PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

Tom XLVI. *Warszawa, dnia 20 lutego 1908 r.* № 8.

Zwisanie przewodników napowietrznych.

Napisał **Stanisław Wysocki**, inżynier.

(Ciąg dalszy do str. 70 w № 6 r. b.).

IV.

Z jakiem **naprężeniem** mogą być naciągnięte przewodniki napowietrzne? Dla wytrzymałości samego przewodnika i wytrzymałości konstrukcyi wspierających (jak słupy, kozły, poprzeczki, sworznie, izolatory) pożądane byłoby naprężenie jaknajmniejsze. Minimum naprężenia osiągamy przy strzałce zwisania:

$$f = \frac{1}{\sqrt{8}} a,$$

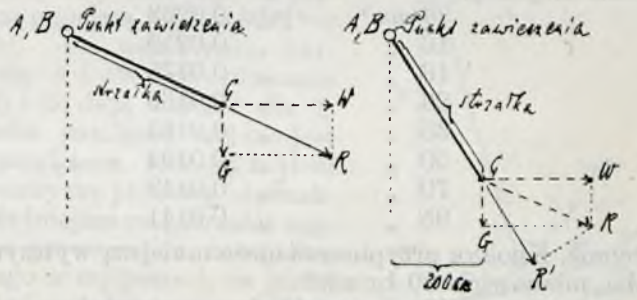
wynoszącej 35% rozpiętości [1]). Ze względów praktycznych linia w ten sposób nie może być zbudowaną. Przewodniki bowiem byłyby wówczas o 33% dłuższe, a przez to znacznie kosztowniejsze. Powtóre, trzeba byłoby je zakładać na wysokości o 35% większej. Wreszcie, odległości wzajemne pomiędzy drutami a także odległości pomiędzy drutami a przedmiotami postronnymi należałoby dawać, dla uniknięcia połączeń, bardzo duże.

Przeciwnie, chcąc mieć linię najkrótszą, a odstępy pomiędzy przewodnikami najmniejsze, musimy dążyć do osiągnięcia naprężenia możliwie najwyższego. Naprężenie to jednak nie może w żadnym razie, nawet przy najmniej sprzyjających warunkach, przewyższyć naprężenia bezpiecznego.

Tak więc, przy obliczaniu zwisania przewodników musimy kierować się tą zasadą, by naprężenie, nie przekraczając tej ostatniej granicy, przy największem obciążeniu i najniższej temperaturze, możliwie zbliżało się do niej. Temperatura najniższa jest dla każdego kraju mniej lub więcej dokładnie znana, co zaś się tyczy obciążenia, to przy oznaczaniu ego napotykamy na pewne trudności.

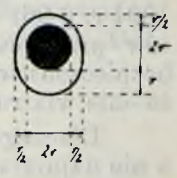
Obciążenie mechaniczne drutu składa się z: 1) ciężaru własnego, 2) parcia wiatru, 3) ciężaru sadzi, sopli, szronu i t. p., 4) uderzeń gradu, deszczu, 5) uderzeń względnie ciężaru rozmaitych przedmiotów postronnych, jak np. odłamanych gałęzi, śniegu spadającego z dachu, ptaków, a nawet niektórych innych zwierząt [2]) siadających na drucie. Z pięciu tych pozycyi pierwsza stanowi stałe obciążenie przewodnika, druga, trzecia i czwarta bywa tylko przy pewnych zjawiskach meteorologicznych, a piąta zdarza się wyjątkowo. Ciężar własny przewodnika oblicza się łatwo; parcie wiatru, biorąc teoretycznie, również można obliczyć. Zjawiają się tu jednak pewne wątpliwości. Przedewszystkiem doświadczenia H. Cloeren'a [3]) dowiodły, iż w rzeczywistości parcie wiatru wpływa na naprężenie w bardzo małym stopniu. Powtóre, przewodniki pod wpływem wiatru — jak sami możemy zaobserwować — wychodzą z płaszczyzny pionowej daleko mniej, niż to wypada z obliczenia i nie pozostają w stanie równowagi, lecz nabierają ruchu wahadłowego. K. Krohne [4]) twierdzi, że wychylenie krańcowe rzadko kiedy bywa większe aniżeli 200 *mm*. Na tem spostrzeżeniu opiera nawet swój sposób obliczania parcia wiatru na druty. Na rys. 12 zestawiliśmy dwa sposoby oznaczenia wykreślnego parcia wiatru: zwykły (teoretyczny) i podług K. Krohne'go. W pierwszym przypuszczamy, iż przewodnik wychyla się podług kierunku siły R (rys. 12), wypadkowej z ciężaru własnego G i parcia wiatru W. W ten sposób obliczaliśmy obciążenie przewodnika w drugim przykładzie niniejszej pracy (rozdz. II, zmiana obciążenia). Podług Krohne'go zaś, wychylenie wynosi tylko 200 *cm* i na przewodnik działa nie cała wypadkowa R, lecz tylko jedna z jej składowych R'. Bądź co bądź, obciążenie przewodnika przez parcie wiatru można jeszcze ująć w pewne liczby.

