

Porównywując wzór ten ze wzorem dla \dot{Z} , t.j. ze wzorem (831), widzimy, iż różnią się one od siebie jedynie znakami przy ψ_s i ψ_m .

Ze wzoru (885) możemy wyznaczyć opór dowolnego klina odłamu, stawiany przesuwaniu klina w kierunku od muru w chwili równowagi granicznej. Ponieważ jednak, przy obliczeniu stateczności murów, musimy liczyć się z najmniejszym odporem ziemi, musimy więc wyznaczyć odpowiednie położenie płaszczyzny AC .

W tym celu znajdujemy $Z^0 = \min \dot{Z}^0$, co robimy drogą przyrównania do zera pochodnej \dot{Z}^0 względem φ_0 lub względem $x = \text{ctg } \varphi_0$. Wzory dla \dot{C} będą tu te same, co przy wyznaczeniu \dot{Z} , stosunek zaś sinusów różni się tylko znakami przy ψ . Ponieważ zarówno do wyznaczenia $\max \dot{Z}$, jak i do wyznaczenia $\min \dot{Z}^0$, musieliśmy przyrównać do zera pochodną względem $x = \text{ctg } \varphi$, więc wyprowadzone dla Z wzory mogą służyć po zamianie ψ przez $-\psi$ również i do obliczenia Z^0 .

Możemy więc np. napisać dla nazionu poziomego, obciążonego jednostajnie, że

$$Z^0 = \frac{\gamma h}{2} (h + 2h_1) \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\psi}{2} \right) \quad (886)$$

$$\varphi_0 = 45^\circ - \frac{\psi}{2}$$

Klin odłamu jest tu więc większy niż dla parcia czynnego Z .

Jednostkowy opór ziemi wynosi w danym wypadku:

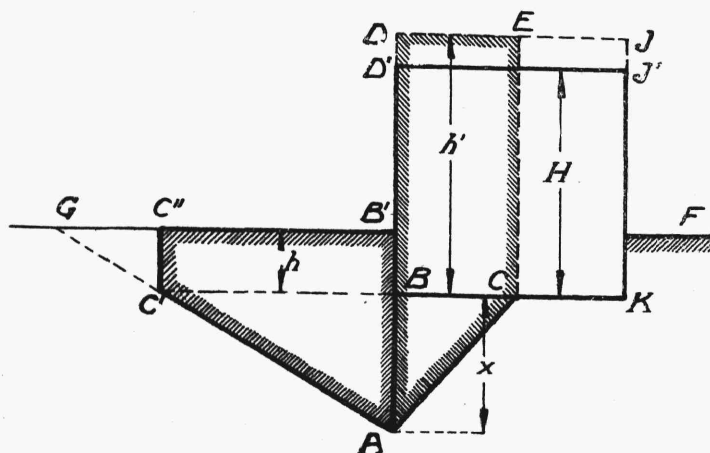
$$z^0 = \gamma (h + h_1) \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\psi}{2} \right) \quad (887)$$

W razie, gdy siła H , działająca na mur od zewnątrz jest mniejsza od $\min \dot{Z}^0 = Z^0$ a większa od $\max \dot{Z} = Z$, to przy obliczaniu wymiarów muru liczymy się tylko z odporem (reakcją) równym H , gdyż opór ziemi jest siłą bierną i występuje tylko o tyle, o ile na mur działają siły zewnętrzne.

7. Wyznaczenie głębokości posadowienia.

Wyobraźmy sobie budowlę o wysokości H nad dolną powierzchnią fundamentu BK , o zagłębieniu h w grunt sytki (piaszczysty) i o szerokości (w kierunku prostopadłym do płaszczyzny rysunku) równej 1.

Chodzi o wyznaczenie wielkości h ze względu na opór ziemi (rys. 436).
Zastępujemy budowlę przez odpowiednią bryłę ziemi o wysokości h' i rozważamy równowagę ziemi w płaszczyźnie AB .



Rys. 436.

Na płaszczyznę AB działa od strony budowli parcie czynne ziemi, wywołane przez klin ABC , obciążony bryłą ziemną $BDEC$. Parcie to równa się:

$$Z = \frac{\gamma x}{2}(x + 2h') \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right) \quad (888)$$

przyczem odpowiednie parcie jednostkowe wynosi:

$$z = \gamma(x + h') \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right) \quad (888')$$

Przesunięciu się płaszczyzny AB w kierunku od budowli sprzeciwia się opór klina $AC'B$, obciążonego bryłą ziemną $C'C''B'B$, czyli odpór ziemi Z^0 , wyrażający się wzorem:

$$Z^0 = \frac{\gamma x}{2}(x + 2h) \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\psi}{2}\right) \quad (889)$$

Odpowiedni jednostkowy odpór ziemi równa się w tym wypadku:

$$z^0 = \gamma(x + h) \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\psi}{2}\right) \quad (889')$$

Aby na całej powierzchni x . l równowaga ziemi sypkiej była zachowana, potrzeba, aby w każdym punkcie płaszczyzny AB największe czynne parcie jednostkowe ziemi było mniejsze od najmniejszego jej oporu jednostkowego, t.j., aby:

$$\min z^0 > \max z$$

Mamy więc w ten sposób, że:

$$\gamma(x+h) \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\psi}{2}\right) > \gamma(x+h') \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right)$$

czyli że

$$\frac{x+h}{x+h'} > \operatorname{tg}^4\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right) \quad (890)$$

Odrzucamy tu x , wobec czego zmniejsza się ułamek w lewej części nierówności (890) i wobec czego nierówność:

$$h > h' \operatorname{tg}^4\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right) \quad (891)$$

zapewnia budowli bezpieczeństwo tem większe.

Wzór (891) jest to tak zwany wzór Pauker'a¹⁾, który zwykle używany bywa ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,75, a więc:

$$h = 1,75 h' \operatorname{tg}^4\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right) \quad (891')$$

Wzór ten bywa niekiedy stosowany i do gruntów małosypkich.

W zadaniu poprzednim przyjmowaliśmy, że na budowlę albo żadne wogóle poziome siły nie działają albo też, o ile działają, to, dzięki oporowi tarcia w płaszczyźnie BK (rys. 436), nie wywołują one ciśnienia budowli na ziemię w kierunku poziomym.

Rzecz ma się inaczej, gdy chodzi o wyznaczenie zagłębienia w ziemię słupa lub ściany, znajdujących się pod działaniem siły poziomej.

Niech więc prosta AC wyobraża na rys. 437 ścianę zagłębioną w ziemię i znajdującą się pod działaniem poziomej siły P , przypadającej na 1 m. b. ściany w kierunku prostopadłym do płaszczyzny rysunku. Chodzi o wyznaczenie zagłębienia ściany h .

Pod działaniem siły P ściana wywiera parcie na ziemię w kierunku poziomym, wywołując przez to odpowiedni odpór ziemi.

¹⁾ Vid. Żurnal Ministerstwa Putlej Soobszczenja, 1880 i F. Kötter, op. cit.

Parcie jednostkowe p ściany na ziemię zmienia się tu w sposób ciągły. Dla ustalenia prawa rozkładu tego parcia przedsięwzięto doświadczenia¹⁾ z prętami pograżonemi w piasek, które doprowadziły do wniosków następujących:

1^o w punkcie B , na powierzchni terenu, $p_B = 0$ (vid. rys. 437),

2^o parcia jednostkowe p mają w górnej części pograżonego w ziemię odcinka BC kierunek zgodny z kierunkiem siły P , w dolnej zaś części kierunek przeciwny,

3^o o ile parcie jednostkowe p_c na dolnej krawędzi C ściany nie przekracza pewnej wartości $\gamma \cdot h$, gdzie γ jest to ciężar jednostkowy ziemi, to oś ściany po wygięciu się pod działaniem siły P wypukłością w stronę jej położenia pierwotnego będzie styczną do tego ostatniego (rys. 437),

4^o o ile parcie jednostkowe p_c przekroczy wyżej wspomnianą wartość $\gamma \cdot h$, wówczas krawędź C przesunie się w kierunku przeciwnym do kierunku działania siły P i ściana obróci się dookoła pewnego punktu położonego między punktami B i C .

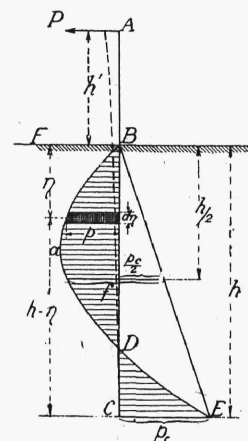
Ponieważ położenie ściany styczne do jej położenia pierwotnego należy rozpatrywać, jako graniczne, nie może więc przesuwanie się dolnej części ściany być tu tolerowane. Z tego wynika, iż zagłębienie ściany w ziemię może być otrzymane z warunku, że

$$p_c \leq \gamma \cdot h$$

Przyjmujemy, że wykres ciśnień jednostkowych ściany na ziemię ograniczony jest parabolą, gdyż krzywa ta jest najprostszą z pośród linii, odpowiadających omówionym wyżej wynikom doświadczeń.

Przez η oznaczamy zagłębienia, odpowiadające ciśnieniom jednostkowym p , a przez f strzałkę paraboli w punkcie $\eta = \frac{h}{2}$. Wobec tego dla osi współrzędnych BF i BC parabola ciśnień jednostkowych wyrazi się równaniem:

$$p = M\eta^2 + N\eta$$



Rys. 437.

¹⁾ Vid. praca p.t. „Zur Berechnung der Bohlwerke“, Zentralblatt der Bauverwaltung. 1903, napisana przez H. Engels'a ze współudziałem O. Mohr'a.

w którym współczynniki M i N wyznaczyć możemy z warunków, że przy $\eta = h$, mamy $p = -p_c$ i że, przy $\eta = \frac{h}{2}$, mamy $p = f - \frac{p_c}{2}$ (vid. rys. 437). Ostatecznie dochodzimy do równania:

$$p = 4f \cdot \frac{(h - \eta)\eta}{h^2} - p_c \cdot \frac{\eta}{h}$$

W równaniu tem mamy dwa nieznane parametry f i p_c , których wyznaczenie może być dokonane na podstawie równań równowagi, zastosowanych do ściany AC (rys. 437).

Niech będzie A pole powierzchni $h \cdot 1$ części ściany pogrążonej w ziemię. Wówczas ciśnienie ściany na ziemię a więc i odpowiedni odpór ziemi w pewnym punkcie ściany wyniesie $p dA = p \cdot 1 \cdot d\eta$.

Równanie równowagi $\Sigma X = 0$ przybierze w danym wypadku następującą postać:

$$P - \int_0^h p dA = 0 \quad (892)$$

Przyjmując szerokość ściany w kierunku prostopadłym do płaszczyzny rysunku za równą 1, otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \int_0^h p dA &= \int_0^h p d\eta = \text{pole } BaDE - \text{pole } CBE = \\ &= \frac{2}{3}fh - \frac{p_c h}{2} \end{aligned}$$

Równanie (892) przekształca się wobec tego w następujące:

$$P - \frac{2}{3}fh + \frac{p_c h}{2} = 0 \quad (892')$$

Odpowiednio do tego równanie równowagi $\Sigma M = 0$ otrzyma postać:

$$\begin{aligned} P(h' + h) - \int_0^h p(h - \eta) dA &= \\ = P(h' + h) - \frac{2}{3}fh \cdot \frac{h}{2} + \frac{p_c h}{2} \cdot \frac{h}{3} &= 0 \quad (893) \end{aligned}$$

Z równań (892') i (893) wyznaczyć możemy f i p_c . To ostatnie wyrazi się wzorem:

$$p_c = \frac{P}{h} \left(6 + 12 \cdot \frac{h'}{h} \right) \quad (893')$$

Przyjmując na podstawie wyżej omówionych doświadczeń, że ciśnienie na ziemię wzdłuż dolnej krawędzi ściany nie powinno przekraczać

$$\gamma \cdot h = 1100 \text{ h k/m}^2$$

ustawiamy następujący warunek stateczności ściany:

$$p_c < \gamma h$$

czyli, że

$$\frac{P}{h} \left(6 + 12 \cdot \frac{h'}{h} \right) < 1100 h$$

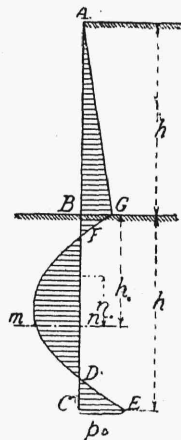
skąd mamy, że zagłębienie ściany w ziemię wynosić winno w metrach:

$$h^2 \geq \frac{P \left(6 + 12 \frac{h'}{h} \right)}{1100} \quad (894)$$

Jeżeli chodzi o wyznaczenie zagłębienia ściany AC obciążonej parciem ziemi na wysokości AB , to wówczas wykres ciśnień jednostkowych uzupełnić musimy wykresem parć jednostkowych ziemi na górną część ściany. W ten sposób uzupełniony wykres przedstawiony jest na rys. 438. Stosując do ściany równania równowagi $\Sigma X = 0$ i $\Sigma M = 0$ w sposób zupełnie analogiczny do poprzedniego, dochodzimy dla średniego gatunku ziemi i dla naziomu nieobciążonego do wzoru:

$$h \geq 1,06 h'$$

Wymiary poprzeczne ściany, pogrążonej w ziemię i znajdującej się pod działaniem sił poziomych, wyznaczamy na podstawie największego momentu zginającego, działającego na ścianę (albo na słup). Przekrój, w którym



Rys. 438.

działa największy moment zginający M , ustalić tu możemy z warunku, że w przekroju tym siła poprzeczna T równać się musi zeru (por. rozdz. IV, 5). W wypadku przedstawionym na rys. 438 przekrojem tym będzie przekrój mn , który odpowiada warunkowi, że

$$\int_{-h_0}^{+h'} p d\eta = \text{pole } AGFB - \text{pole } mFn = 0$$

W warunkach przeciętnych $h_0 = \infty \frac{1}{3} h$.¹⁾

Znając przekrój, w którym występuje największy moment zginający, znajdujemy sam moment ze wzoru:

$$\max M = \int_0^{h' + h_0} p \eta_0 dx_0$$

gdzie η_0 oznaczają odległości poszczególnych punktów ściany od przekroju największego momentu zginającego mn .

Moment ten równa się w dalszym ciągu

$$\max M = \text{pole } AGFB \cdot \eta_1 - \text{pole } mFn \cdot \eta_2$$

gdzie η_1 i η_2 oznaczają odległości od przekroju mn środków ciężkości odpowiednich pól wykresu ciśnień jednostkowych p .

Wszystkie wzory niniejszego paragrafu mają na widoku jedynie wpływ czynników mechanicznych na posadowienie budowli, nie uwzględniają więc takich okoliczności, jak uwarstwienie gruntu, możliwość jego przemarzania i t.d., które odgrywają tu nieraz rolę rozstrzygającą.

¹⁾ Por. Chr. Christiansen, Zentralbl. d. Bauverwaltung 1904, Nr. 70.