Ermolov, V.V.
(Moskauer Architektur-Institut)

ZUR PROBLEMATIK VON LUFTGESTÜTZTEN MEMBARANSCHALEN GROSSER SPANNWEITE

Übersetzung aus:

Prostranstvennye konstrukcii zdanij i sooruženij.
Moskva, 3 (1977), S. 158 - 163.

Russ.: ПРОБЛЕМА ВОЗДУХООПОРНЫХ
ОБОЛОЧЕК БОЛЬШИХ ПРОЛЕТОВ

Problema vozduchoopornych oboloček bol'šich
proletov

Untersucht wird die Problematik der Planung von Lufthallen großer Spannweite unter Verwendung eines Systems von Stahl- oder Nylonseilen bzw.-netzen. Die maximalen Spannweiten der Membranen mit und ohne Verstärkung werden verglichen. Die Vorstellungen über die optimale relative Höhe der Lufthallen werden dargelegt, wobei die Windeinwirkung auf das Bauwerk berücksichtigt wird. Es werden Empfehlungen gemacht, wie die Seile an der Membranfläche anzubringen sind, und auch, nach welchem Muster sie angeordnet sein können. Der Aufsatz enthält Tabellen über gebaute und geplante Lufthallen großer Spannweite mit und ohne Verstärkungen und Empfehlungen zur Plannung von luftgestützten Membranschalen mit Verstärkungsseilen oder -netzen.

2 Tab., 4 Abb., Lit: 5 bibl. Ang.

Einige Fachleute sind der Meinung, daß die Spannweite von Lufthallen unbeschränkt sein kann, da die äußere Belastung in jedem Fall durch den Luftüberdruck unter der Membran aufgewogen wird. Dies ist jedoch nur theoretisch möglich. In der Praxis kann nur in "integralem" Sinn ein Gleichgewicht erreicht werden. Was die einzelnen Membranabschnitte betrifft, so kann hier durch die Ungleichförmigkeit der äußeren Belastungen niemals ein Gleichgewicht erreicht werden, ohne daß die Membran lokale Ausbuchtungen und Einwölbungen erhält. Deshalb konnten nicht einmal anerkannte Fachleute auf dem Gebiete der räumlichen Konstruktionen wie Frei Otto und Rudolf Trostel die theoretische Grenze für die Spannweite von pneumatischen gespannten Membranschalen festlegen, obwohl wie A. Quarmby [1] aufzeigt immerhin die Werte für die maximalen Spannweiten der folgenden Konstruktionen errechnet werden konnten: Druckbogen und Schalen aus Beton mit 500 m, Druckbogen und Schalen aus Stahl mit 1 750 m, gezogene Seile und Membranen aus hochfestem Stahl mit 5 - 10 km.

Die Werkstoffe für die Membranen von pneumatischen Konstruktionen (bewehrte Folien, beschichtete Gewebe, Seilnetze) werden nur auf Zug beansprucht, worin der Hauptvorzug dieser Konstruktionen besteht. Die Hauptbeanspruchungen der pneumatisch gespannten Membrankonstruktionen bestehen aus dem inneren Überdruck, der die Formstabilität des Bauwerks sicherstellt, und der Windeinwirkung.

Die Schnittkräfte in der Membran hängen von der Form (hauptsächlich von der relativen Höhe), der Größe und Art der Verteilung des Winddrucks und des Luftüberdrucks unter der Membran ab; das Luftüberdruckniveau bestimmt sich in beträchtlichem Maße durch die Stärke der äußeren Belastungen und in erster Linie durch die Windeinwirkung.

Bei pneumatischen Konstruktionen ergibt sich die Kraft T in erster Näherung aus:

$$T = k\,(p + Cq)\,r, \qquad (1)$$

hier bezeichnen r den Krümmungsradius der Schale in der untersuchten Richtung; p den Luftüberdruck unter der Schale; q den Geschwindigkeitsdruck des Windes; k den von der Schalenform abhängigen Koeffizienten und C den aerodynamischen Faktor, der von der Art der Verteilung des Winddrucks an der Schalenoberfläche abhängt.