Gorzej jest jednak z sadzią, szronem, soplami i t. p. I w tej kwestyi Krohne podaje swoje spostrzeżenia i twierdzi, że na ciężar osadów atmosferycznych wystarcza dodawać: 10% do ciężaru drutów miedzianych, względnie 15% do ciężaru linek miedzianych.



Rys. 12.

Drut pokryty sadzią ma przybierać — podług Krohne'go — kształt podany na rys. 13. Nieraz obserwowaliśmy zjawisko silnej sadzi w Polsce i na południu Rosyi i widzieliśmy, jak średnica pokrytego drutu dochodziła ośmiokrotnej wielkości. Nawet we Francyi średnica 4 *mm* drutu może urosnąć do 38 *mm*, jak to podaje jeden z opisów [5]). Dodawanie 10 do 15% jest stanowczo za małe. Tego samego zdania była komisya układająca nowe przepisy niemieckie. Opierając się na spostrzeżeniach z praktyki, przyjęła jako wzór do obliczania najwyższego ciężaru sadzi 0,015 q kilogramów na każdy metr przewodnika, przyczem q oznacza przekrój drutu w mm^2. Równa się to przypuszczeniu, że ciężar sadzi może dojść do 170% ciężaru samego przewodnika.



Rys. 13.

Wreszcie pozostałe rodzaje obciążenia — uderzenia i ciężar rozmaitych przedmiotów postronnych—mogą być przewidywane dla jednych linii większe (np. dla linii prowadzonych w pobliżu drzew i domów), dla innych mniejsze, jednak nie dają się ściśle obliczyć.

Reasumując to wszystko, dochodzimy do wniosku, że całkowite obciążenie przewodnika może być tylko w przybliżeniu ocenione.

Przyjrzyjmy się teraz, w jaki sposób odbywa się **obliczanie zwisania** w praktyce.

1) Podług *przepisów bezpieczeństwa niemieckich* (obowiązujących do 1 stycznia 1908 r.) należy obliczać druty miękkie z pięciokrotnem bezpieczeństwem, a twarde z trzykrotnem, przy temperaturze — 20° C. i przy obciążeniu złożonem z ciężaru własnego przewodnika i parcia wiatru 125 kg/m^2. Trzymając się dosłownie brzmienia tych przepisów, należałoby obliczać obciążenie przewodnika w ten sam sposób, który nazwaliśmy poprzednio zwykłym wzgl. teoretycznym. Równa się to przypuszczeniu, że wypadkowa dwóch sił (o kierunkach wzajemnie prostopadłych) z ciężaru własnego i parcia wiatru daje najwyższe przewidywane obciążenie.

[1]) Dowodzenie podaliśmy już przy innej sposobności w *Przeglądzie Technicznym*, № 7 r. z. (str. 80).

