Ü/327

Šuchov, Vladimir Grigor'evič

BERECHNUNG DER GEBÄUDE DER INGENIEURSABTEILUNG AUF DER AUSSTELLUNG IN NIZNIJ NOVGOROD[1)]

Deutsche Vollübersetzung aus:
Šuchov, V.G.: Izbrannye trudy. Stroitel'naja mechanika. Pod red. A.Ju. Išlinskogo. /Ausgewählte Schriften. Baumechanik; russ./. Moskva: Nauka, 1977, S. 169 - 174.
Russ.: *Расчет зданий инженерного отдела Нижегородской выстаски* *
Rasčet zdanij inženernogo otdela Nižegorodskoj vystavki

1. Das Rundgebäude. Wie aus der beigefügten Zeichnung hervorgeht, besteht das Dach des Rundgebäudes aus zwei Hängedächern, die an konzentrischen Ringen aufgehängt sind: einem inneren Ring mit 84' Durchmesser und einem äußeren mit 214' Durchmesser.

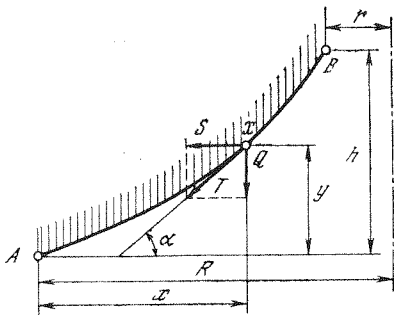

Abb. 1

1) Archiv der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Bestand 1508 - opus 1 - Div. 47 - Blätter 20 - 23. (Anm.d.Red.)

Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart

D a s ä u ß e r e D a c h. In Abb. 1 soll AB den Meridianquerschnitt des äußeren Daches darstellen, r den Radius des inneren Ringes, R den des äußeren Ringes und h den Höhenunterschied der beiden Ringe. Die Last auf die Quadrateinheit der Dachfläche bezeichnen wir mit q. Stellt die Linie AB eine Gleichgewichtslinie dar, die eine bestimmte Last trägt, so strebt ein Teil der Fläche AX unter Einwirkung der gleichmäßig von Punkt A bis Punkt X verteilten Last Q zum Abreißen von deren Teil XB mit der Kraft T, die zur Linie AB im Punkt X tangential ausgerichtet ist, wobei $T = Q/\sin\alpha$. Für das Gleichgewicht der Kurve AB ist notwendig und hinreichend, daß die horizontale Resultande S der Last Q und der Kraft T konstant ist, was $S = Q/\mathrm{tg}\,\alpha$ ergibt. Diese Bedingung bestimmt die Form der Kurve, d.h. ist jene Bedingung, bei der im Werkstoff des Daches die Spannungen aufgrund der Bruchmomente aufgehoben werden. Q, die Last auf den Ring mit den Radien R und R - x, beträgt

$$Q = q\pi R^2 - q\pi(R - x)^2 = q\pi(2Rx - x^2).$$

$\mathrm{tg}\,\alpha = dy/dx$ und folglich ist

$$\frac{dy}{dx} = \frac{q\pi}{S}(2Rx - x^2), \qquad (1)$$

woraus folgt:

$$y = \frac{q\pi}{S}\left(Rx^2 - \frac{x^3}{3}\right). \qquad (2)$$

Dies ist die Gleichung einer Kubik-Parabel, deren Drehung auch das äußere Dach des Gebäudes bildet.

In unserem Fall ist R = 112', r = 42', R - r = 70', h = 28'. Für die Last q gilt 30 Pud[2] auf 1 Sashen[2] oder 30/50 auf 1 Kubikfuß. Im Punkt A erhalten wir dy/dx = 0, S = T, für den Punkt B y = h, x = R - r. Wir wenden Gleichung (2) im Punkt B an und erhalten $\frac{q\pi}{S}(2/3\ R^3 - rR^2 + 1/3\ r^3)$, woraus $S = \frac{q\pi}{h}(2/3\ R^3 - rR^2 + 1/3\ r^3)$ folgt.

---

[2] 1 Pud (ehemaliges russisches Gewicht) = 16,38 kg; 1 Sashen (ehemaliges russisches Längenmaß) = 2,133 m (Anm.d.Übers.).

