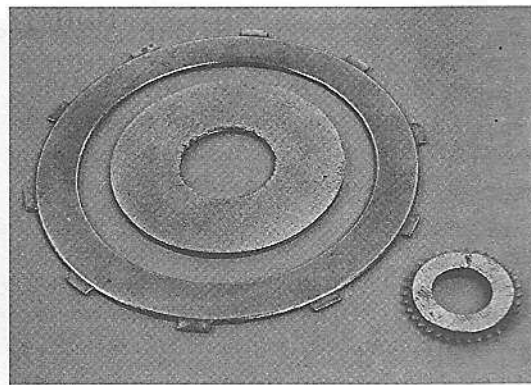


а



б

Рис. 3. Спеченные фрикционные диски из материалов ФМК-79 (а) и ФМКМ-1 (б)

Фрикционные диски из материала ФМКМ-1 (рис. 3б) используют в ограничительной муфте механизма, расположенного в креслах экипажа самолетов АН-70 и АН-140.

Таким образом, обеспечение требований по надежности и качеству узлов трения самолетов "АН" достигается как за счет совершенствования конструкции трибосистем, так и благодаря использованию новых материалов, в т.ч. создаваемых методом порошковой металлургии.

Литература

1. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. – Киев: Выща школа. – 1989. – 416 с.
2. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Металлокерамические детали в машиностроении. – Л.: Машиностроение. – 1975. – 230 с.

3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение. – 1989. – 328 с.

4. Тенишев Р.Х. и др. Противообледенительные системы летательных аппаратов / Р.Х. Тенишев, Б.А. Строганов, В.С. Савин и др.; Под ред. к.т.н. Р.Х. Тенишева. – М.: Машиностроение. – 1967. – 320 с.

5. Семенченко В.П. и др. Технологические процессы получения деталей самолетов методом порошковой металлургии / В.П. Семенченко, С.Г. Кушнаренко, С.А. Бычков, О.Ю. Нечипоренко. Учеб. пособие, ХАИ. – Харьков. – 1992. – 62 с.

6. Федорченко И.М., Крячек В.М., Панаюти И.И. Современные фрикционные материалы. – Киев: Наукова думка. – 1975. – 336 с.

УДК 669.621

Шамарин Ю. Е.¹, Штанько М.Г.²

¹ Киевский государственный НИИ гидроприборов. Украина, Киев.

² ООО "Новокаховский электромашиностроительный завод". Украина, Новая Каховка

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ РАДИОГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ БУЕВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Анотація

У статті описаний метод розрахунку напружено-деформованого стану деталей виробів морського приладобудування в процесі їх скидання та експлуатації. Виконано розрахунок для оцінки міцності гідро-приладів сферичної форми. Визначено вид покриття, що забезпечить стійку роботу виробів із заданими експлуатаційними характеристиками.

Abstract

In the article the method of estimate of the details of the sea instrument-making products is described in the

process of their throw off and exploitation. The firmness evaluation of the spherical hydrodevice is calculated. The kind of the covering with can provide the steady work of the products with the given operation characteristics is defined.

В изделиях морского приборостроения (радиогидроакустические буи) применяется достаточно много стальных деталей, механические характеристики которых оказывают существенное влияние на эксплуатационную надежность разработанных объектов.

В процессе изготовления стальные детали изделий морского приборостроения подвергаются различным видам

механической и электрохимической обработки – штамповке, токарной обработке, нанесению гальванических покрытий. В результате выполнения этих операций происходит появление внутренних напряжений и наводороживание конструкционных материалов.

Во время хранения изделий в эксплуатирующих организациях, к наводороживанию сталей приводит воздействие на них морских климатических факторов. По этим причинам возникают деформации и трещины стальных деталей, что в процессе эксплуатации ведет к отказам изделий морского приборостроения.

Для повышения надежности изделий возникает необходимость в оценке их прочности, а также определения оптимального вида гальванического покрытия, при котором будет достигнута наибольшая защита конструкционных материалов от агрессивного влияния водорода.

Радиогидроакустические буи основные нагрузки получают в момент их приведения. Несущими элементами этих изделий являются сферические оболочки. Поэтому необходимо выполнить расчет напряженного состояния в оболочках при их ударе о воду.

Исследованию упругого поведения сферической оболочки при соударении её с жидкостью посвящена работа [1].

Рассмотрим тело сферической формы определенного веса, корпус которого выполнен в виде тонкостенной оболочки. Пусть упругая оболочка ударяется о поверхность жидкости с заданной скоростью (рис. 1).