[2]) Np. w krajach ciepłych zawieszają się na przewodnikach małpy.

[3]) E. T. Z. 1890, str. 45.

[4]) „Welcher Durchhang soll blanken Freileitungen aus Weichkupfer gegeben werder". E. T. Z. 1902, str. 593.

[5]) Zacytowany przez nas w artykule „Zależność urządzeń elektrycznych od klimatu"—*Przegl. Techn.* 1906 r., № 25, str. 298.

Objaśnimy *przykładem*. Z jaką siłą należy zgodnie z przepisami niemieckimi wyprężyć przewodnik z miedzi miękkiej 25 mm^2, przy rozpiętości 40 *m* i przy temperaturze 0°? Parcie wiatru 125 kg/m^2 wypada na 1 *m* długości i 1 mm^2 przekroju 0,0198 *kg* (jak to już wyliczyliśmy w przykładzie drugim artykułu niniejszego). Całkowite zatem obciążenie

$$p_1 = \sqrt{(0{,}0198)^2 + (0{,}0089)^2} = 0{,}0217.$$

Wytrzymałość bezwględna przewodników miękkich dochodzi do 25 *kg*. Naprężenie przy pięciokrotnem bezpieczeństwie wyniesie

$$s_1 = \tfrac{1}{5}\,25 = 5\,.$$

Przy pomocy wzoru (23) znajdziemy dla $t_2 = -20^0$ i $p_2 = 0{,}0089$

$$s_2 = 2{,}32\,.$$

Wreszcie z wzoru (20) dla $t_3 = 0$ i $p_3 = 0{,}0089$ wypada

$$s_3 = 2{,}02\,.$$

2) K. Krohne trzymając się w zasadzie przepisów niemieckich, inaczej oblicza obciążenie. Jak już poprzednio mówiliśmy, dodaje on do ciężaru przewodnika 10 względnie 15% na osady atmosferyczne, znajduje wypadkową z siły ciężkości i parcia wiatru i wreszcie wykreśla siłę składową *R'* (por. rys. 12), przypuszczając wychylenie 200 *mm*. W ten sposób znalazł następujące obciążenia dla przewodników z miedzi miękkiej:

6 mm^2	$p =$	0,0233
10 „	„	0,0210
16 „	„	0,0175
26 „	„	0,0160
35 „	„	0,0163
50 „	„	0,0194
70 „	„	0,0149
95 „	„	0,0141

Następnie, Krohne przypuszcza nieco mniejszą wytrzymałość miedzi, mianowicie 20 kg/mm^2.

Przerobimy ten sam *przykład*, co poprzednio.

Przy temperaturze $t_1 = -20^0$ i obciążeniu $p_1 = 0{,}016$

$$s_1 = \tfrac{1}{5}\,20 = 4\,.$$

Dla $t_2 = -20^0$ i $p_2 = 0{,}0089$

$$s_2 = 2{,}4\,.$$

Wreszcie dla $t_3 = 0^0$ i $p_3 = 0{,}0089$

$$s_3 \simeq 2{,}07\,.$$

Otrzymujemy więc prawie te same wyniki.

3) *Przepisy rosyjskie* (Min. Spr. Wewn. № 925 z 4 lipca 1904 r. § 96) dla przewodników nizkiego napięcia (250 woltów przy prądzie stałym i 150 przy zmiennym) zalecają bezpieczeństwo pięciokrotne przy temperaturze + 10° C. Ciśnienie wiatru ma być liczone 150 kg/m^2.

Dlaczego wzięto za punkt wyjścia temperaturę średnią a nie najniższą? Gdy obliczamy na temperaturę najniższą, wówczas przy nierównych rozpiętościach konstrukcye wspierające zawsze przyciągane są na stronę przelotu większego. Wyrównanie naprężenia następuje tylko w czasie największych mrozów. Inaczej rzecz się przedstawia, gdy obliczymy na temperaturę średnią. Wówczas, w czasie mrozów działa na słupy siła w stronę przelotu mniejszego, a odwrotnie podczas upałów w stronę przelotu większego. Jednem słowem, obciążenie słupów jest w tym wypadku równomierniejsze.