Wir tragen diesen Wert von S in Gleichung (1) ein und erhalten für den Punkt B $dy/dx = tg\ \alpha_0 = h(R^2 - r^2)/(2/3\ R^3 - rR^2 + 1/3\ r^3)$. Wir setzen die Zahlenwerte ein und erhalten $tg\ \alpha_0 = 0{,}6947$; $\alpha_0 = 34^\circ 48'$ und $\sin \alpha_0 = 0{,}571$. Die Gesamtlast des äußeren Daches beträgt bei einer Dachfläche von 690 Quadrat-Sashen 20 700 Pud. Folglich ist $S = Q/tg\ \alpha \cong 3\ 000$ Pud. Der größte Wert von T in Punkt B ist $T = Q/\sin \alpha \cong 36\ 300$ Pud, der geringste im Punkt A beträgt $T = S = 30\ 000$ Pud. Das Dach besteht aus 640 Blechstreifen, die größte Zugkraft eines jeden beträgt $T/640 = 56{,}7$ Pud. Der Querschnitt der 2 x 3/16"-Blechstreifen unter Abzug von 3/8" ergibt 0,304 Quadratzoll, was einer Bruchspannung von 193 Pud entspricht. Die tatsächliche Spannung der Blechstreifen ist geringer als oben berechnet.

Das Dach stellt nämlich als Gesamtes ein Verbundsystem dar, da die Blechstreifen an den gemeinsamen Kreuzungspunkten miteinander vernietet sind und somit sozusagen eine durchgehende Fläche bilden, die den Belastungskräften ausgesetzt ist. Bei der Berechnung derartiger Dächer muß beachtet werden, daß die Lasteinwirkung in 2 Komponenten zerfällt, von denen nur eine die Zugkraft auf den Meridianquerschnitt überträgt, die andere hingegen der Bildung von Druck- und Zugkräften der durchgehenden Fläche in paralleler Richtung (bzw. in Richtung der Horizontalquerschnitte) dient. Wir gehen auf diesen Fall hier nicht ein, bemerkt sei lediglich, daß er offensichtlich zu einer Verminderung der Bruchkräfte in den Blechstreifen führt.

D a s i n n e r e D a c h. Um ein Durchdringen von Regenwasser bei einer etwaigen Verstopfung der Dachrinne des inneren Daches zu vermeiden, besteht es aus vernieteten Dachblechen. Das Dach besitzt eine kugelförmige Oberfläche mit 2 000" Radius. Für die Last gilt 50 Pud auf 1 Quadrat-Sashen oder 1 Pud auf 1 Quadratfuß oder 1/140 Pud auf 1 Quadratzoll. Die Werkstoffspannung in der Kugel, deren Oberfläche dem Druck p ausgesetzt ist, wird nach der Formel $T = pR/2$ bestimmt. In unserem Fall ist $T = 2\ 000/280 \cong 7{,}15$ Pud. Das Eisen ist 1/16" dick, die Schwächung des Eisens durch die Vernietungen beträgt 0,30, und die Spannung des Eisens auf 1 Quadratzoll $(7{,}15/0{,}7) \times 16 = 165$ Pud.

D e r ä u ß e r e u n d d e r i n n e r e R i n g. Unter dem Einfluß der Kraft S wird der äußere Ring mit der Kraft $S/2\pi = 4\ 780$ Pud zusammengepreßt. (Auf die Kreisflächeneinheit bezogen beträgt die Kraft $S/2\pi R$, der Druck im Ring ist $(S/2\pi R)R = S/2\pi$).

Der Ring besteht aus: 2 Bleche 2 x 5/16", Querschnittsfläche 15 Quadratzoll; 2 Winkeleisen 4 x 4 x 3/18" mit 6 Quadratzoll Querschnitt, also insgesamt 21 Quadratzoll.

Die Druckspannung des Werkstoffs beträgt 4 780/21 = 230 Pud.

