bezpieczeństwa przyjmuje tu wartość $n_R = 2{,}42$.

Z prawdopodobieństwem $Pr \approx 0{,}83$ możemy się liczyć z zapasem bezpieczeństwa $D = 22{,}16$ kG/mm^2. Oznacza to, że po osiągnięciu przez stal granicy plastyczności przy wartości $Q_g = 46{,}74$ kG/mm^2 o bezpieczeństwie budowli przed zupełnym jej zniszczeniem decyduje granica wytrzymałości. Dla zapewnienia przyjętego stopnia bezpieczeństwa ze względu na zupełne zniszczenie konstrukcji $p = 0{,}9$ naprężenie może ponad osiągniętą granicę plastyczności $Q_g = 46{,}74$ kG/mm^2 wzrosnąć do $R_g = 68{,}90$ kG/mm^2, tj. o 22,16 kG/mm^2.

Literatura cytowana w tekście

[1] W. Wierzbicki, *Bezpieczeństwo budowli jako zagadnienie prawdopodobieństwa* (Sprawozdanie z odczytu w Akademii Nauk Technicznych), Przegl. Tech., Warszawa, 1936, s. 690.

[2] W. Wierzbicki, *W sprawie bezpieczeństwa pręta rozciąganego osiowo*, Czasop. Tech., Lwów 1937.

[3] W. Wierzbicki, *W sprawie bezpieczeństwa belki zginanej*, Przegl. Tech., Warszawa 1939.

[4] W. Wierzbicki, *Wytrzymałość materiału ze statycznego punktu widzenia*, Przegl. Tech., Łódź 1945.

[5] W. Wierzbicki, *La sécurité*, Annales Acad. Polon. Sci. Tech., Vol. VII. Varsovie 1946.

[6] W. Wierzbicki, *Półprobabilistyczna metoda badania bezpieczeństwa budowli a metoda stanów granicznych*, Inżyn. Budow., Warszawa 1956, s. 160.

[7] W. Wierzbicki, *Obiektywne metody oceny bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych*, PWN Warszawa 1961.

[8] W. Piekarski, *Wpływ możliwych strat ekonomicznych na współczynnik bezpieczeństwa budowli*, Inżyn. Budown., 1954, s. 53.

[9] W. Piekarski, *Wpływ liczebności próby na wskaźnik bezpieczeństwa budowli*, Inżyn. Budown., 1955, s. 26.

[10] W. Piekarski, *Wyznaczenie wskaźnika bezpieczeństwa dla wolno podpartej stalowej belki walcowanej*, Inżyn. Budow., 1955, s. 259.

Резюме

БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ В СВЕТЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ, СУЩЕСТВУЮЩЕГО МЕЖДУ ПРЕДЕЛОМ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПРОЧНОСТИ

Безопасность сооружений, согласно полупробабилистическому методу определения коэффициента безопасности, можно определить принимая во внимание предел пластичности, предел прочности или при учете пределов пластичности и прочности совместно.

В третьем случае, когда коэффициент безопасности определен при учете предела пластичности Q и когда этот предел уже достижен перед окончательным разрушением сооружение обеспечивает предел прочности R. Это является некоторого рода обезпечением сооружения, а разницу $D = R - Q$ [формулы (6) и (21)] можно считать мерой запаса прочности.

Пользуясь же взаимоотношением, существующим между Q и R, можно, при помощи уравнения регрессии R по Q: $R = f(Q)$ — формула (9) — предусмотреть предел прочности R, когда дан предел пластичности Q, а также при помощи уравнения регрессии Q по R: $Q = f(R)$ — формула (13) — можно предусмотреть предел пластичности, когда известен предел прочности R.

Для иллюстрации теоретических рассуждений проводятся испытания со специальной конструкционной сталью и дается их разработка.

Summary

THE SAFETY OF A STRUCTURE IN THE LIGHT OF THE RELATION BETWEEN THE YIELD POINT AND THE STRENGTH

According to the semi-probabilistic method for determining the coefficient of safety, the safety of a structure may be determined in relation to the yield point, the strength or the yield point and the strength taken together.

In the third case where the safety factor is determined in relation to the yield point Q and where the yield point is reached before the structure collapses, the safety of the structure is assured by the strength R. This is a certain safeguard of the structure and the difference $D = R - Q$ [the Eqs. (6) and (21)] may constitute a measure of safety. Making use of the relation (correlation) between Q and R, we can foretell by means of the equation of regression R in relation to Q: $R = f(Q)$ [Eq. (9)] the strength R for a given yield point Q. Similarly, by means of the equation of regression of Q in relation to R: $Q = f(R)$ [Eq. (13)], we can foretell the yield point for a given strength R.

As an illustration of the theoretical considerations, investigation of a structural steel has been carried out. It is described in the present paper.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Praca została złożona w Redakcji dnia 9 maja 1961 r.