Zastosujmy przepisy rosyjskie do naszego *przykładu*. Parcie wiatru na przewodnik o 25 mm^2, czyli 5,65 *mm* średnicy przedstawi się w sposób następujący:

$$0{,}7\,.\,150\,.\,1\,.\,0{,}00565 = 0{,}59325\ kg$$

czyli 0,0237 kg/mm^2. Wypadkowa z ciężaru i parcia wiatru

$$\sqrt{0{,}0237^2 + 0{,}0089^2} = 0{,}0253.$$

Dla temperatury $t_1 = +10^0$ i $p_1 = 0{,}0253$

$$s_1 = \tfrac{1}{5}\,25 = 5.$$

Przy $t_2 = +10^0$ i $p_2 = 0{,}0089$

$$s_2 = 1{,}94.$$

Wreszcie przy $t_3 = 0^0$ i $p_3 = 0{,}0089$

$$s_3 = 2{,}03\,.$$

4) Podług Herzog'a i Feldman'a oblicza się przewodniki wyłącznie na ciężar własny ze stopniem bezpieczeństwa $^1/_6$ przy —20° C. Przypuszcza się, że wszystkie inne obciążenia wzięte w sumie nie przekroczą nigdy sześciokrotnego ciężaru. Ponieważ nie bierzemy w rachubę parcia wiatru, przeto otrzymujemy dla wszystkich przekrojów jednakowe naprężenie. Wystarcza obecnie tylko jedno obliczenie.

W naszym *przykładzie* przy $t_1 = -20^0$ i $p_1 = 0{,}0089$

$$s = \tfrac{1}{6}\,24 = 4,$$

przy $t_2 = 0$ i $p_2 = 0{,}0089$

$$s_2 = 3\,.$$

Dane Herzog'a i Feldman'a podawaliśmy już w postaci wykresów, teraz powtórzymy je w kształcie tablicy (tabl. II).

Tablica II.

Temperatura °C	Rozpiętość w *m*													
	20		25		30		35		40		45		50	
	f_m	s_{kg}	f_m	s_{kg}	f_m	s_{kg}	f_m	s_{kg}	f_m	s_{kg}	f_m	s_{kg}	f_m	s_{kg}
—30°	0,08	5,4	0,13	5,2	0,20	5,0	0,28	4,9	0,37	4,8	0,48	4,7	0,60	4,6
—25°	0,10	4,8	0,15	4,6	0,22	4,5	0,31	4,4	0,41	4,4	0,52	4,3	0,65	4,3
—20°	0,12	4,0	0,17	4,0	0,25	4,0	0,34	4,0	0,44	4,0	0,56	4,0	0,69	4,0
—15°	0,13	3,4	0,20	3,6	0,28	3,6	0,37	3,7	0,48	3,7	0,60	3,8	0,73	3,8
—10°	0,15	3,0	0,22	3,1	0,31	3,3	0,40	3,4	0,51	3,5	0,64	3,5	0,77	3,6
— 5°	0,17	2,6	0,25	2,8	0,34	3,0	0,44	3,1	0,55	3,2	0,68	3,3	0,80	3,4
0	0,20	2,3	0,27	2,5	0,37	2,7	0,47	2,9	0,58	3,0	0,71	3,2	0,84	3,3
+ 5°	,22	2,1	0,30	2,3	0,40	2,5	0,50	2,7	0,62	2,9	0,75	3,0	0,88	3,1
+10°	0,24	1,9	0,32	2,1	0,42	2,4	0,53	2,6	0,65	2,7	0,78	2,9	0,92	3,0
+15°	0,26	1,7	0,35	2,0	0,45	2,2	0,56	2,4	0,69	2,6	0,82	2,8	0,95	2,9
+20°	0,28	1,6	0,37	1,9	0,48	2,1	0,60	2,3	0,72	2,5	0,86	2,7	1,00	2.8
+25°	0,30	1,5	0,40	1,8	0,50	2,0	0,63	2,2	0,75	2,4	0,89	2,6	1,04	2,7
+30°	0,32	1,4	0,42	1,7	0,53	1,9	0,66	2,1	0,79	2,3	0,92	2,5	1,08	2,6

5) Firma „Allgemeine Elekricitäts-Gesellschaft" podała w katalogach tablice strzałek dla przewodników miedzianych (tabl. III) i glinowych. Tablice te przytoczył H. Pohl w swem dziełku p. t. „Die Freileitungen", polecając je do użytku praktycznego. W jaki sposób tablice te zostały ułożone nie wiemy, widzimy tylko, iż dopuszczone naprężenie wynosi tu daleko więcej, niż w innych tablicach. Przy —20°C. przewodniki miedziane do 25 mm^2 wykazują naprężenie około 6 kg/mm^2, ponad 25 mm^2 około 4 kg/mm^2. Podług tych danych przewodniki cienkie mają być wyprężone silniej, niż grube. Dotychczas wszystkie inne przepisy zalecały albo wprost odwrotnie naprężenie większe dla grubych przewodników (przepisy niemieckie, K. Krohne, przepisy rosyjskie), albo dla wszystkich przewodników jednakowe (Herzog i Feldman). Czem to wytłumaczyć?

Jeżeli jako założenie postawimy sobie wytrzymałość przewodnika, to musimy dojść do wniosku, że najwięcej narażone są druty cienkie i dlatego winny mieć naprężenie mniejsze. Wytrzymałość bowiem przewodników rośnie w stosunku do kwadratów średnicy, gdy tymczasem ze wszystkich rodzajów obciążenia tylko ciężar własny i ciężar sadzi jest proporcyonalny do kwadratów, natomiast parcie wiatru pro-

Tablica III.

Rozpiętość w *m*	10				20				30				40				50			
Temperatura w °C.	—20	0	+20	+40	—20	0	+20	+40	—20	0	+20	+40	—20	0	+20	+40	—20	0	+20	+40
Strzałka: dla przewodu do 25 mm^2. . . .	0,02	0,025	0,03	0,035	0,08	0,09	0,12	0,15	0,18	0,19	0,20	0,22	0,30	0,33	0,35	0,40	0,48	0,50	0,55	0,58
Strzałka: dla przewodu do 120 mm^2 . . .	0,03	0,035	0,04	0,045	0,10	0,14	0,16	0,18	0,25	0,27	0,30	0,32	0,45	0,50	0,54	0,60	0,75	0,80	0,84	0,90

porcyonalne jest do pierwszej potęgi średnicy, a pozostałe obciążenia przygodne zupełnie nie zależą od przekroju.

Do innego jednak dojdziemy wniosku, wyszedłszy z założenia wytrzymałości słupów i wogóle konstrukcyi wspierających. Słupy drewniane, izolatory, haki mają wytrzymałość ograniczoną. Chcąc im możliwie ulżyć, trzeba przy grubych przewodnikach mniejsze dawać naprężenie, niż przy cienkich. Prawdopodobnie, przy układaniu tablicy III obrano ten właśnie punkt widzenia.

Dla przewodnika o 25 mm^2 przy $a = 40$ i $t = 0$ znajdujemy $f = 0{,}33$, co odpowiada neprężeniu

$$s = 5{,}4.$$

(D. n.).

Rozbiór krytyczny dotychczasowych teoryi nawijania na samoprząśnicy wózkowej.

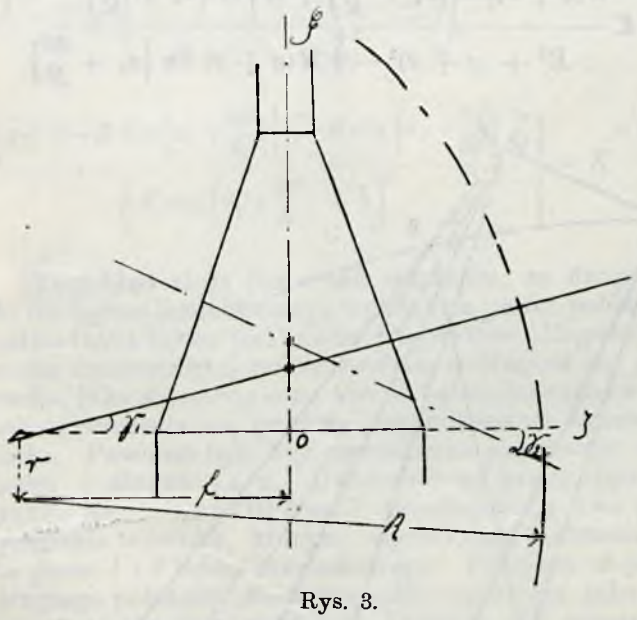
Przez inż. **A. Humnickiego** i inż. **M. Ponikiewskiego.**

(Ciąg dalszy do str. 67 w № 6. r. b.).

Przy wyszukiwaniu prawa ruchu nawijacza przyjął Hartig, że kierunek przędzy, która ma zostać nawiniętą, jest zawsze prostopadły do osi wrzeciona, co nie odpowiada rzeczywistości, gdyż właśnie ta część przędzy ma kierunek stycznej do linii śrubowej, w jakiej odbywa się nawijanie na warstwę. Wyszukanie ścisłego prawa ruchu przedstawia w tym wypadku pewne trudności, gdyż styczna ta ma wciąż zmienne pochylenie do poziomej, a nadto sprawa staje się jeszcze zawilszą i przez to, że droga nawijacza jest łukiem koła. Do rozwiązania tego zadania zastosowaliśmy następujący sposób: Przyjmujemy (rys. 3) taki układ spółrzędnych, aby początek O znajdował się w płaszczyźnie podstawy, a oś rzędnych przechodziła przez podłużną oś kopki. Jeżeli wiadome jest nachylenie γ linii stycznej względem osi ζ, to nawijana przędza określi się z równań:

dla pierścieni ukośnych $\xi = -\operatorname{tg}\gamma_2 \cdot \zeta + z$ . . . . . (1)

„ „ ścisłych $\xi = \operatorname{tg}\gamma_1 \cdot \zeta + z$ . . . . . (2)



Rys. 3.

gdzie z podobnie jak poprzednio oznacza odległość punktu nawijania od podstawy warstwy.

Równanie koła, którego łuk stanowi drogę nawijacza, brzmi:

$$R^2 = (\zeta - f)^2 + (\xi - v)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

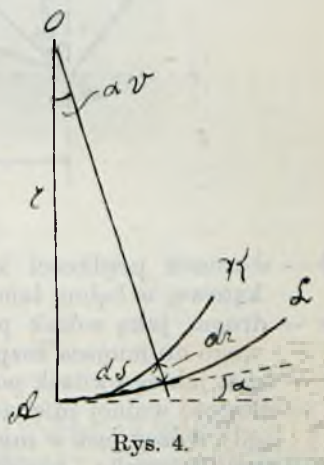
jeżeli przez R rozumiemy promień koła, a przez f i v spółrzędne środka koła. Rozwiązanie równań (1) i (3), względnie (2) i (3), odnośnie do ξ daje nam szukaną odległość nawijacza od podstawy warstwy podczas formowania pierścieni ukośnych, względnie pierścieni ścisłych, przyczem f, v i R uważać trzeba za wiadome, a z daje się oznaczyć z poprzednio wyprowadzonego równania:

$$z = \frac{H \cdot D}{D - d}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{x}{L}\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right).$$

Co się tyczy kąta γ, to do oznaczenia go stosujemy rozwinięcie powierzchni warstwy na płaszczyźnie (rys. 4). Niech będzie AK część spirali Archimedesa, AL — łuk koła, jakie powstaje przy rozwinięciu stożka. Kąt α pomiędzy styczną do spirali a styczną do koła wskazuje nam jednocześnie nachylenie linii stycznej w punkcie A do linii śrubowej na stożku — względem linii poziomej, znajdującej się w tej samej płaszczyźnie stycznej do stożka, w jakiej leży również i linia styczna. Rozpatrując elementy krzywej pomiędzy nieskończenie blizko jeden od drugiego położonymi promieniami wodzącymi, można nie brać pod uwagę jej krzywości i napisać:

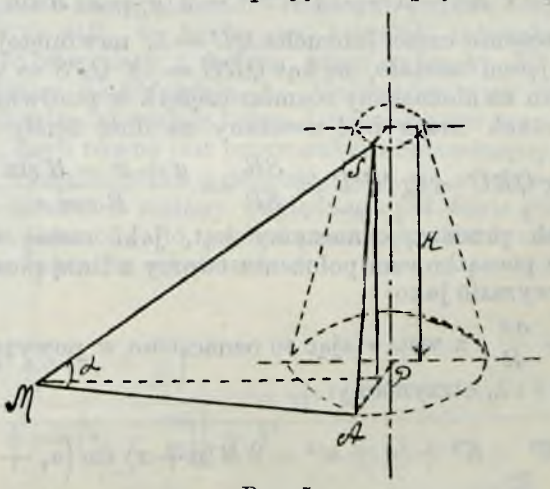
$\sin\alpha = \frac{dr}{ds}$, skąd można będzie oznaczyć $\sin\alpha$.

Zważywszy zaś, że przy określeniu ξ dla ułatwienia braliśmy układ spółrzędnych na płaszczyźnie, a nie w przestrzeni, zrozumiemy, że teraz należy tam podstawić nie kąt α, który leży w płaszczyźnie stycznej do stożka, lecz rzut jego na płaszczyznę pionową, t. j. kąt $SMP = \gamma$ (rys. 5). Po wstawieniu wartości dla z i dla $\operatorname{tg}\gamma$ równania (1), (2) i (3) dają wartość dla ξ, ale trzeba pamiętać, że ξ nie jest drogą nawijacza, lecz jej rzutem na płaszczyznę pionową. Jednakże dokładniejsze rozpatrzenie analityczne prawa ruchu nawijacza, podanego w tej postaci, w jakiej otrzymać go można z powyższych równań, przedstawia wiele trudności, a to mianowicie z powodu bardzo złożonej postaci wyrazu, jaki otrzymamy dla ξ. Ponieważ zaś sprawa ta dość prosto daje się rozwiązać drogą wykreślną, przeto pozostawiamy na później jej omówienie, do czego będziemy mieli sposobność przy rozpatrywaniu teoryi nawijania, postawionej przez innego autora.



Rys. 4.

W dalszym ciągu swej pracy stara się Hartig dać prawo ruchu mechanizmu wycinkowego, który obraca wrzeciona podczas nawijania. Jako punkt wyjścia do wyprowadzenia odpowiedniego równania przyjął następujące zdanie: „Droga, jaką w pewnym przeciągu czasu opisuje dookoła osi bębna łańcuchowego jakikolwiek punkt, znajdujący się na obwodzie tego bębna — równa jest przyrostowi długości w nienawiniętej części łańcucha w tymże czasie, zmniejszonemu o ten kawałek łańcucha, jaki się z powrotem ułoży na obwodzie bębna łańcuchowego dzięki przemieszczeniu się w tym samym okresie czasu ku dołowi punktu przymocowania łańcucha do wycinka“. Przyjmijmy następujące oznaczenia:



Rys. 5.

u_1 — prędkość kątowa wrzecion,

R — promień wycinka,

α — kąt jaki tworzy ten promień z linią pionową, podczas kiedy wózek jest w punkcie x,