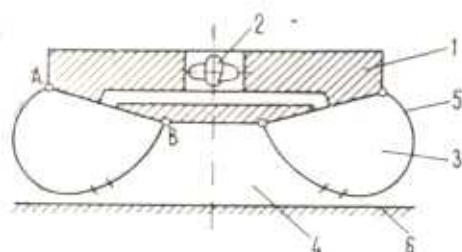


А. А. ЧАХОЯН

## ДЕФОРМАЦИИ ГИБКОГО ОГРАЖДЕНИЯ АППАРАТА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ

1. Аппараты на воздушной подушке (грузовые автомобили, суда) являются новым и перспективным транспортным средством. Обычная схема современных аппаратов на воздушной подушке (АВП) дана на фиг. 1. Здесь: 1—корпус АВП, 2—вентилятор, 3—ресивер, 4—воздушная подушка, 5—гибкое ограждение, 6—экран [1].



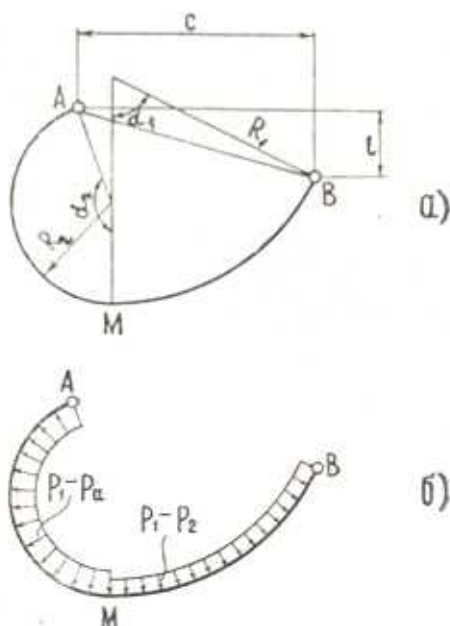
Фиг. 1.

Среди различных проблем, связанных с проектированием и эксплуатацией АВП, важное место занимает проблема их устойчивости и колебаний [2]. Так как при ее решении необходимо учитывать податливость гибкого ограждения, то возникает задача определения деформаций гибкого ограждения, вызываемых изменениями давлений в ресивере и подушке. Ниже рассматривается эта задача; прежде всего, определяется форма гибкого ограждения в равновесном положении АВП, а затем находятся деформации гибкого ограждения при изменении давления.

Будем считать, что даны размеры  $l$  и  $s$ , а также полная длина дуги оболочки  $L$  (фиг. 2а). При расчете параметров, определяющих форму гибкого ограждения, ограждение рассматривается как цилиндрическая безмоментная нерастяжимая оболочка; вес гибкого ограждения не учитывается. При этом оболочка образуется сопряжением двух круговых цилиндров различных радиусов  $R_1$  и  $R_2$ . Границе между цилиндрами соответствует образующая, в которой касательная плоскость горизонтальна (см. точку  $M$ ). Давление воздуха в ограждении обозначается через  $p$ , причем величина  $p_1$  в равновесном положении АВП обозначена через  $p_{10}$ , а избыточное давление в равновесном положении АВП — через  $p_{10}^*$ . Через  $p_2$ ,  $p_{20}$  и  $p_{20}^*$  обозначены соответствующие величины для воздушной подушки, а через  $\bar{p} = (p_2 - p_a)/(p_1 - p_a)$  — коэффициент перепада давления между подушкой и ресивером. Все рассуждения будут относиться к элементу оболочки, размер которого вдоль образующей равен единице. В общем случае внутри элемен-

та действует давление  $p_1$ , а внешнее давление имеет два значения — в правой части давление  $p_2$ , а в левой — атмосферное давление ( $p_a$ ) (фиг. 2б).

2. Рассмотрим форму гибкого ограждения в равновесном состоянии АВП (когда  $p_{20} > p_a$ ), которая определяется четырьмя параметрами: радиусами правой и левой частей  $R_{10}$  и  $R_{20}$ , а также углами  $\alpha_{10}$  и  $\alpha_{20}$ . Коэффициент давления в равновесном состоянии АВП будет  $\bar{p} = (p_{20} - p_a) / (p_{10} - p_a) = p_2^+ / p_{10}^+$ .



Фиг. 2.

Из теории безмоментных оболочек имеем связь между окружным нормальным напряжением  $\sigma$  с давлением внутри элемента  $p$  и радиусом кривизны  $R$

$$\sigma = pR \quad (2.1)$$

По условию сопряжения цилиндров напряжения слева и справа точки  $M$  равны, то есть

$$(p_{10} - p_a) R_{20} = (p_{10} - p_{20}) R_{10} \quad (2.2)$$

Вводя обозначения  $a_0 = 1 - \bar{p}_0$ ,  $c_1 = l/L$ ,  $c_2 = c/L$ , получим два уравнения для определения углов  $\alpha_{10}$  и  $\alpha_{20}$ .

$$a_0 (1 - \cos \alpha_{20}) + \cos \alpha_{10} - 1 = c_1 (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20}) \quad (2.3)$$

$$a_0 \sin \alpha_{20} + \sin \alpha_{10} = c_2 (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20})$$

и два уравнения, определяющие радиусы  $R_{10}$  и  $R_{20}$

$$R_{10} = L / (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20}), \quad R_{20} = a_0 L / (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20}) \quad (2.4)$$

3. При отклонениях от равновесного состояния АВП, когда в ресивере и в воздушной подушке приращения давления соответственно равны  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$ , коэффициент давления определяется

$$\bar{p} = \frac{p_2 - p_a}{p_1 - p_a} = \frac{p_{20}^+ + \Delta p_2}{p_{10}^+ + \Delta p_1}$$

а в линейном приближении

$$\bar{p} = \frac{\bar{p}_0}{p_{20}^+} [p_{20}^+ + (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1)]$$

Изменение коэффициента давления будет

$$\Delta \bar{p} = \bar{p} - \bar{p}_0 = \frac{\bar{p}_0}{p_{20}^+} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1) \quad (3.1)$$

В неравновесном состоянии АВП вместо (2.3) будет

$$\begin{aligned} \alpha(1 - \cos \alpha_2) + \cos \alpha_1 - 1 &= c_1(x_1 + \alpha x_2) \\ \alpha \sin \alpha_2 + \sin \alpha_1 &= c_2(x_1 + \alpha x_2) \end{aligned}$$

где  $\alpha = 1 - \bar{p} = a_0 - \Delta \bar{p}$ , а вместо (2.4) будет

$$R_1 = L/(x_1 + \alpha x_2), \quad R_2 = \alpha L/(x_1 + \alpha x_2)$$

Полагая

$$\begin{aligned} x_1 &= x_{10} + \Delta x_1 \\ x_2 &= x_{20} + \Delta x_2 \\ R_1 &= R_{10} + \Delta R_1 \\ R_2 &= R_{20} + \Delta R_2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

и считая отклонения малыми по сравнению с равновесными значениями, получим с учетом (2.3) два уравнения для определения приращения углов  $\Delta \alpha_1$  и  $\Delta \alpha_2$

$$(\sin \alpha_{10} + c_1) \Delta \alpha_1 - a_0 (\sin \alpha_{20} - c_1) \Delta \alpha_2 = (\cos \alpha_{20} + c_1 x_{20} - 1) \Delta \bar{p}$$

$$(\cos \alpha_{10} - c_2) \Delta \alpha_1 + a_0 (\cos \alpha_{20} - c_2) \Delta \alpha_2 = (\sin \alpha_{20} - c_2 x_{20}) \Delta \bar{p}$$

и два соотношения, определяющие приращения радиусов  $\Delta R_1$  и  $\Delta R_2$

$$\Delta R_1 = (x_{20} \Delta \bar{p} - \Delta x_1 - a_0 \Delta x_2) R_{10}' / (x_{10} + a_0 x_{20})$$

$$\Delta R_2 = (x_{20} \Delta \bar{p} - \Delta x_1 - a_0 \Delta x_2) R_{20}' / (x_{10} + a_1 x_{20}) - R_{10} \Delta \bar{p}$$

Вводя обозначения

$$K_1^{\alpha} = \frac{1 - (c_1 + c_2 x_{20}) \sin \alpha_{20} + (c_1 x_{10} - c_2 - 1) \cos \alpha_{20} + c_2}{\sin (x_{10} + x_{20}) + c_1 (\cos \alpha_{20} - \cos \alpha_{10}) - c_2 (\sin \alpha_{10} + \sin \alpha_{20})}$$

$$K_2^a = \frac{c_2 (\cos \alpha_{20} - \alpha_{20} \sin \alpha_{10} - 1) + c_1 \sin \alpha_{20} - \cos (\alpha_{10} + \alpha_{20}) - (c_1 \alpha_{20} - 1) \cos \alpha_{10}}{[\sin (\alpha_{10} + \alpha_{20}) + c_1 (\cos \alpha_{20} - \cos \alpha_{10}) - c_2 (\sin \alpha_{10} + \sin \alpha_{20})] a_0}$$

$$k_1^R = (\alpha_{20} - k_1^a - a_0 k_2^a) / (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20})^2 \quad (3.3)$$

$$k_2^R = (\alpha_{20} - k_1^a - a_0 k_2^a) a_0 / (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20})^2 - 1 / (\alpha_{10} + a_0 \alpha_{20})$$

и учитывая (3.1), получаем

$$\Delta z_1 = k_1^R \frac{\bar{p}_0}{p_{20}} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1)$$

$$\Delta z_2 = k_2^R \frac{\bar{p}_0}{p_{20}} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1) \quad (3.4)$$

$$\Delta R_1 = k_1^R L \frac{\bar{p}_0}{p_{20}} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1)$$

$$\Delta R_2 = k_2^R L \frac{\bar{p}_0}{p_{20}} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1)$$

Выражениями (3.3) и (3.4) полностью определяются искомые приращения геометрических параметров в зависимости от приращений давлений  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$ .

4. Найдем изменение объема ресивера и уровня расположения точки  $M$  в зависимости от приращений давления. В равновесном состоянии АВП объем ресивера  $V_{10}$  можно определить по выражению  $V_{10} = F_{10} \cdot b$ , в котором  $F_{10}$  — площадь поперечного сечения ресивера при равновесном состоянии АВП

$$F_{10} = \frac{1}{2} [R_{10}^2 (\alpha_{10} - \sin \alpha_{10}) + R_{20}^2 (\alpha_{20} - \sin \alpha_{20})] +$$

$$+ \frac{1}{2} R_{10} R_{20} [\sin \alpha_{10} + \sin \alpha_{20} - \sin (\alpha_{10} + \alpha_{20})]$$

$b$  — длина осевой линии гибкого ограждения (по периметру). В неравновесном состоянии АВП площадь поперечного сечения ресивера будет

$$F_1 = \frac{1}{2} [R_1^2 (\alpha_1 - \sin \alpha_1) + R_2^2 (\alpha_2 - \sin \alpha_2)] +$$

$$+ \frac{1}{2} R_1 R_2 [\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 - \sin (\alpha_1 + \alpha_2)]$$

Приращение объема ресивера в неравновесном состоянии АВП  $\Delta V_1 = \Delta F_1 \cdot b$ , причем (в линейном приближении)

$$\Delta F_1 = F_1 - F_{10} = k_1^R L^2 \frac{\bar{p}_0}{p_{20}} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1) \quad (4.1)$$

где

$$k_1^F = |2(\alpha_{10} - \sin \alpha_{10}) k_1^R + 2a_0(\alpha_{20} - \sin \alpha_{20}) k_2^R + \\ + [\sin \alpha_{10} + \sin \alpha_{20} - \sin(\alpha_{10} + \alpha_{20})] (a_0 k_1^R + k_2^R) / 2(\alpha_{10} + \\ + \alpha_0 \alpha_{20}) + |[(a_0 - 1) \cos \alpha_{10} + 1 - a_0 \cos(\alpha_{10} + \alpha_{20})] k_1^z + \\ + a_0 [(1 - a_0) \cos \alpha_{20} + a_0 - \cos(\alpha_{10} + \alpha_{20})] k_2^z / 2(\alpha_{10} + \alpha_0 \alpha_{20})^2$$

Изменение уровня расположения образующей М в неравновесном состоянии АВП

$$d = R_{10}(1 - \cos \alpha_{10}) - R_1(1 - \cos \alpha_1)$$

или, в линейном приближении

$$d = k^d L \frac{\bar{p}_0}{p_{20}} (\Delta p_2 - \bar{p}_0 \Delta p_1) \quad (4.2)$$

где

$$k^d = k_1^R \{ \cos \alpha_{10} - 1 \} - (k_1^z \sin \alpha_{10}) / (\alpha_{10} + \alpha_0 \alpha_{20})$$

В табл. 1—3 приведены значения безразмерных коэффициентов  $k_1^F$  и  $k^d$  для значений  $\bar{p}_0 = 0.25, 0.5, 0.75$ .

Таблица 1

		$\bar{p}_0 = 0.25$				
$\alpha_1$	$\alpha_2 = 0.2$	0.3	0.4	0.5	0.6	
0.02	$-k_1^F$	0.0284	0.0202	0.0151	0.0116	0.0090
	$k^d$	0.1854	0.0929	0.0546	0.0352	0.0240
0.04	$-k_1^F$	0.0261	0.0194	0.0148	0.0114	0.0089
	$k^d$	0.1951	0.1029	0.0618	0.0404	0.0278
0.06	$-k_1^F$	0.0238	0.0185	0.0143	0.0112	0.0088
	$k^d$	0.1986	0.1107	0.0681	0.0451	0.0314
0.08	$-k_1^F$	0.0215	0.0175	0.0138	0.0109	0.0086
	$k^d$	0.1974	0.1164	0.0735	0.0495	0.0348
0.10	$-k_1^F$	0.0193	0.0164	0.0133	0.0106	0.0084
	$k^d$	0.1927	0.1201	0.0779	0.0533	0.0379

Таблица 2

		$\bar{p}_0 = 0.5$				
$c_1$		$c_2 = 0.2$	0.3	0.4	0.5	0.6
0.02	$-k_1^F$	0.0721	0.0640	0.0514	0.0406	0.0319
	$k^d$	0.4226	0.2651	0.1676	0.1109	0.0759
0.04	$-k_1^F$	0.0638	0.0597	0.0493	0.0395	0.0313
	$k^d$	0.3894	0.2617	0.1713	0.1156	0.0802
0.06	$-k_1^F$	0.0565	0.0554	0.0470	0.0383	0.0306
	$k^d$	0.3582	0.2559	0.1734	0.1195	0.0841
0.08	$-k_1^F$	0.0504	0.0512	0.0446	0.0369	0.0297
	$k^d$	0.3294	0.2485	0.1741	0.1224	0.0873
0.10	$-k_1^F$	0.0449	0.0473	0.0422	0.0354	0.0288
	$k^d$	0.3031	0.2398	0.1735	0.1245	0.0901

Таблица 3

		$\bar{p}_0 = 0.75$				
$c_1$		$c_2 = 0.2$	0.3	0.4	0.5	0.6
0.02	$-k_1^F$	0.1018	0.1588	0.1643	0.1441	0.1180
	$k^d$	0.5751	0.6369	0.5173	0.3786	0.2689
0.04	$-k_1^F$	0.0941	0.1446	0.1530	0.1372	0.1140
	$k^d$	0.5220	0.5861	0.4933	0.3716	0.2693
0.06	$-k_1^F$	0.0870	0.1320	0.1424	0.1302	0.1097
	$k^d$	0.4775	0.5413	0.4697	0.3633	0.2685
0.08	$-k_1^F$	0.0804	0.1207	0.1323	0.1232	0.1052
	$k^d$	0.4392	0.5013	0.4465	0.3539	0.2665
0.10	$-k_1^F$	0.0743	0.1105	0.1228	0.1162	0.1005
	$k^d$	0.4053	0.4653	0.4240	0.3436	0.2633

Ленинградский кораблестроительный институт

Поступила 4 II 1970

Ա. Ա. ՉԱԽՈՅԱՆ

ՕՐԱՆՅՈՒ ԲԱՐՁՐ ՎՐԱ ՍԱՐՔԻ ՃՆՈՒՆ ՊԱՐՍՊՄԱՆ ԳԵՖՈՐՄԱՅԻԱՆԵՐԸ  
ՃՆՇՄԱՆ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Գիտարկվում են օգտյին բարձի վրա սարքի ձևուն պարսպման դեֆորմացիաները բարձում և ռեօլիերում ձեւումների բլազի ստատիկ փոփոխման

գեպրում: Պարիսպը դիտարկվում է որպես անկշիռ գլանային անմոմենտ թաղանթը: Ստացված են հավասարակշիռ և անհավասարակշիռ վիճակներում սարքի պարսպման ձևը որոշող մեծությունների համար արտահայտություններ:

## DEFORMATION IN FLEXIBLE SKIRT OF THE AIR-CUSHION VEHICLE UNDER VARIATION IN PRESSURE

A. A. CHAKHOYAN

### S u m m a r y

The problem of changing the form of a flexible skirt of the air-cushion vehicle under variation of pressure in the air cushion and inside the flexible skirt is solved in a quasi-static statement.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Колываев Б. А., Косорухова А. И. и др. Особенности проектирования судов с новыми принципами движения. Л., Судостроение, 1974.
2. Маслов А. А., Пановко Я. Г. Колебания аппарата на воздушной подушке как твердого тела на обобщенном упруговязком основании. МТГ, 1975, № 4.