Der Ring ist an den äußeren Säulen befestigt, die ihm eine feste Stütze geben. Dabei wird der obere Gurt, welcher die Säulen verbindet und beim Widerstand gegen den Druck beteiligt ist, bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

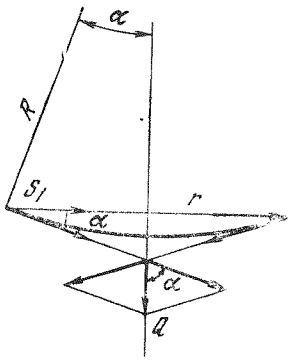

Abb. 2

Der innere Ring ist unter dem Einfluß der Last des äußeren Daches Zugkräften und aufgrund der Last des inneren Daches Druckkräften ausgesetzt. Obwohl sich diese Kräfte nicht gegenseitig aufheben, geben sie dem Ring dennoch eine Steifigkeit, die für den Widerstand im einzelnen ausreichend ist. Aufgrund der Last des inneren Ringes beträgt der Druck in diesem Ring (Abb. 2): Gesamtlast des inneren Ringes $Q_1 = 113 \times 50 =$ 5 650 Pud; Kraft $S_1 = Q_1/\mathrm{tg}\ \alpha = Q_1 R/r = 5\ 650 \times 2\ 000/504 \approx$ 22 400 Pud. Der Druck des Ringes beträgt $S_1/2\pi = 3\ 600$ Pud.

Der Ring besteht aus 2 Winkeleisen 4 x 4 x 3/8" mit einer Fläche von 6 Quadratzoll; einem Eisenblech 18 x 3/8" mit 6,75 Quadratzoll Querschnitt und einem zweiten Eisenblech 12 x 1/4" und 3 Quadratzoll; insgesamt also 15.75 Quadratzoll.

D i e S ä u l e n. Die insgesamt 16 Innensäulen tragen das gesamte Gewicht des Daches von 26 380 Pud bei einer Belastung von 30 Pud je 1 Quadrat-Sashen. Dies ergibt für jede Säule 1 660 Pud.

Eine Säule besteht aus 4 Winkeleisen, an den Scheiteln zusammengestellt ergeben sie eine Seitenbreite von 24" im Quadrat. Die Querschnittsfläche der 4 Winkeleisen mit den Maßen 4 x x 4 x 3/8" ergibt 12 Quadratzoll, und die Druckspannung beträgt je 1 Quadratzoll 140 Pud. Die Säulenhöhe vom Fuß bis zur ersten Verbindung ist 35 Fuß. Die Säulen ruhen auf gemauerten Sockeln, ihre Spitzen sind mit einem Ziegelbelag versehen. Der untere Teil der Mauerung hat die Abmessung 4 x 4'. Bei solchen Abmessungen liegt die Bodenbelastung unter 120 Pud auf 1 Quadratzoll.

Die Dachlast wird vom oberen Ring über Stützen aus Doppeleisen (4 x 4 x 3/8") übertragen. Der größte Abstand zwischen den Stützen beträgt 5'6". Bei einem solchen Abstand sind die Abschnitte des oberen Ringes einem Bruchmoment ausgesetzt, dessen Größe 5,5 x 12 x 550/12 = 3 025 Pud Zoll beträgt. Ein 3/8"-Blech von 15" Höhe ergibt ein Widerstandsmoment von $W = bh^2/6$ = = 14 Kubikzoll, was 216 Pud Spannung auf 1 Quadratzoll ausmacht.

D i e A u ß e n s ä u l e n. Die das Skelett der Wände des Gebäudes bildenden Außensäulen tragen wie die Stützen das vernachlässigbare Gewicht des äußeren Ringes und dafür muß die Last nicht berücksichtigt werden. Diese Säulen sind Doppel-T-Eisen mit den Abmessungen 230 x 102 mm (9 1/16 x 4"). Ihr Widerstandsmoment ist annähernd 20 Kubikzoll. Die 48 Säulen stehen in einem Abstand von jeweils 14,66 Fuß. An der Spitze werden die Säulen durch einen 2"-Eisenträger verbunden, unten durch Bleche mit 3 Fuß Breite. Zwischen den Balken und den

Säulen verläuft eine Verbindung aus 3 x 1/4"-Gurten. Die durch das Wellblech und die Fenster übertragene Windbeeinflussung beträgt ungefähr 180 Pud, gleichmäßig verteilt. Betrachtet man die Säule als einen Balken mit zwei Enden, beträgt das Moment dieser Last 3 780 Pud/Zoll und die Werkstoffspannung ca. 190 Pud je Quadratzoll. Die Gesamtwindbelastung von ungefähr 3 000 Pud auf die gesamte Gebäudefläche erzeugt in allen 48 Säulen ein Kippmoment, dessen Schenkel die Hälfte der Säulenhöhe ausmacht, wonach die Größe des Kippmoments 31 500 Pud/Fuß beträgt.