Будем изучать начальную фазу взаимодействия тела с жидкостью. Это такая фаза, при которой тело незначительно погружается в жидкость; другими словами смоченная поверхность тела отсекает сегмент весьма малой пологости. Это допущение позволяет свести расчет на прочность всего тела к исследованию напряженно-деформированного состояния пологой оболочки.

Рассмотрим пологую оболочку в виде сегмента, полученную из замкнутой оболочки путем сечения по плоскости АВ (рис. 2). Выбираем систему координат и её начало так, как показано на рис. 2. Обозначим через h – толщину стенки оболочки; через U, W – перемещения соответственно в направлении r и отрицательном направлении оси OZ .

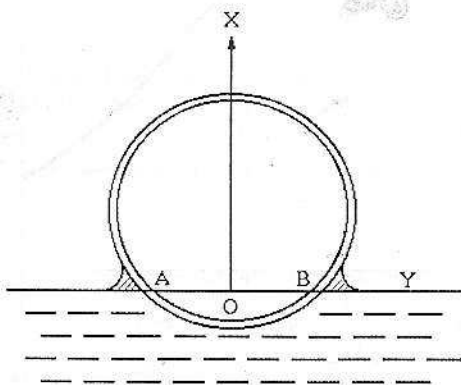


Рис. 1. Удар упругой оболочки о поверхность жидкости

Запишем выражение для давления, оказываемого нагрузкой [2], при этом эффект кривизны оболочек учитывается величиной R (радиусом оболочки):

$$P(r, t) = \rho_f C_f V_o H \left(t - \frac{x^2}{2RV_o} \right)$$

где $P(r, t)$ – давление;
 ρ_f – плотность невозмущенной жидкости;
 C_f – скорость распространения звука в невозмущенной жидкости;

V_o – скорость удара тела;
 $x = R$ – координата, определяющая длину дуги поверхности оболочки, отсчитываемой от начальной точки удара;

H – функция Хевисайда

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \text{для } x > 0 \\ 1 & \text{для } x < 0 \end{cases}$$

Определив таким образом величину внешней нагрузки, запишем основные дифференциальные уравнения движения оболочки:

$$D \left(r \frac{\partial^2 \beta}{\partial r^2} + \frac{\partial \beta}{\partial r} - \frac{\beta}{r} \right) + \psi \frac{r}{h} = \int_0^r [\rho h \ddot{\omega} - P(\xi)(t)] \xi d\xi \quad (1)$$

$$\frac{1}{Eh} \left(r \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{\partial \psi}{\partial r} - \frac{\psi}{r} \right) - \beta \frac{r}{R} = 0 \quad (2)$$

где $\beta = -\frac{\partial \omega}{\partial r}$ – угол поворота;

$\frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}$ – ускорение в направлении нормали к оболочке;

ψ – функция напряжений;

ρ – плотность материала оболочки;

$$D = \frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)}, \quad \nu - \text{коэффициент Пуассона.}$$

При формулировке этих уравнений предполагается, что смещения и деформации оболочки при ударе являются

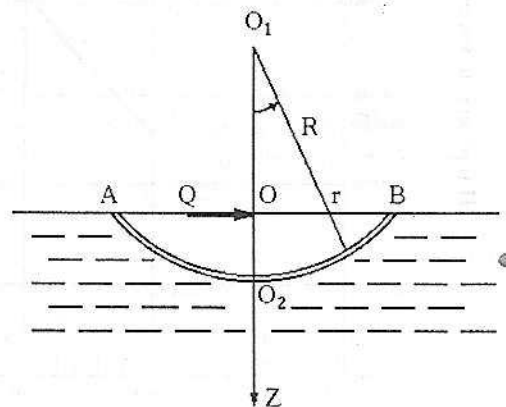


Рис. 2. Сегмент пологой оболочки

малыми величинами соответственно с толщиной оболочки и единицей.

К этим уравнениям необходимо приписать граничные условия. Граничные условия необходимо сформулировать в точках А, В (рис. 2).

Считаем, что дуга АВ является почти отрезком прямой. Мысленно продолжим этот отрезок в обе стороны в бесконечность и допустим существование аналитического продолжения функции $P(r, t)$ в обе стороны таким образом, что давление от точек А, В начинает сильно уменьшаться по заданному закону. Такое допущение оправдано тем обстоятельством, что мы будем определять давление в окрестности полюса O_2 . Отсюда, граничные условия уравнений (1), (2) должны выражать факт затухания искомых функций при $r > \infty$.

Для решения уравнений движения оболочки применяются интегральные преобразования:

- 1) Ханкеля в пространстве:

$$\Phi_n(\alpha, \tau) = \int_0^\infty \xi I(\alpha, \xi) \Phi(\xi, \tau) d\xi$$

- 2) Лапласа во времени:

$$\Phi(x, S) = \int_0^\infty e^{-S\xi} \Phi(x, \xi) d\xi$$

После обратных преобразований находится прогиб и соответствующие ему моменты, рассчитываются характеристики напряженно-деформированного состояния в полюсе сферической оболочки.