Der maximale Krümmungsradius der Schale, welcher ihre größte Spannweite bestimmt, ist

$$r = \frac{R_p}{k\,(p + Cq)}, \qquad (2)$$

wobei R_p der rechnerischen Festigkeit des Membranwerkstoffs entspricht.

Wenn man $C = 1$ wählt und von den normalen Rechenwerten $p = 300$ N/m^2 und $q = 500$ N/m^2 ausgeht, für die rechnerische Festigkeit (ohne Berücksichtigung des Alterns) 10 kN/m annimmt, dann erhält man für eine Kugelschale, bei der $k = 0{,}5$ ist,

$$r = \frac{10\,000}{0{,}5\,(300+500)} = 25 \text{ м.}$$

Bei diesen Ausgangswerten beträgt die maximale Spannweite einer halbkugelförmigen Membran $l = 2\,r = 50$ m. Wenn die Maße von pneumatischen Bauwerken weiter vergrößert werden sollen, dann ist eine entsprechende Steigerung der Werkstoffestigkeit erforderlich, was nicht immer technisch möglich oder wirtschaftlich sinnvoll ist.

Tabelle 1

Seilnetz	Bezeichnung d. Bauwerks	Land	Baujahr	Grundrißform	Maße, m: Länge	Maße, m: Breite o. Durchmesser	Maße, m: Höhe	rel. Höhe
ohne Seilnetz	Ausstell.halle	USA	1960	Kreis	—	50	28	0,58
	Antennenschutz	»	1962	»	—	64	49	0,76
	Kegelbahn	Japan	1966	Oval	100	57	21	0,37
	Fabrik	UdSSR	1969	»	60	30	20	0,67
	Ausstell.halle	DDR	1970	Kreis	—	52	18	0,35
	Eisbahn	Japan	1971	Oval	79	53	20	0,38
	Stadion	Finnland	1972	Kreis	—	73	24	0,33
Seilnetz	Getreidesilo	USA	1960	Kreis	—	60	—	—
	Ausstell.halle	Japan	1969	Ellipse	142	84	7	0,085
	unbekannt	Frankreich	1972	Quadrat	100	100	15	0,15
	Turnhalle	USA	1974	Kreis	—	65	4,8	0,074
			1975	Rechteck	90	59	7,2	0,122
	Stadion	USA	1975	Quadrat	129	129	14,6	0,113
			1976	Rechteck	220	168	15,2	0,09

Mit wesentlich mehr Erfolg kann das Problem, die Spannweite von Lufthallen zu vergrößern, dadurch gelöst werden, daß in die Konstruktion der Membranschale eine Art "weiches Skelett" aus Stahl- oder Nylonseilen eingefügt wird, wobei die Seile einzeln oder zu einem Netz verflochten sein können (Tab. 1). Dabei werden die Kräfte primär durch die Seile übertragen, die Membran hingegen hat die Aufgabe der lokalen Lastübertragung in den Bereichen zwischen den Seilen (Abb. 1).

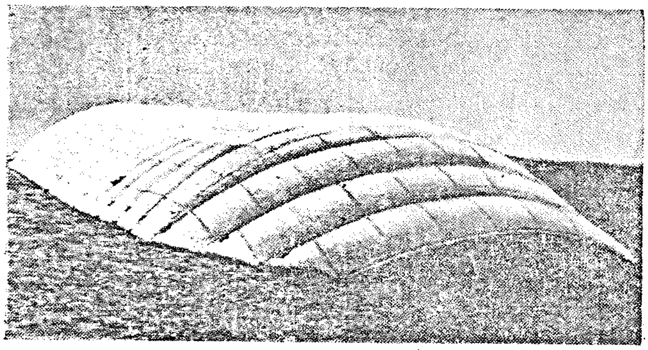


Abb. 1. Modell (1 : 10) einer pneumatischen gespannten Stadionüberdachung mit den Grundrißabmessungen 86 x 183 m^2 mit einzelnen Ringseilen zur Verstärkung (Autor: V.S. Poljakov).

Die maximale Spannweite halbkugeligen Membranschale beträgt:

$$l = 2r = \frac{2T_s}{uk\,(p + Cq)}, \qquad (5)$$

mit u Gitterabstand; T_s rechnerischer Widerstand eines Seiles.

Bei $u = 6$ m, $T_s = 1\,200$ kN und dem früheren Wert $p + Cq = 800$ N/m^2 ist

$$l = \frac{2 \cdot 1\,200\,000}{6 \cdot 0{,}5 \cdot 800} = 1000 \text{ м.}$$

Die Membranspannung an der Stelle stärkster Druckbelastung, wo die Gesamtbelastung bis zu $p + Cq = 300 + 1{,}4 \cdot 500 = 1$ kN/m^2 reichen kann und der Krümmungsradius einer lokalen Ausbuchtung von 6 m $r = 7{,}8$ m beträgt, ist gleich:

$$T = (p + Cq)r/2 = 1 \cdot 7{,}8/2 = 3{,}9 \text{ kN/m.}$$

In einer Schale ohne Verstärkung beträgt sie

$$T = 80 \cdot 500/2 = 200 \text{ kN/m.}$$

Wenn wir den Gleichmäßigkeitsgrad (K_{gl} = 0,5) und den Längenfestigkeitskoeffizienten (K_l = 0,5) berücksichtigen, kommen wir zu der Schlußfolgerung, daß in diesem Fall ein Werkstoff mit einer Festigkeit von 800 kN/m erforderlich wäre, d.h. daß dies gegenwärtig völlig irreal ist. Wie die oben angeführten einfachen Berechnungen jedoch zeigen, können zur Überbrückung von kilometerlangen Spannweiten Stahlseile mit normaler Festigkeit und billige weniger feste Folien mit niedrigen Moduln verwendet werden. Als Beispiel kann das Projekt "Stadt in der Arktis" dienen, das von einer internationalen (BRD, Japan,Großbritannien) Gruppe unter der Leitung von Prof. Frei Otto [2] mit größter Sorgfalt erarbeitet wurde. Die kuppelförmige Membranschale hat einen Durchmesser von 2 000 bei 240 m Höhe. Als lastabtragendes Primärsystem dient ein Seilnetz aus synthetischen Fasern und als Außenhaut eine zweischichtige lichtdurchlässige Folie. Man nimmt an, daß die Industrie im Jahre 1980 in der Lage sein kann, Herstellung und Montage dieses Bauwerks sicherzustellen.

Auf pneumatische Bauwerke mit großen Spannweiten sind die Proportionen von kleinen Konstruktionen nicht anwendbar. Wenn eine Höhe von 10 - 15 m in der Spitze für eine Spannweite von 30 m selbstverständlich und zuweilen funktional notwendig ist, so ist eine Höhe von 100 - 150 m bei einer Spannweite von 300 m unsinnig.

Untersuchen wir das Problem der optimalen Konstruktionshöhe. Als Beispiel nehmen wir eine Kugelmembran, wobei wir annehmen, daß die dafür ermittelten wichtigsten Schlußfolgerungen auch für die übrigen Formen richtig sind. Wenn man den inneren Luftdruck für den maßgeblichen Faktor des Spannungszustandes einer solchen Membran hält, dann kann man zu der Schlußfolgerung kommen, daß die der kleinsten Kraft in der Membran entsprechende Höhe gleich der halben Spannweite oder dem Kugelradius ist. Wenn man dementgegen die Höhe der Schale verringert, dann führt dies dazu, daß ihr Krümmungsradius größer wird und folglich dementsprechend die Kräfte zunehmen. Dabei wird jedoch die Oberfläche der Schale kleiner; und wenn man sich die Aufgabe stellt, eine Membran mit geringster Masse zu erzeugen, dann hat die Massenfunktion - wie aus [3] hervorgeht - bei $h = l/2\sqrt{3} = 0{,}288\, l$ ein Minimum.

Die Berücksichtigung der Windeinwirkung hat bedeutenden Einfluß auf die Lösung des Problems der optimalen Schalenhöhe. Gegenwärtig gibt es leider noch keine verallgemeinerten Angaben über die Aerodynamik von pneumatischen Konstruktionen, und in allgemeiner Form läßt sich diese Aufgabe bislang nicht lösen. Nichtsdestoweniger sind die qualitativen Folgen einer Verringerung der Schalenhöhe im Grundsätzlichen bekannt:

1) die Stärke des Winddrucks nimmt etwas ab, wodurch sich der innere Luftdruck dementsprechend verringern läßt;

2) der Bereich mit Winddruckbeanspruchung wird wesentlich kleiner, und infolgedessen tritt Windsog als hauptsächliche Windeinwirkung auf;

3) die Stärke des Windsoges nimmt ebenfalls ab, was eine entsprechende Verminderung der Membranspannungen zur Folge hat.

Wenn es experimentelle Angaben über die Aerodynamik von Kugelkuppeln gäbe, dann könnte man diese Aufgabe lösen. Wir benutzen die Ergebnisse aus Windkanalversuchen an Kugelmodellen mit unterschiedlicher relativer Höhe, die von V.I. Nikulin [4] und F.G. Macher [5] gewonnen wurden. Sie sind in Tab. 2 angegeben, wobei C_{max} und C_{min} die absolut größten aerodynamischen Koeffizienten des positiven und negativen Winddrucks bezeichnen.

Tabelle 2

h/l	h/r	c_{max}	c_{min}
0,500	1,000	0,7	—1,15
0,500	1,000	0,75	—1,00
0,250	0,400	0,4	—0,75
0,170	0,207	0,3	—0,55
0,125	0,118	0,3	—0,70
0,097	0,0725	0,2	—0,30
0,073	0,0418	0,1	—0,27
0,053	0,0222	0,1	—0,21

Näherungsweise kann man annehmen (Abb. 2), daß

$$C_{max}=\sqrt{2h/5r}\,; \qquad (4)$$

$$|C_{min}|=\sqrt{3h/2r}. \qquad (5)$$

Die Schalenmasse ist gleich

$$m = Sd\rho, \tag{6}$$

wobei S die Oberfläche; d die Schalendicke und ρ die spezifische Masse des Werkstoffs bezeichnen.

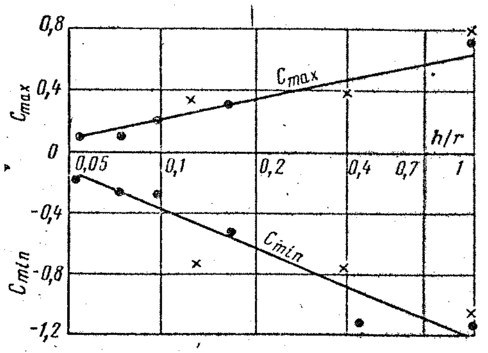


Abb. 2. Abhängigkeit der aerodynamischen Koeffizienten C_{max} und C_{min} von h/r (x - nach V.I. Nikulin; ● - nach F.G. Macher).

Ihrerseits sind

$$S = 2\,\pi\,r\,h; \tag{7}$$

$$d = T/R_p. \tag{8}$$

Nach (1) ist bei k = 0,5

$$T = \frac{pr}{2} + |C_{min}|\frac{qr}{2}$$

oder, wenn man den Ausdruck C_{min} aus (5) einsetzt,

$$T = \frac{pr}{2} + q\sqrt{\frac{3}{8}rh}. \tag{9}$$

Unter Berücksichtigung von (7) - (9) erhält der Ausdruck für die Masse die Gestalt

$$m = \frac{\pi\rho}{R_p}\left[pr^2h + q\sqrt{\frac{3}{2}}\left(\frac{r}{h}\right)^{3/2}\right].$$

Nach Auffinden des Extremums der Funktion m = m(h) erhalten wir den Ausdruck für die optimale relative Höhe einer Kugelschale:

$$h/l=\varkappa/\sqrt{27-\varkappa^2}, \qquad (10)$$

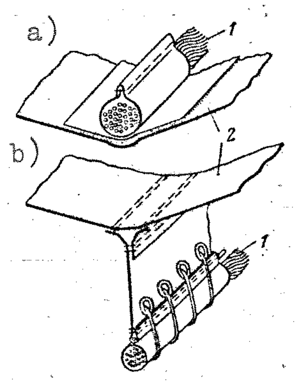
mit $\varkappa=p/q$.

Durch Untersuchungen in vielen Ländern, unter anderem auch in der UdSSR, wurde festgestellt, daß der Wert $\varkappa$ für halbkugelförmige und flachere pneumatische Schalen nach den Bedingungen der allgemeinen und lokalen Festigkeit eines Bauwerks innerhalb von 0,7 - 0,8 liegen muß. Dementsprechend können wir nach Gleichung (10) feststellen, daß die optimale Schalenhöhe 14 - 16 % von der Spannweite (dem Druchmesser des Fundaments) beträgt. Bei weiterem Verringern der Bauhöhe kann der Bereich der aktiven Winddruckbelastung völlig verschwinden. Dann kann man den Innendruck bis auf ein Niveau senken, das demjenigen bei Windstille entspricht.

Eine der größten pneumatischen Konstruktionen ist das Ausstellungsgebäude der USA auf der EXPO-70 mit 84 m Spannweite und einer Schalenpfeilhöhe von 7 m ; es wurde auf einem 4 - 8 m hohen Erdwall zusammengebaut. Deshalb fiel der Bereich der Winddruckbelastung auf die Aufschüttung, und auf die Schale wirkt nur Sog ein. Nach den Berechnungen des dieses Projekt leitenden Ingenieurs D.H. Geiger [6] kann die relative Schalenhöhe in solchen Fällen auf (0,05 - 0,07) l verringert werden. Die Schalenkonstruktion des Ausstellungsgebäudes auf der EXPO-70 war so gelungen und durchdacht, daß in den USA während der letzten drei Jahre nach demselben Verfahren vier Stadien überdacht wurden (siehe Tab. 1). Die Spannweite des größten Stadions beträgt 168 m.

Abb. 3. Zwei Möglichkeiten zur Anbringung der Verstärkungsseile

a) über der Membran; b) unter der Membran; 1 - Seil; 2 - Membran.



Ganz wesentlich ist das Problem der Verbindung der Seile mit der Membran (Abb. 3). Wünschenswert (jedoch nicht obligatorisch) ist, daß die Hauptrichtung der Seile mit den Trajektorien der größten Spannungen übereinstimmt. In Zylinderschalen, bei denen die Ringkräfte größer sind als die Meridionalkräfte, verläuft die Hauptrichtung der Seile in Ringrichtung. Dem rautenförmigen Netz jedoch, das etwas in Ringrichtung gestreckt ist, ist eine Verminderung der Meridionalkräfte förderlich. Ein rautenförmiges Netz ist auch bei Membranen mit rechtwinkligem (darunter quadratischem) oder elliptischem Grundriß vernünftig. Membranen mit rundem Grundriß, insbesondere kugelförmige, bei denen die Kräfte in jedem beliebigen Punkt beliebige Richtungen haben, die in der Regel beinahe gleich groß sind, benötigen ein in allen Richtungen gleich festes Netz, das bei kugelförmigen Membranen meridional oder bei flachen gewölbten Membranen dreieckig sein kann. Unter Vernachlässigung der besonderen Geometrie und der Schönheit eines Meridian-Ringseilnetzes sind die Vorzüge eines rautenförmigen oder dreieckigen Systems zu berücksichtigen, die darin bestehen, daß die Seilführung einfach und durchgehend ist, also die einander gegenüberliegenden Punkte von Stützlinien in einer stetigen Kurve ununterbrochen verbunden werden. Wenn wir die beiden letzten Netzmuster miteinander vergleichen, dann muß man beim Dreiecksnetz eine größere "Oberflächensteifigkeit" feststellen, was bei Horizontalbelastungen eine bestimmte Rolle spielt, indem es der Membran eine größere Steifigkeit gegen Tangentialkräfte verleiht. Im Hinblick auf die ungleichmäßige Verteilung der Verstärkungsteile an der Schalenoberfläche kann eine Anbringung der Seile in Form eines Tschebyscheff-Netzes oder eine meridionale und ringförmige Anordnung nicht empfohlen werden.

Besondere Bedeutung kommt den Problemen zu, die entstehen, wenn Membranbaustoffe, die stark ausgeprägte Merkmale orthogonaler Anisotropie besitzen, verwendet werden. Dann ist eine Ausrichtung der Seile sinnvoll, bei der der Spannungszustand der Membran einachsig wird. Zylindrische Membranen werden in diesem Fall "wellig" und kugelige "schirmförmig". Wie in [2] dargestellt, wird die

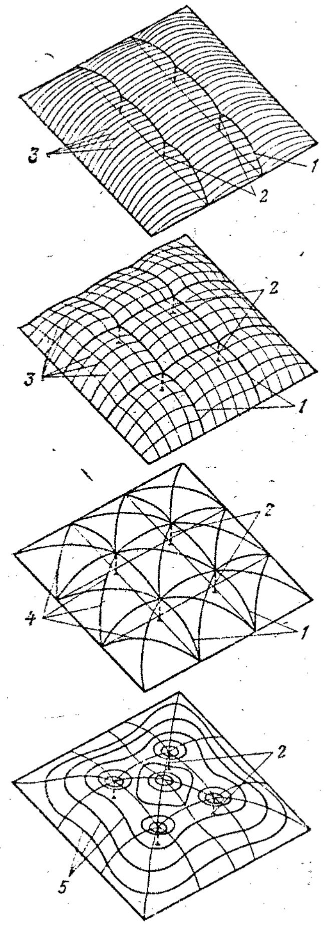


Abb. 4. Varianten der Anordnung der Verstärkungsseile und -netze an der Membranfläche

1 - Primärseile; 2 - Verankerung; 3 - Sekundärseile; 4 - Diagonalseile; 5 - Höhenlinien (ungefähr).

Wellenhöhe einer zylindrischen Membran durch die Bedingung eingeschränkt, daß in ihr keine querlaufenden Wellen vorhanden sind, d.h. daß es in Ringrichtung nur unmerkliche Zugkräfte gibt. Diese Bedingung hat folgende Gestalt:

$$f < u^2/4R,$$

mit f Wellenhöhe; u Abstand der Ringseile; R Krümmungsradius des Seiles.

Das Problem der Verbindungskonstruktion der Seile mit der Membran (oben: über der Membran, unten: unter der Membran) läßt sich je nach den technologischen und konstruktiven Besonderheiten des konkreten Objekts lösen. Die Anordnung der Seile über der Membran (Abb. 3a) zeichnet sich durch Einfachheit der Konstruktion und direkte Kraftübertragung von der Membran auf das Netz aus. Wenn sich das Seilnetz auf der Membranoberfläche befindet, dann unterstützt dies gleichzeitig die Schneehaftung, außerdem sind die

Seile direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt,was bei der Verwendung von synthetischen Werkstoffen äußerst unerwünscht ist. Bei der Anordnung der Seile unter der Membran (Abb. 3b) werden diese Nachteile beseitigt; jedoch wird die Konstruktion durch eingefügte Verbindungselemente (Stoffbahnen, Verschnürungen und dgl., komplizierter. Unter ungünstigen Bedingungen können sie abreißen.

Wenn es notwendig ist, den Innenraum unter der Membran durch Trennwände aufzuteilen, dann können dafür weiche Membranen dienen, durch die die Querseile genauso gehalten werden, wie Querbalken durch Wände gestützt werden. Membranwände bleiben immer eben, wenn der Luftdruck auf beiden Seiten gleich ist; zu diesem Zweck können sie mit einer oder mehreren Öffnungen versehen werden.

Aufgrund der Vorbetrachtungen zum Problem der Überdachung mit luftgestützten Membranen großer Spannweite kann man zu den folgenden Schlußfolgerungen kommen.

1. Der aussichtsreichste Weg zur Herstellung von pneumatischen Bauwerken mit großen Spannweiten besteht in der Verwendung von Verstärkungsseilen oder Seilnetzen.
2. Auf dieser Basis wurden gegenwärtig Membrankonstruktionen gebaut, die Spannweiten bis zu 200 m haben; es wurden auch Projekte mit einem Durchmesser bis 2 000 m ausgearbeitet.
3. Die optimale relative Höhe von pneumatischen Konstruktionen mit großen Spannweiten beträgt 10 - 15 % von der Spannweite.
4. Für im Grundriß rechteckige und elliptische Membranen empfiehlt sich ein rautenförmiges Schema zur Anordnung der Seile, für runde hingegen ein dreieckiges.
5. Für einachsig gespannte Zylindermembranen wird eine Anbringung der Seile in Ringrichtung (siehe Abb. 1) empfohlen und für Kugelschalen eine meridionale.
6. Wenn es möglich ist, Innenstützen zu verwenden, dann wird ein System von Längs- und Querseilen empfohlen, wobei das Wasser über eine Zugverankerung mit rohrförmigem Querschnitt abgeleitet wird.

Literaturverzeichnis

1. Quarmby A. Redevelopment of the building industry.— In: «Space Structures», Oxford, 1967.

2. Arctic Cities. (Frei Otto with Ewald Bubner and the Warmbronn Studio (Stuttgart) is responsible for the control and coordination of the project).
In: Architectural Design. London, 41 (1971), Nr 6, S. 329 - 333.

3. Пневматические конструкции воздухоопорного типа. Под ред. В. В. Ермолова. М., Стройиздат, 1973.
Pnevmatičeskie konstrukcii vozduchoopornogo tipa. Pod red. V.V. Ermolova.
Moskva: Verlag Strojizdat, 1973.
⟨Luftgestützte Membranschalen, russ.⟩

4. Никулин В. И. Действие ветровой нагрузки на воздухоопорные сферические оболочки. Сообщения лаборатории мягких оболочек. Вып. 12. Владивосток, 1970.
Nikulin, V.I.: Dejstvie vetrovoj nagruzki na vozduchoopornye sferičeskie oboločki.
In: Soobščenija. Laboratorija mjagkich oboloček. Vladivostok, 12 (1970), S. 112 - 127.
Deutsche Übersetzung:
Wirkung der Windbelastung auf luftgestützte kugelförmige Membranschalen. - Übersetzung Nr. 198 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 14 Seiten.

5. Macher F. G. Wind loads on basic domes shapes. Proceedings of the ASME, ST3, June 1965.

6. Geiger D. H. Pneumatic Structures. «Progressive Architecture», № 8, 1965.

Stuttgart, den 2.Februar 1979

übersetzt von
Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer

Nachtrag zur Übersetzung Nr. 186

Ermolov, V.V.: Zur Problematik von luftgestützten Membranschalen großer Spannweite

S. 12:

4. Никулин В. И. Действие ветровой нагрузки на воздухоопорные сферические оболочки. Сообщения лаборатории мягких оболочек. Вып. 12. Владивосток, 1970.

Nikulin, V.I.: Dejstvie vetrovoj nagruzki na vozduchoopornye sferičeskie oboločki.
In: Soobščenija. Laboratorija mjagkich oboloček. Vladivostok, 12 (1970), S. 112 - 127.
Deutsche Übersetzung:
Wirkung der Windbelastung auf luftgestützte kugelförmige Membranschalen. - Übersetzung Nr. 198 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 14 Seiten.

5. Macher F. G. Wind loads on basic domes shapes. Proceedings of the ASME, ST3, June 1965.

6. Geiger D. H. Pneumatic Structures. «Progressive Architecture», № 8, 1965.

Stuttgart, den 2.Februar 1979

übersetzt von
Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer