Zwisanie przewodników napowietrznych.

Napisał **Stanisław Wysocki**, inżynier.

(Ciąg dalszy do str. 23 w № 2 r. b.).

1. Zmiana temperatury. Rozpatrzmy jakie zmiany następują w zwisaniu przy zmiennej temperaturze. Równanie (11) dla temperatury pierwotnej t, przybierze postać

$$L_1 = l_1 (1 + \lambda s_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

a dla temperatury t_2

$$L_2 = l_2 (1 + \lambda s_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13).$$

Zależność zaś pomiędzy l_1 i l_2 wyraża wzór

$$l_2 = l_1 \{1 + \alpha (t_2 - t_1)\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14),$$

w którym α oznacza spółczynnik rozszerzalności. Z dwóch ostatnich równań otrzymujemy

$$L_2 = l_1 \{1 + \alpha (t_2 - t_1) + \lambda s_2 + \alpha (t_2 - t_1) \lambda s_2\}.$$

Ostatni wyraz, jako niknąco mały w porównaniu z trzema pierwszymi, możemy opuścić

$$L_2 = l_1 \{1 + \alpha (t_2 - t_1) + \lambda s_2\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15).$$

Z drugiej znów strony te same długości L_1 i L_2 dadzą się wyrazić zgodnie z równaniem (10) następującymi wzorami:

$$L_1 = a \left\{1 + \frac{a^2 p^2}{24 s_1^2}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

$$L_2 = a \left\{1 + \frac{a^2 p^2}{24 s_2^2}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17).$$

Z porównania równań (12) z (16) otrzymujemy:

$$a \left\{1 + \frac{a^2 p^2}{24 s_1^2}\right\} = l (1 + \lambda s_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

a znów z równań (15) i (17)

$$a \left\{1 + \frac{a^2 p^2}{24 s_2^2}\right\} = l (1 + \alpha (t_2 - t_1) + \lambda s_2). \quad . \quad (19).$$

Przez odejmowanie otrzymamy z dwóch ostatnich równań:

$$a \left\{\frac{a^2 p^2}{24 s_1^2} - \frac{a^2 p^2}{24 s_2^2}\right\} = l \{\alpha (t_2 - t_1) + \lambda (s_2 - s_1)\}.$$

Nie popełnimy wielkiego błędu, przyjmując:

$$a \cong l.$$

Ostatecznie, otrzymujemy:

$$\frac{a^2 p^2}{24} - \left(\frac{1}{s_2^2} - \frac{1}{s_1^2}\right) = \alpha (t_2 - t_1) + \lambda (s_2 - s_1) \quad . \quad (20).$$

Równania (20) i (7) umożliwiają obliczanie zwisania przy zmiennej temperaturze. Znając materyał przewodnika, mamy dane współczynniki p, α i λ. Również dana jest wielkość przelotu a, początkowe naprężenie s_1 i różnica temperatur $t_2 - t_1$. Mamy dwa równania z dwiema niewiadomemi s_2 i f_2.

Objaśnimy to przykładem. Z jaką siłą będzie wyprężony drut miedziany 25 mm^2 przy temperaturze $+10^0$ C. i jaka będzie strzałka zwisania, jeżeli ten sam drut przy -20^0 C. wykazuje naprężenie 4 kg/mm^2. Odległość pomiędzy słupami: 40 m. A więc mamy dane:

$$a = 40, \qquad s_1 = 4, \qquad t_1 = -20, \qquad t_2 = +10$$

a szukamy wielkości s_2. Nadto, znane są nam współczynniki dla miedzi:

$$\alpha = 0{,}000017, \qquad \lambda = 0{,}0001 \quad \text{i} \quad p = 0{,}0089.$$

Wstawmy powyższe dane w równanie (20)

$$\frac{40^2 . (0{,}0089)^2}{24} \left(\frac{1}{s_2^2} - \frac{1}{4^2}\right) = 0{,}000017 (10 + 20) + 0{,}0001 (s_2 - 4).$$

Rozwiązanie tego równania daje

$$s_2 = 2{,}72.$$

A zatem siła, z jaką przewodnik naprężony jest przy temperaturze $+10^0$ wynosi

$$2{,}72 . 25 = 67{,}7 \ kg,$$

a strzałka zwisania podług równania (7)

$$f = \frac{40^2 . 0{,}0089}{8 . 2{,}72} = 0{,}65.$$

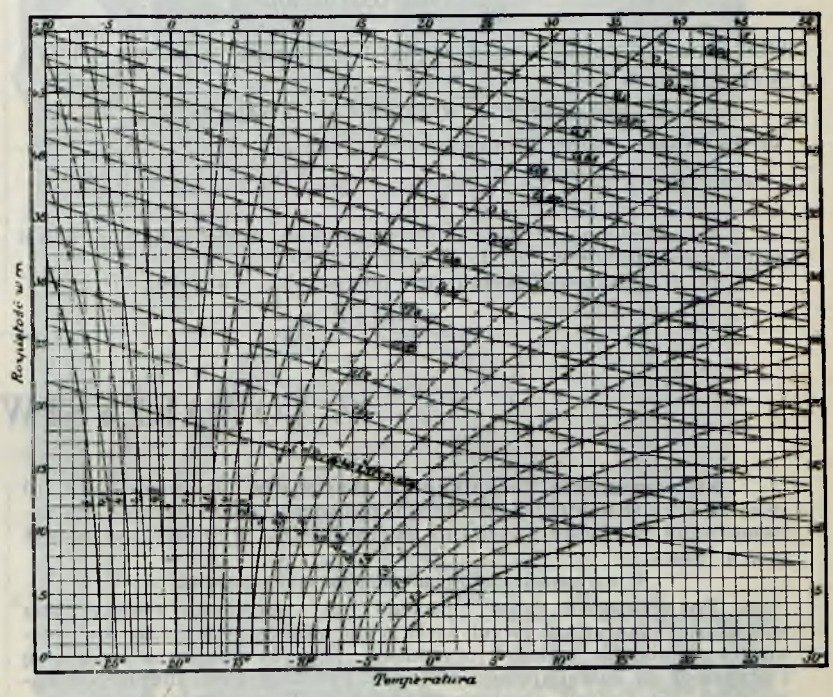
Wróćmy do równania (20). Przy niewiadomem s_2 jest ono dosyć trudne do rozwiązania. Znacznie łatwiej będzie wynaleść odpowiednią temperaturę, przyjąwszy z góry pewną wielkość dla s_2. Zamiast równania trzeciego stopnia mamy wtedy do rozwiązania równanie stopnia pierwszego. W ten sposób możemy ułożyć wykres zależności naprężenia od temperatury i zaoszczędzić sobie mozolnych wyliczań. Podajemy wykresy (rys. 7) Herzog'a i Feldman'a dla przewodników miedzianych obliczonych tylko na ciężar własny i naciągniętych przy temperaturze -20^0 z naprężeniem 4 kg/mm^2. Na osiach współrzędnych odłożono temperaturę i rozpiętość. Krzywe pionowe dają naprężenie, a poziome — strzałki zwisania.

Z wykresów tych widzimy, że zmiany w naprężeniu pod wpływem temperatury są tem większe, im mniejszy jest przelot. Tak np. podniesienie temperatury o 40^0 C. wywołuje spadek naprężenia o

78% przy przelocie $a = 10$ m, a tylko
30% „ „ $a = 50$ m.

Wykresy poniższe odnoszą się tylko do przewodników nieobciążonych. Przy obciążeniu zewnętrznem (parcie wiatru, sadź i t. p.) naprężenie drutu zmienia się pod wpływem temperatury w mniejszym nieco stopniu.

Co się tyczy strzałek zwisania, to są one — jak widać z równania (7)—odwrotnie proporcyonalne do naprężenia.



Rys. 7.

2) Zmiana obciążenia. Obciążenie przewodnika wskutek parcia wiatru i wskutek ciężaru osadów atmosferycznych, jak sadź, szron i t. p., ulega ciągłym zmianom. Zmiany te odbijają się na zwisaniu i naprężeniu.

Równania (10) i (11) dla obciążenia p_1 przybiorą postać;

$$L_1 = l (1 + \lambda s_1) = a \left(1 + \frac{a^2 p_1^2}{24 s_1^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

a dla obciążenia p_2:

$$L_2 = l (1 + \lambda s_2) = a \left(1 + \frac{a^2 p_2^2}{24 s_2^2}\right). \quad . \quad . \quad (22).$$

Z zestawienia tych równań wypada:

$$(1 + \lambda s_1) \left(1 + \frac{a^2 p_2^2}{24 s_2^2}\right) = (1 + \lambda s_2) \left(1 + \frac{a^2 p_1^2}{24 s_1^2}\right).$$

Po wypełnieniu kilku działań wypada:

$$s_2^2 \{24 s_1^2 s_2 \lambda + a^2 p_1^2 s_2 \lambda - 24 \lambda s_1^3 + a^2 p_1^2\} = a^2 p_2^2 s_1^2 (1 + s_1 \lambda).$$

Wobec jednostki ułamek $s_1 \lambda$ można zupełnie opuścić i otrzymamy wzór ostateczny:

$$s_2 \sqrt{s_2 \lambda (24 s_1^2 + a^2 p_1^2) + a^2 p_1^2 - 24 \lambda s_1^3} = a p_2 s_1 \quad (23)$$

Rozwiązanie tego równania przy niewiadomem s_2 jest rzeczą nie łatwą. Trzeba najpierw przyjąć pewne przybliżone znaczenie dla s_2, wstawić je w wyraz:

$$\frac{a p_2 s_1}{\sqrt{s_2 \lambda (24 s_1^2 + a^2 p_1^2) + a^2 p_1^2 - 24 \lambda s_1^3}},$$

znalezioną w ten sposób wartość s_2 jeszcze raz wstawić w wyraz powyższy i powtarzać ten rachunek, dopóki nie odnajdziemy znaczenia zupełnie zadawalniającego równania.

Dla ułatwienia rachunku prof. Sengel[1]) wyprowadza z równania (23) uproszczone i przybliżone wzory, a mianowicie dla dużych rozpiętości:

$$s_2 \cong s_1 \frac{p_2}{p_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

a dla małych rozpiętości:

$$s_2 \cong s_1 \sqrt[3]{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25).$$

Przykład. Jakie naprężenie osiągnie przewodnik miedziany 25 mm^2 przy parciu wiatru 125 kg/mm^2, jeżeli naprężenie bez parcia wiatru wynosiło 4 kg/mm^2. Odległość pomiędzy słupami 40 m.

Obliczmy najpierw obciążenie przewodnika. Średnica drutu:

$$d = 5{,}65 \ mm.$$

Parcie wiatru na 1 m przewodnika:

$$0{,}7^{2}) \ . \ 125 \ . \ 1 \ . \ 0{,}00565 = 0{,}4944 \ kg.$$

Parcie to zredukowane na 1 mm^2 przekroju:

$$\frac{0{,}4944}{25} = 0{,}0198 \ kg.$$

Obciążenie wypadkowe z ciężaru własnego i parcia wiatru wyniesie:

$$\sqrt{(0{,}0198)^2 + (0{,}0089)^2} = 0{,}0217 \ kg.$$

Wobec tego mamy dane:

$$a = 40, \quad \lambda = 0{,}0001, \quad s_1 = 4, \quad p_1 \ 0{,}0089, \quad p_2 = 0{,}0217$$

a poszukujemy wielkości s_2. W przybliżeniu:

$$s_2 \cong 4 \sqrt[3]{\left(\frac{0{,}0198}{0{,}0089}\right)^2} \cong 7{,}3.$$

Wstawiwszy to znaczenie w równanie (23), otrzymamy:

$$s_2 = \frac{40 \ . \ 0{,}0217 \ . \ 4}{\sqrt{7{,}3 \ . \ 0{,}0001 \ (24 \ . \ 4^2 + 40^2 \ . \ 0{,}0089^2) + 40^2 \ . \ 0{,}0089^2 - 24 \ . \ 0{,}0001 \ . \ 4^3}} = 6{,}9.$$

Powtórzywszy ten rachunek kilka razy, otrzymamy kolejno następujące liczby: 7,1 7,0 7,05. Przy $s_2 = 7{,}05$ wracamy do tego samego znaczenia:

$$s_2 = \frac{40 \ . \ 0{,}0217 \ . \ 4}{\sqrt{7{,}05 \ . \ 0{,}0384 - 0{,}0269}} = 7{,}05.$$

A zatem, ostatecznie naprężenie

$$s_2 = 7{,}05.$$

Całkowita siła wyniesie

$$7{,}05 \ . \ 25 = 176{,}25 \ kg.$$

Strzałka zwisania zgodnie z równaniem (7):

$$f_2 = \frac{40^2 \ . \ 0{,}0217}{8 \ . \ 7{,}05} = 0{,}615.$$

Wpływ zmian obciążenia na naprężenie ilustrują równania (24) i (25). Przy większych rozpiętościach naprężenie wzrasta proporcyonalnie do obciążenia przewodników

$$\frac{s_2}{s_1} \cong \frac{p_2}{p_1},$$

przy mniejszych zaś przelotach wzrasta nieco wolniej:

$$\frac{s_2}{s_1} \cong \sqrt[3]{\frac{p_2^2}{p_1^2}}.$$

Co się tyczy zwisania, to zestawiwszy równania (24) i (25) z równaniem (7) znajdziemy, iż strzałka zupełnie nie zmienia się przy dużych przelotach

$$f_2 = \cong f_1$$

a przy małych—ze wzrostem obciążenia powoli zwiększa się

$$\frac{f_2}{f_1} \cong \sqrt{\frac{s_2}{s_1}}.$$

(C. d. n.)

[1]) „Berechuung des Durhhanges und dur Spannung in frei gespannten Drähten". E. T. Z. 1902, str. 802.

[2]) 0,7 jest współczynnikiem powierzchni walcowej.

Z TOWARZYSTW TECHNICZNYCH.

Stowarzyszenie Techników w Warszawie. *Posiedzenie z d. 10 stycznia r. b.* (Komunikat Wydziału posiedzeń technicznych). Po zatwierdzeniu protokółu z zebrania poprzedniego, wypowiedział odczyt inż. **A. Słucki**

„O sprawności ekonomicznej maszyny parowej".

Po wyłożeniu zasad, jakiemi przy określaniu teoretycznem sprawności maszyn parowych kierują się inżynierowie angielscy i niemieccy, prelegent wyłożył oryginalne poglądy swoje na tę sprawę i przyszedł do następującego wniosku. Przebieg Tow. inżynierów angielskich przedstawia przebieg idealny, zaś Tow. inżynierów niemieckich nie przedstawia przebiegu, który mógłby służyć za wzór rzeczywistej maszyny parowej. Proponowany przez prelegenta przebieg jest zbliżony do idealnego, umożliwia przytem konstrukcyę graficzną średniego wskazanego ciśnienia.

Prelegent stawia wniosek, aby podany przebieg został przyjęty jako przebieg Tow. inżynierów polskich. Zebrani postanowili po ogłoszeniu pracy p. Słuckiego w *Przeglądzie Technicznym* poświęcić jedno posiedzenie na obszerne omówienie proponowanego przebiegu.

Odczyt inż. Słuckiego drukowany jest w całości w numerze niniejszym.

KRONIKA BIEŻĄCA.

Wybuch w kanale ściekowym. W Budapeszcie w d. 28 grudnia r. z. około godziny 8-ej wieczorem, na ulicy Sorokfarer nastąpił w kanale ulicznym wybuch o niezwykłej sile, albowiem kanał na długości 1000 m został rozerwany.

Już od rana tego dnia czuć było w okolicach bliższych wydobywający się przykry zapach; niestety nie zwrócono na to uwagi. Wieczorem służący domu № 83 przy ulicy Sorokfarer, wstępując do ustępu, zapalił papierosa i rzucił palącą się zapałkę do miski klozetowej. W tejże chwili nastąpił wybuch. Klozet wyleciał w powietrze; służący doznał poważnych okaleczeń głowy i piersi; wybuchy w pobliżu nastąpiły niemal równocześnie i to na długości 1 km od zakładu gazowego.

W domach od № 83 do 94 rzeczonej ulicy wyleciały z ram wszystkie okna, wewnątrz urządzenia, meble, obrazy, ściany wewnętrzne uległy zniszczeniu. W dwóch uliczkach bocznych, pokrywy kanałowe wyrwane zostały parciem gazów z obsady i wyleciały w powietrze. Z otworów kanałowych buchały płomienie.

Komisya wyznaczona stwierdziła jako przyczynę wypadku, że w sąsiedztwie znajdująca się fabryka olejów mineralnych spuszczała jako ściek do kanałów miejskich od tygodni wodę brudną, przesyconą naftą. Stąd nagromadziły się gazy lotne w tak znacznej ilości, że rzucenie płonącej zapałki do miski klozetowej, spowodować musiało wybuch.

Przypuszczaćby również należało, że w okresie wybuchu, kanały ściekowe danej dzielnicy w Budapeszcie pozbawione były skutecznej i niezbędnej w racyonalnie zbudowanej sieci kanałowej wentylacyi, o czem w porze zimowej, gdy ulice są pokryte śniegiem, pamiętaćby należało. *E. S.*