Выше было введено предположение, что динамические процессы будут изучаться только в начальной фазе. Отсюда следует, что искомые функции β, ψ должны быть определены

на конечном интервале времени. Всё это привело бы к большому математическим трудностям при решении задачи. Поэтому также предположим, что вне выше упомянутого отрезка решение по временной координате сильно убывает по заданному лаперед закону, т.е. допустим аналитическую продолжимость искомых решений вне указанного интервала по определенному закону.

Все указанные выше предположения будут использованы при расчете прочности гидроприборов сферической формы.

В работе [1] получены характеристики напряженно-деформированного состояния в полюсе сферической оболочки.

На рис. 3 приведен график зависимости максимальных растягивающих напряжений в полюсе оболочки при $R/h = 30$ от относительной скорости удара V/C .

Проведем оценку прочности гидроприборов сферической формы.

Гидроприбор сферической формы состоит из корпуса – тонкостенной сферической оболочки, внутри которой установлена соответствующая аппаратура. Эта аппаратура крепится на подкрепляющих элементах. Поэтому необходимо решить задачу об ударе о воду сферической оболочки, внутри которой размещен некоторый груз. Для этого используем решение об ударе пустотелой сферической оболочки, изложенное выше, полагая при этом, что масса этой оболочки равна массе всего гидроприбора.

Список обозначений, употребляемых при решении задачи:

- 1) P – вес гидроприбора, кг;
- 2) R – внешний радиус оболочки гидроприбора, м;
- 3) h – толщина корпуса гидроприбора, м;

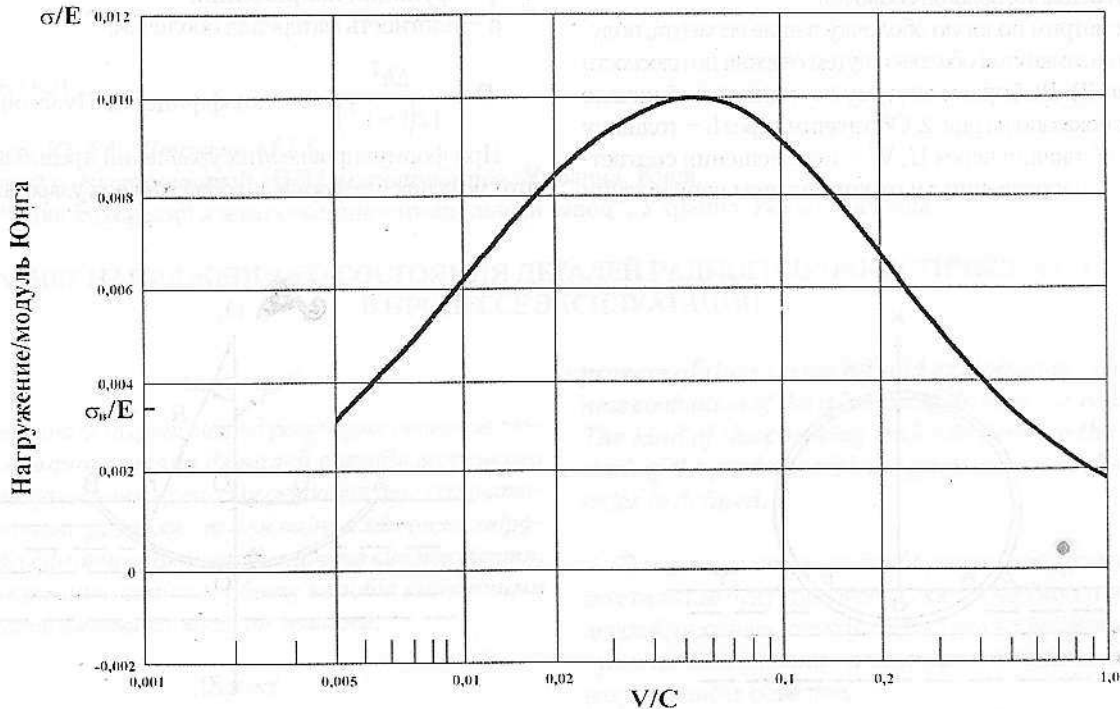


Рис. 3. Зависимость максимальных растягивающих напряжений в полюсе оболочки от относительной скорости удара

- 4) E – модуль Юнга, МПа;
- 5) ρ – плотность материала оболочки, кг/м³;
- 6) σ_b – предел прочности материала оболочки при растяжении, МПа;
- 7) V – скорость приводнения гидроприбора, м/с.

Оболочка радиогидроакустических буев состоит из деталей, изготовленных из стали 10 ГОСТ 1050-88, стали 45 ГОСТ 1050-88 и алюминиевого сплава АМг5 ГОСТ 21631-76.

На стальные детали нанесены гальванические покрытия, которые вызывают появление остаточных напряжений в приповерхностном слое конструкционных материалов за счет возникновения внутренних напряжений в осаждаемых металлах [3]. Отжиг сталей с гальванопокрытиями [4] позволяет получать детали практически без напряжений.

Предполагаем, что после нанесения покрытий стальные детали оболочки гидроприбора не изменяют свои механические свойства.

Согласно [5] наименьший предел прочности σ_b имеет алюминиевый сплав. В связи с этим расчет для оценки прочности гидроприбора сферической формы будет выполнен по этому материалу. Для этого возьмем гидроприбор со следующими геометрическими, весовыми и прочностными характеристиками:

$P = 2,5$ кг; $R = 0,06$ м; $h = 0,002$ м; $R/h = 30$;
 $E = 0,7 \cdot 10^5$ МПа = $0,7 \cdot 10^{11}$ Па = $0,7 \cdot 10^{11}$ кг/м · с²;
 $\sigma_b = 275$ МПа; $\rho = 2640$ кг/м³.

Прочностные характеристики будем определять для следующих скоростей приводнения:

$$V_1 = 100 \text{ м/с}; V_2 = 50 \text{ м/с}; V_3 = 30 \text{ м/с}.$$

Растягивающие напряжения σ в полюсе оболочки зависят лишь от отношения R/h и не зависят от R и h в отдельности. Это позволяет имитировать гидроприбор сферической оболочкой из того же материала и с тем же соотношением R/h , при этом выбрав R и h таким образом, чтобы масса этой оболочки была равна массе гидроприбора.

Вычислим параметр

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$C = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 10^{11}}{2,64 \cdot 10^3}} = 5149 \text{ м/с}.$$

Исходя из графика, показанного на рис. 3, приведем приближенные значения напряжений в полюсе оболочки по отношению к пределу прочности при некоторых скоростях приводнения.

Из данных таблицы следует, что скорость приводнения гидроприборов составляет 30 м/с. Это соответствует их эксплуатационным характеристикам.

При наводороживании прочностные характеристики конструкционных материалов снижаются на 25–30% [6].

Напряженно-деформированное состояние имеет линейную зависимость от скорости удара тела о воду. Поэтому, в связи с наводороживанием стальных деталей радиогидроакустических буев в процессе хранения, показатели надежности существенно снижаются и, следовательно, скорость приводнения изделий не должна превышать 21 м/с.

Скорость приводнения – жестко заданный параметр радиогидроакустических буев. Поэтому необходимо осуществить выбор покрытия, которое обеспечит устойчивую работу изделий морского приборостроения с заданными эксплуатационными характеристиками. В ходе эксперимента установлено [7, 8], что таким видом покрытия является никелирование толщиной 30 мкм.

Литература

1. Medick M.A. Initial response of elastic spherical shell upon impact with a compressible fluid // Proc. Of the fourth U.S. National Congr., of Appl. Mech. – 1962. – P. 257–271.
2. Payton R.G. Initial bending stresses in elastic shells impacting into compressible fluids // The quarterly journal of Mechanics and Applied Mathematics. – 1962. Vol. XV, part 1.
3. Карпенко Г.В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов. – К.: Наукова думка. – 1976. – 130 с.
4. Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электрохимических покрытий. – М.: Металлургия. – 1989. – 136 с.
5. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. Ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд., перераб. И доп. – К.: Наукова думка. – 1988. – 736.
6. Влияние водорода, спиртов и влаги на предел прочности и электросопротивления вольфрамовых и стальных образцов-проволочек / И.И. Василенко, В.М. Лобойко, С.И. Микитишин, О.Н. Чапля // Физ.-хим механика материалов. – 1973. – №3. – С. 3–8.
7. Шамарин Ю.Е., Штанько М.Г. Влияние наводороживания стальных деталей на их прочностные характеристики // Технологические системы. – 2004. – №1. – С. 34–37.
8. Шамарин Ю.Е., Штанько М.Г. Вплив водню на злам сталевих деталей виробів морського приладобудування / Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – №5. – С. 47–49.

Таблица 1

Приближенные значения напряжений в полюсе оболочки по отношению к пределу прочности

Скорость приводнения V , м/с	Относительная скорость удара, V/C	Напряжения в полюсе оболочки σ , МПа
100	0,0194	$2,06\sigma_b$
50	0,0095	$1,45\sigma_b$
30	0,0058	$0,94\sigma_b$