Jedes Feld, das durch zwei Säulen gebildet wird, die durch Gurte von 2 und 3 Fuß und gleichzeitig mit Verbindungen von 3 x 1/4" verbunden werden, ergibt einen Kippmomentwiderstand in der Angriffsebene von ca. 4 000 Pud/Fuß bei einer Eisenspannung von 250 Pud.

In der zum Feld senkrechten Richtung leistet jede Säule einen Widerstand von 500 Pud/Fuß.

Da ein Teil der Säulen in der Feldebene und ein anderer in der dazu senkrechten Ebene kippen will, beträgt somit der mittlere Widerstand (4 000 + 1 000)/4 = 1 250 Pud/Fuß. Folglich sind 28 Säulen für die Stabilität des Gebäudes ausreichend.

2. Rechteckige Gebäude. Die Dächer dieser Gebäude sind Zeltdächer. Der First ist an einem Längsbalken aufgehängt, der auf den Mittelsäulen ruht. Die unteren Enden sind an Balken befestigt, die zu den Stützen der Gebäudewände verlaufen. Die Länge der Gebäude beträgt 32 Sashen, die Breite 14 Sashen. Die Dachbreite oder Spannweite ist 7 Sashen, die lichte Höhe des Daches 2,5 Sashen.

AB (Abb. 3) stelle den Dachquerschnitt dar, der senkrecht zur Gebäudeachse steht, l die Spannweite, h die lichte Höhe. Die durch die Last Q in einem beliebigen Punkt a erzeugte Spannung

beträgt T = Q/sin α und Q/S = tg α; q, die Last auf die Flächeneinheit, ist gleich 30 Pud je 1 Quadratzoll. Folglich ist dy/dx = qx/S, und hieraus ist die Gleichung der Kurve AB y = = $qx^2/2S$. Beim Punkt B ist tg α = 0,72; $\alpha = 35^{\circ}47'$; sin α = = 0,5845; Q = gl = 210 Pud. Demnach ist T am größten im Punkt B. T = Q/sin α = 210/0,585 = 359 $\cong$ 360 Pud auf 1 Längs-Sashen. Im Punkt A ist T = S = 1,4 x 210 = 294 $\cong$ 300 Pud.

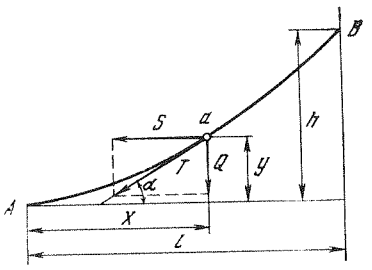

Abb. 3

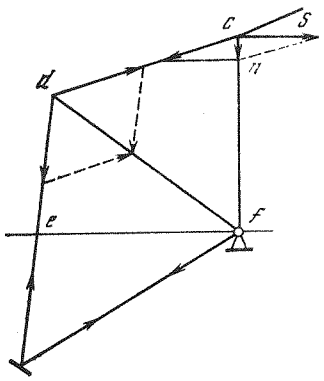

Abb. 4

Auf jeden Sashen entfallen 9 sich gegenseitig unter einem Winkel von $\sim 34^{\circ}$ kreuzende Blechstreifen. Auf jeden Blechstreifen kommt eine Last von höchstens 360/9 cos 17° = 42 Pud. Die Maße der Blechstreifen sind im Querschnitt 2 x 3/16", die Vernietungen 3/8", die Eisenspannung beträgt ungefähr 160 Pud je 1 Quadratzoll.

Die Kraft T = S im Punkt A wird durch Stützen und Züge nach folgendem Diagramm übertragen (Abb. 4): Höhe der Stütze f = = 2,5 Sashen; Stützen df = 2,624 Sashen; Abstand ef = 2 Sashen; Abstand dn = 1,7 Sashen; Länge des Zuges de = 2,022 Sashen; Züge cd = 1,77 Sashen. Der Abstand zwischen den Sützen beträgt 1,6 Sashen; folglich ist die von ihnen übertragene Kraft 1,6 x 300 = 4 800 Pud. Dazu kommt noch die Windbelastung auf die Wände, die auf 1,6 Sashen Länge 128 Pud beträgt, bezogen auf den Punkt C beträgt die Größe dieser Kraft 128/2,5 = 51 Pud. Folglich ist die Größe S 530 Pud.

Entsprechend den in Abb. 4 dargestellten Abmessungen und Richtungen der Stützen und Züge sind die Kraftkomponenten von S: Druck der Stütze cf = 0,3 S = 159 Pud, T-Eisen Nr 8/8, Querschnitt 2,1 Quadratzoll; Druck der Stütze df = 1,5 S = 795 Pud, 2 Doppel-T-Eisen Nr 10, Querschnitt 4,2 Quadratzoll; Spannung des Zuges cd = 1,04 S = 552 Pud; Blechstreifen 6 x 3/8" (abzüglich der Vernietungen), Querschnitt 2 Quadratzoll; Spannung des Zuges de = 1,2 S = 636 Pud, Rundeisen 1 3/4" Durchmesser (Ende mit 2"-Gewinde), Querschnitt 2,4 Quadratzoll.

Bei den Sützen ist das Dachgitter an einem Balken befestigt, der auf den Stützen ruht. Dieser Balken leistet dem Bruchmoment der gleichmäßig verteilten Kraft S Widerstand. Er muß als an zwei Enden eingespannt angesehen werden. Das Bruchmoment beträgt (530 x 11,2 x 12)/12 = 5 936 $\cong$ 6 000 Pud/Zoll.

D i e M i t t e l s ä u l e n. Diese Säulen tragen das volle Gewicht des gesamten Daches. Von den 9, jeweils im Abstand von 2 Sashen stehenden Säulen trägt eine jede ein Gewicht von 14 x 2 x 30 = 840 Pud. Die Säulen bestehen aus Winkeleisen 3 x 3 x 3/8", die in 15" quadratisch angeordnet sind und durch 2 x 2 x 1/4" Gurte und 1 1/2 x 1 x 1/4" Winkeleisen verbunden werden. Die Querschnittsfläche der 4 Winkeleisen beträgt 9 Quadratzoll. Über die Säulen verläuft ein Balken aus 12 x 3/8" Blechstreifen und zwei 3 x 3 x 1/4" Winkeleisen.

Die äußersten Säulen tragen eine Last von 14 x 7 x 30 = 2 940 $\cong$ $\cong$ 3 000 Pud. Die Säulen bestehen aus 4 Winkeleisen 5 x 5 x 1/2", die in 24" quadratisch angeordnet und durch 2 x 1 x 1/4" Winkeleisen und 3 x 1/4" Blechstreifen verbunden sind. Von den äußersten Säulen verlaufen 4 Blechstreifen zur Befestigung des Dachgitters. Die Gesamtlast verteilt sich auf diese 4 Säulen nach folgendem Diagramm: auf den Blechstreifen Ao kommt die Last der Fläche boc, deren Größe 1/2(3 x 7 + 2,33 x 6)x 30 = = 525 Pud beträgt. Man kann annehmen, daß das Zentrum der oben genannten, gleichmäßig einwirkenden Last in einem Abstand von 4 Sashen vom Punkt o liegt. Folglich ist die Horizontalkraft

S im Punkt A (4 x 525)/2,5 = 840 Pud. Demnach sind 2 Stützen mit Zügen in den vorher genannten Abmessungen ausreichend, um dieser Kraft Widerstand zu leisten. Der Blechstreifen Ao (Abb. 5) besteht aus zwei 8 x 1/4"-Blechstreifen.

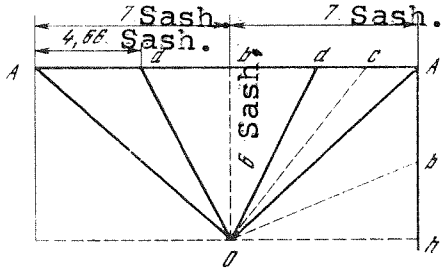

Abb. 5

Die Stützen und Blechstreifen od werden auf dieselbe Weise berechnet; sie haben die Abmessungen von 12 x 1/4"-Blechstreifen. Die Stützen und Züge haben die gleichen Abmessungen wie in den übrigen Gebäudeteilen.

Stuttgart, den 26. Mai 1988

übersetzt von

Ottmar Pertschi

(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart