

УДК 539.3; 534.1.1.

*Незамолеслабий Р.Г.<sup>1</sup>, Есмаильзаде Хадем С.<sup>1</sup>, Шамарин Ю.Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Тарбиат модарес университет. Иран, г. Тегеран

<sup>2</sup>ООО "Центральное конструкторское бюро гидроакустики". Украина, г. Киев

### КОМПОЗИЦИОННЫЕ СЕТЧАТЫЕ КОНИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В КОРПУСАХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

*Рассмотрены предложения по созданию корпуса якорной гидроакустической станции из композиционного материала. Корпус может быть выполнен из цилиндрических и конических сетчатых композиционных оболочек, что позволяет снизить общий вес станции, повысить прочность конструкции и увеличить дальность действия станции за счёт оптимизации параметров звукового поля.*

Ключевые слова: гидроакустическая станция; корпус; композиционная оболочка; коническая конструкция; гидроакустика; радиобуй; звуковое поле; сетчатая структура

В судостроении для изготовления корпусов, палуб, контейнеров, оболочек и других конструкций часто применяют композиционные материалы.

Это связано с их высокой прочностью и малым удельным весом.

Кроме того, полимерные композиционные материалы на основе углеродистого волокна обладают и

другими высокими характеристиками: сопротивлением усталости, модулем упругости, химической и коррозионной стойкостью, в разы превышающими аналогичные показатели стали при существенно меньшей массе.

Кроме того, композитные конструкции обладают полифункциональными свойствами, т.е. свойствами, зависящими от компонентов материала, из которого они созданы. Всё это позволяет проектировать не только конструкцию из заданного материала, но и сам материал.

В гидроакустике использование композиционных сетчатых конструкций позволяет значительно уменьшить потери при прохождении звуковой волны через преграду двух сред, а коническая форма конструкции корпуса стационарной гидроакустической станции позволяет удалить от антенны жесткие металлические элементы конструкции, что также способствует уменьшению потерь и увеличению дальности действия гидроакустических станций.

В работе [1] дано описание якорной подводной станции с цилиндрическим корпусом.

На рис. 1 представлена конструктивная схема станции, а на рис. 2 её общий вид.

Конструктивно гидроакустическая станция (ГАС) содержит: аппаратный отсек 1, герметичные контейнеры 2, прикрепленные к аппаратному отсеку по его внешней стороне. Верхняя крышка 3 каждого герметичного контейнера зафиксирована с помощью ленты 4, один конец которой прикреплен к герметичному контейнеру, а другой к механизму пуска радиобуя (РБ), находящегося в аппаратном отсеке 1.

Механизм пуска РБ выполнен в виде цилиндра 5 и пружинного штока 6. Нижние крышки 7 герметичных контейнеров 2 зафиксированы с помощью накладок 8.

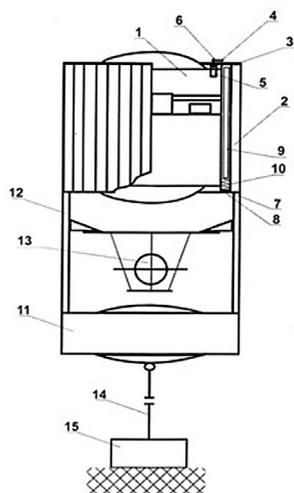


Рис. 1. Конструктивная схема якорной гидроакустической станции

Между верхними 3 и нижними 7 крышками в герметичных контейнерах установлены РБ 9, которые фиксируются с помощью пружин 10. Количество установленных РБ согласуется заказчиком и исполнителем.

Верхние и нижние крышки оборудованы уплотнительными кольцами.

Между отсеками 1 и 11 установлены кронштейны 12, на которых закреплена антенна 13. ГАС с помощью каната 14 крепится на якорю 15.

Якорная подводная станция, установленная на заданной глубине, ведет обзор и обработку гидроакустической информации, которая затем передается в радиобуй.

В необходимый момент по сигналу, переданному через плату управления, срабатывает механизм пуска радиобуя, который всплывает на морскую поверхность и передает информацию на береговой пост.

Глубина моря в месте постановки станции должна быть от 40 до 200 м, а её заглубление от поверхности воды от 20 до 60 м.

Дальность пеленгования подводного объекта водоизмещением не менее 1000 т, перемещающегося со скоростью не менее 2 м/с, должна быть не менее 4 км.

В корпусе ГАС размещены: векторно-фазовая антенна (ВФА), устройство аналогово-цифровой обработки (УАЦО), компас, источник электропитания и радиобуй с механизмами активизации.

ГАС имеет положительную плавучесть и удерживается на заданной глубине с помощью каната, закрепленного на якорю.

Как видно из рис. 1 и 2, антенна находится в цилиндрическом корпусе станции.

Следовательно, звуковое поле антенны при прохождении через металлическую тонкую перегородку теряет энергию порядка 10÷20 % [2].

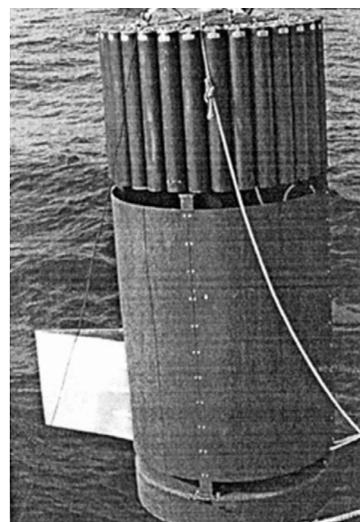


Рис. 2. Общий вид якорной подводной станции

Этого можно избежать, если корпус станции изготовить из углепластиковых сетчатых конструкций, т. е. из материала, имеющего волновое сопротивление, близкое по величине к волновому сопротивлению среды.

Конструктивно корпус гидроакустической станции может быть выполнен в виде соединенных между собой конических и цилиндрических углепластиковых сетчатых оболочек, что позволяет удалить от антенны другие узлы станции (рис. 3).

Композитный корпус состоит из трех частей: двух конических и одной цилиндрической. Наиболее ответственной является коническая часть с большей длиной, т. к. там находится цифровая аппаратура, которая не должна быть разгерметизирована при работе на заданных глубинах.

Рассмотрим усеченную коническую оболочку, показанную на рис. 4, для которой функционал потенциальной энергии деформации записывается в следующем виде [3].

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} \int_0^{2\pi \sin \alpha} \int_{S_1}^{S_2} (N_s \epsilon_s + N_\theta \epsilon_\theta + N_{s\theta} \gamma_{s\theta} + M_s \chi_s + \\ & + M_\theta \chi_\theta + 2M_{s\theta} \chi_{s\theta}) S dS d\theta + \\ & + \int_0^{2\pi \sin \alpha} \int_{S_1}^{S_2} (N'_s \epsilon'_s + N'_\theta \epsilon'_\theta + N'_{s\theta} \epsilon'_{s\theta}) S dS d\theta, \end{aligned} \quad (1)$$

здесь  $N_s, N_\theta, N_{s\theta}$  – дополнительные погонные усилия вдоль осей  $S$  и  $\theta$ ;  $M_s, M_\theta, M_{s\theta}$  – дополнительные погонные моменты относительно указанных осей, возникающие при потере устойчивости;  $N'_s, N'_\theta, N'_{s\theta}$  – погонные усилия в основном напряженном состоянии, определяемые внешней нагрузкой.

Для выражения удлинений, сдвига, изменения кривизны и кручения в срединной поверхности через перемещения используются известные упрощенные формулы в их приложении к коническим оболочкам.

$$\begin{aligned} \epsilon_s = \frac{\partial u}{\partial S}; \epsilon_\theta = \frac{1}{S} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u - w \cot \alpha \tan(\alpha)}{S}; \gamma_{s\theta} = \frac{\partial v}{\partial S} - \frac{v}{S} + \frac{1}{S} \frac{\partial u}{\partial \theta}; \\ \epsilon'_s = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial S} \right)^2; \epsilon'_\theta = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)^2; \gamma'_{s\theta} = \frac{\partial w}{\partial S} \left( \frac{1}{S} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right); \\ \chi_s = \frac{\partial^2 w}{\partial S^2}; \chi_\theta = \frac{1}{S} \frac{\partial w}{\partial S} + \frac{1}{S^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}; \chi_{s\theta} = \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{1}{S} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right), \end{aligned}$$

здесь  $\epsilon, \chi$  – компоненты мембранных деформаций и изменения кривизны оболочки.

Связь между усилиями и деформациями в срединной поверхности оболочки предполагается линейной по закону Гука и для ортотропной оболочки представляется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \epsilon_s = K_{11}(N_s - \mu_s N_\theta); \epsilon_\theta = K_{22}(N_\theta - \mu_\theta N_s); \gamma_{s\theta} = K_{33} N_{s\theta}; \\ M_s = D_{11}(\chi_s + \mu_\theta N_\theta); M_\theta = D_{22}(\chi_\theta + \mu_s N_s); M_{s\theta} = D_{33} \chi_{s\theta}, \end{aligned} \quad (2)$$

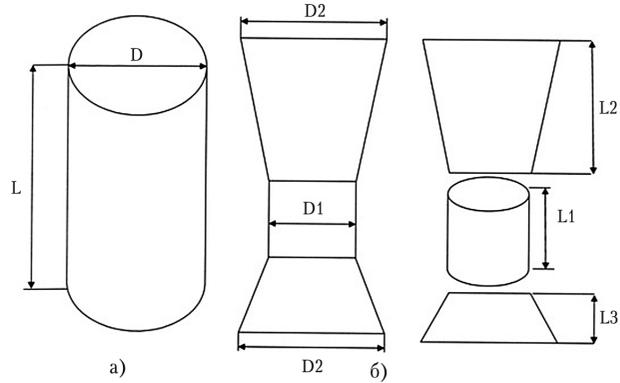


Рис. 3. Варианты исполнения корпуса якорной гидроакустической станции (а – цилиндрический металлический корпус; б – составной композитный корпус)

здесь:

$$\begin{aligned} K_{11} = \frac{1}{E_s h_t}; K_{22} = \frac{1}{E_\theta h_t}; K_{33} = \frac{1}{G h_t}; \\ D_{11} = \frac{E_s h_t^3}{12(1 - \mu_s \mu_\theta)}; D_{33} = G \frac{h_t^3}{6}. \end{aligned} \quad (4)$$

Надо отметить что в соотношениях (3) и (4),  $E_s, E_\theta$  – суммарный (сетчатая структура и обшивка) модуль упругости вдоль и поперек образующего,  $\mu_s, \mu_\theta$  – суммарный коэффициент Пуассона вдоль и поперек образующего,  $h_t$  – суммарная толщина оболочки,  $G$  – модуль сдвига,  $K$  – коэффициенты податливости,  $D$  – коэффициенты изгибной жесткости [3].

Вводим новую координату  $x = \ln S / S_1$ , т.е. полагаем  $S = S_1 e^x$ . Для уменьшения числа неизвестных вводится функция, через которую дополнительные погонные усилия  $N_s, N_\theta, N_{s\theta}$ , связанные между собой условиями равновесия элемента оболочки, обозначим следующим образом:

$$\begin{aligned} N_s = \frac{e^{-x}}{S_1^2} \left( \Phi + \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} \right); N_\theta = \frac{e^{-x}}{S_1^2} \left( \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right); \\ N_{s\theta} = -\frac{e^{-x}}{S_1^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial \theta}. \end{aligned} \quad (5)$$

В случае нагружения оболочки равномерным внешним давлением основное напряженное состояние определяется сжимающими мембранными усилиями  $N'_s$  и  $N'_\theta$  при отсутствии сдвигающего усилия, т.е. при  $N'_{s\theta} = 0$ .

Рассмотрим коническую оболочку под внешним давлением (Рис. 4) и запишем выражение для погонных усилий:

$$N'_s = -\frac{P \Psi}{2\pi R}; N'_\theta = -P_\theta R. \quad (6)$$

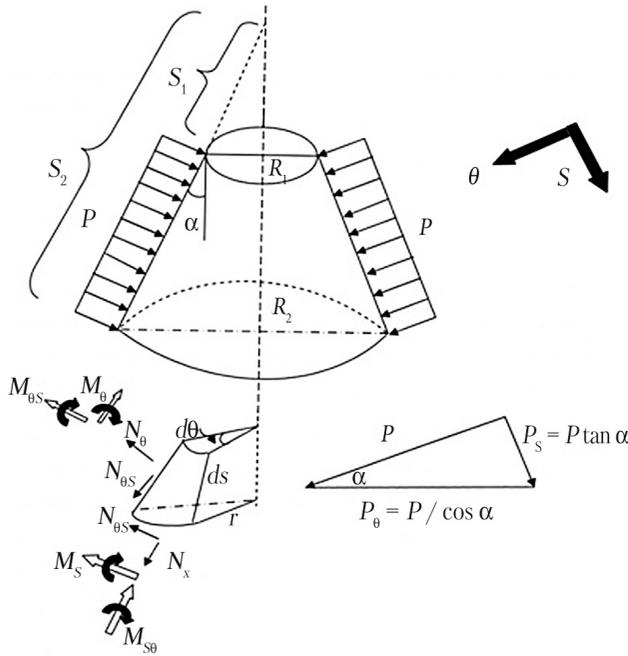


Рис. 4. Усеченная коническая оболочка

Здесь  $\psi = \pi(S^2 - S_1^2)\sin\alpha$  и является боковой поверхностью части усеченного конуса от меньшего основания с радиусом  $R_1$  до рассматриваемого сечения с радиусом  $R$ . Переходя к координате  $x$ , для выражений (6) получим:

$$N'_s = -\frac{1}{2}PS_1(e^x - e^{-x})\tan\alpha;$$

$$N'_\theta = -P_\theta S_1 e^x \tan\alpha. \quad (7)$$

После подстановки в уравнение (1) соотношений (2)–(7) получим выражение для потенциальной энергии деформации оболочки, которое зависит только от  $\Phi$  и  $w$  и преобразуется к виду:

$$\Pi = \frac{1}{2}S_1^2 \int_0^{2\pi\sin\alpha S_2} \int_{S_1}^{S_2} (K_{11}N_s^2 + K_{22}N_\theta^2 - 2\mu_s K_{11}N_s N_\theta + K_{33}N_{s\theta}^2) dx d\theta;$$

$$\times e^{2x} dx d\theta + \frac{1}{2}S_1^{-2} \int_0^{2\pi\sin\alpha S_2} \int_{S_1}^{S_2} \left\{ D_{11} \left[ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + 2\mu_\theta \times \right. \right.$$

$$\times \left. \left( \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + D_{22} \left( \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right)^2 +$$

$$+ 2D_{33} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \theta} - \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)^2 \left. \right\} e^{-2x} dx d\theta + \frac{1}{2} \int_0^{2\pi\sin\alpha} \left[ N'_s \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + N'_\theta \left( \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)^2 \right] dx d\theta;$$

и уравнение совместности деформации 4:

$$K_{22} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} - (K_{11} + K_{22}) \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + K_{11} \Phi + (K_{33} - 2\mu_s K_{11}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial \theta^2} +$$

$$+ 2K_{11} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} + K_{11} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \theta^4} = S_1 \cot\alpha (\alpha) \left( \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right).$$

Если на торцевых сечениях оболочки реализуются условия шарнирного опирания, то функция прогиба такой оболочки можно представить в следующем виде:

$$w = W \sin(\lambda x) \cos(\eta \theta), \quad (10)$$

где  $W$  – амплитуд прогиба,  $m, n$  – числа полуволн вдоль и поперёк образующей и  $\lambda = \frac{m\pi}{x_0}$ ;  $\eta = \frac{n}{\sin\alpha}$ .

Подставляя (10) в (9) получается:

$$\Phi = \frac{S_1 \cot\alpha W \lambda (\cos\lambda x + \lambda \sin\lambda x) \cos\eta \theta}{K_{22} \lambda^4 + (K_{11} + K_{22}) \lambda^2 + K_{33} - 2\mu_s K_{11} \lambda^2 \eta^2 + K_{11} (\eta^2 - 1)}. \quad (11)$$

В результате после несложных математических преобразований получим выражения для потенциальной энергии деформации оболочки:

$$\Pi = \frac{1}{4} W^2 \pi \sin\alpha \times$$

$$\times \left\{ \frac{x_0 \lambda^2 (1 + \lambda^2) \cot^2 \alpha}{K_{11} [(\eta^2 - 1)^2 + \lambda^2 (1 - 2\mu_s \eta^2)] + K_{22} (1 + \lambda^2) \lambda^2 + K_{33} \lambda^2 \eta^2} + \right.$$

$$\frac{\lambda^2}{2S_1^2} \left( 1 - \frac{S_1^2}{S_2^2} \right) [D_{11} (\lambda^2 + 2 + 2\mu_\theta \eta^2 - 4\mu_\theta) +$$

$$+ D_{22} \frac{(\eta^2 - 1)^2 + 1 + \lambda^2}{1 + \lambda^2} D_{33} 2\lambda^2] - \frac{\lambda^2}{1 + 4\lambda^2} \left( \frac{S_2}{S_1} - 1 \right) \times$$

$$\left. \times \left[ P S_1 \tan\alpha \left( (1 + 2\lambda^2) \left( 1 - \frac{S_1}{S_2} \right) + 4\eta^2 \right) \right] \right\}.$$

Для определения критического внешнего давления минимизируем потенциальную энергию по амплитуде прогиба  $W$ . Из условия  $\frac{\partial \Pi}{\partial W^2}$  получаем:

$$P_{kr} = \frac{0.507}{\frac{R_2}{R_1} - 1} \left[ \frac{1 - \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right]^{\frac{3}{4}} \left( \frac{h}{R_1} \right)^{\frac{5}{2}} \frac{E_s^{\frac{1}{2}} E_\theta^{\frac{3}{4}}}{(1 - \mu_s \mu_\theta)^{\frac{3}{4}}} (\cos\alpha)^{\frac{3}{2}} \sin\alpha. \quad (13)$$

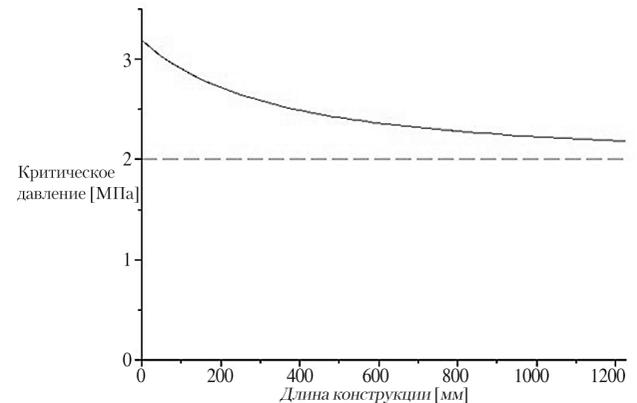


Рис. 5. Распределение критического давления (сплошная линия критическое давление, пунктированная линия максимальное давление на глубине 200 метров)

Выбираем конструкцию конкретной конической оболочки, имеющей следующие геометрические характеристики:

$$D_1 = 500 \text{ мм}, D_2 = 1000 \text{ мм}, L_2 = 1282 \text{ мм}, \alpha = 11,5^\circ.$$

Коническая оболочка имеет сетчатую структуру с ребрами из углепластика: высота 20 мм, ширина 20 мм, угол армирования от  $19^\circ$  до  $40,5^\circ$ .

Для такой конструкции расчетное критическое давление показано на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что предложенная коническая композитная оболочка выдерживает внешнее давление на глубине 200 метров.

#### Заключение

Предложена конструкция корпуса якорной стационарной гидроакустической станции, состоящая из цилиндрических и конических сетчатых компо-

зитных оболочек, которая позволяет снизить общий вес станции, повысить прочность конструкции и увеличить дальность действия станции за счет оптимизации звукового поля.

#### Литература

- [1] Патент на винахід N87059. Якірна підводна станція /Ю. Е. Шамарін, О. Ю. Шамарін, В. В. Крипінєвич та ін. (Україна). МПК (2009), B63B22/00, № 2007 1285, заявл. 20.11.2007, опублік. 10.06.2009, Бюл. N11.
- [2] Гензель Г. С. Основы акустики / Г. С. Гензель, А. М. Заездный. – М., Л.: Морской транспорт, 1952. – 388с.
- [3] Васильев В. В. Механика конструкции из композитных материалов / В. В. Васильев. М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
- [4] Григолюк Э. И. Устойчивость оболочек / Э. И. Григолюк, В. В. Кабанов. М.: Наука, 1978. – 360 с.

Nezamoleslami R.G.<sup>1</sup>, Esmailzade Kh.S.<sup>1</sup>, Shamarin Yu.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> "Central Design Bureau for underwater acoustics". Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> Tarbiat Modares University. Iran, Tehran

#### COMPOSITE LATTICE CONICAL LATTICE DESIGN FOR BODIES OF SONAR

*There are considered proposals to create of the body of the anchor sonar from the composite material. The body can be made of cylindrical and conical lattice composite shells, thereby reducing the overall weight station, increase structural strength and increase the range of the station by optimizing the parameters of the sound field.*

Keywords: sonar; the body; composite shell; conical design; underwater acoustics; radio buoy; sound field; meshwork

#### References

- [1] Patent №87059. Jakirna pidvodna stancija /Ju. E. Shamarin, O. Ju. Shamarin, V. V. Kripinevich etc. (Ukraine). МПК (2009), V63V22/00, N 2007 1285, zajavl. 20.11.2007, opubl. 10.06.2009, Bjul. N11.
- [2] Genzel G. S. Osnovy akustiki / G. S. Genzel, A. M. Zaezdnyj. – М., Л.: Morskoj transport, 1952. – 388 p.
- [3] Vasiljev V.V. Mekhanika konstrukcii iz kompozitnyh materialov / V. V. Vasiljev. М.: Mashinostroenije, 1988. – 288 p.
- [4] Grigoljuk Je. I. Ustojchivost obolochek / Je. I. Grigoljuk, V. V. Kabanov. М.: Nauka, 1978. – 360 p.