**Расчет толщины стенки накопительной емкости**

***Бойко О.О., Головина Е.А.***

*магистрант, доцент*

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,*

*факультет специальных технологий, Барнаул, Россия*

*E-mail:* [*olegmaker@mail.ru*](https://mail.yandex.ru/?uid=7224396#compose?to=%22Christoph%20Schneider%22%20%3Colegmaker%40mail.ru%3E)

Использование стеклопластика в качестве основного материалы для изготовления накопительной емкости позволяет повысить коррозионную стойкость, надежность и срок службы, снизить вес до 70 % по сравнению с аналогичными стальными емкостями.

Проектируемая емкость имеет объем 17 м3 и вмещает 14,6 тонн жидкости. Для расчета минимальной толщины стенки емкости необходимо знать: модуль упругости стекловуали Е1=55 ГПа, модуль упругости винилэфирной матрицы Е2=3,2 ГПа, коэффициент Пуассона µ12=0,21, µ21=0,3, толщина монослоя δ1=0,39 мм, δ2=1,3 мм, предельные деформации ε1=0,2 м, ε2=0,125 м, максимальное внутреннее давление Р=17,2 кПа, предел прочности стекловуали F1=184 МПа, предел прочности винилэфирной матрицы 2=20 МПа, предел прочности стеклоровинга F3=900 МПа, предел прочности полиэфирной матрицы F4=20 МПа.

Вследствие непрерывности намотки материал стенки будет ортотропным в осях α и β (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расчетная схема оболочки [2]

Суммарная толщина слоев рассчитывается исходя из следующего соотношения [1, 2]:

$∑δ\geq \frac{N\_{α }+N\_{β}}{k+1}∙\sqrt{\frac{1}{F\_{1}^{2}}-\frac{k}{F\_{1}∙F\_{2}}+\frac{k^{2}}{F\_{2}^{2}}}$ (1)

где: $N\_{α}=B\_{11}ε\_{α}+B\_{12}ε\_{β}$; $N\_{β}=B\_{12}ε\_{α}+B\_{22}ε\_{β}$; $k=\frac{E\_{2}(1+μ\_{12})}{E\_{1}(1+μ\_{21})}$ (2)

Nα и Nβ – погонные усилия действующие на оболочку, В11, В12, В22 – коэффициенты жесткости пакета слоев.

Определим приведенные модули упругости в осевом $\overline{E\_{2}}$ и радиальном $\overline{E\_{1}}$ направлениях:

$\overline{E\_{1}}=\frac{E\_{1}}{1-μ\_{12}μ\_{21}}=\frac{55}{1-0,21∙0,3}=58,698 ГПа $ (3)

$\overline{E\_{2}}=\frac{E\_{2}}{1-μ\_{12}μ\_{21}}=\frac{3,2}{1-0,21∙0,3}=3,415 ГПа$ (4)

Найдем числовые значения В11, В12, В22,$ $для первого слоя емкости с углом армирования φ=900:

$B\_{11}=δ\_{1}\left[\overline{E\_{1}}cos^{4}φ+\overline{E\_{2}}sin^{4}φ+2\overline{E\_{1}}μ\_{21}sin^{2}φcos^{2}φ+G\_{12}sin^{2}2φ\right]$=1,33 (5)

$B\_{22}=δ\_{1}\left[\overline{E\_{1}}sin^{4}φ+\overline{E\_{2}}cos^{4}φ+2\overline{E\_{1}}μ\_{21}sin^{2}φcos^{2}φ+G\_{12}sin^{2}2φ\right]$=22,89 (6)

$B\_{12}=δ\_{1}\left[\left(\overline{E\_{1}}+\overline{E\_{2}}-4G\_{12}\right)sin^{2}φcos^{2}φ+E\_{1}μ\_{21}(sin^{4}φ+cos^{4}φ)\right]$ =0 (7)

Подставим получившиеся значения В11, В12, В22 в уравнения (2):

$N\_{α1}=B\_{11}ε\_{α}+B\_{12}ε\_{β}=0,266$; $N\_{β1}=B\_{12}ε\_{α} + B\_{22}ε\_{β}=2,89$; $k=\frac{E\_{2}(1+μ\_{12})}{E\_{1}(1+μ\_{21})}=0,054$ (8)

Все необходимые для расчета толщины первого слоя значения найдены. Подставив их в уравнение (1) получаем

$∑δ\geq \frac{N\_{α }+N\_{β}}{k+1}∙\sqrt{\frac{1}{F\_{1}^{2}}-\frac{k}{F\_{1}∙F\_{2}}+\frac{k^{2}}{F\_{2}^{2}}}\geq 8,156 мм$ (9)

Исходя из расчета получаем минимальную толщину слоя 8,16 мм, чему соответствует 21 слой стекловуали.

Теперь найдем минимальную толщину подкрепляющего слоя.

По формулам (5, 6, 7) определим коэффициенты жёсткости пакета с углом армирования φ=240.

$B\_{33}=δ\_{2}\left[\overline{E\_{3}}cos^{4}φ+\overline{E\_{4}}sin^{4}φ+2\overline{E\_{3}}μ\_{43}sin^{2}φ∙cos^{2}φ+G\_{12}sin^{2}2φ\right]$= 4,936 (10)

$B\_{44}=δ\_{2}\left[\overline{E\_{3}}sin^{4}φ+\overline{E\_{4}}cos^{4}φ+2\overline{E\_{3}}μ\_{43}sin^{2}φ∙cos^{2}φ+G\_{12}sin^{2}2φ\right]$= 6,7 48 (11)

$B\_{34}=δ\_{1}\left[\left(\overline{E\_{1}}+\overline{E\_{2}}-4G\_{12}\right)sin^{2}φcos^{2}φ+E\_{1}μ\_{21}(sin^{4}φ+cos^{4}φ)\right]$ = 1,61 (12)

Находим погонные усилия на оболочку по формулам (2)

$N\_{α2}=B\_{33}ε\_{α}+B\_{34}ε\_{β}=1,188$; $N\_{β2}=B\_{34}ε\_{α} + B\_{44}ε\_{β}=1,166$; $k=\frac{E\_{2}(1+μ\_{12})}{E\_{1}(1+μ\_{21})}=0,054$ (13)

Из формулы (1) находим минимальную толщину подкрепляющей оболочки

$∑δ\geq \frac{N\_{α2 }+N\_{β2}}{k+1}∙\sqrt{\frac{1}{F\_{3}^{2}}-\frac{k}{F\_{3}∙F\_{4}}+\frac{k^{2}}{F\_{4}^{2}}}\geq \frac{1,188+1,166}{0,054+1}\sqrt{\frac{1}{0,9^{2}}-\frac{0,054}{0,9∙0,02}+\frac{0,054^{2}}{0,02^{2}}}=7,5 мм$ (14)

Исходя, из проведенных выше расчетов получили: 1 минимальную толщину слоя 8,16 мм, чему соответствует 21 слой стекловуали, 2 минимальную толщина подкрепляющей оболочки равна 7,5 мм, чему соответствует намотка стеклоровинга в 6 слоев.

**Литература**

1 Карпов Я. С. Проектирование оболочек вращения из композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / Я. С. Карпов, П.М. Гагауз. – Х.: Нац. аэро-косм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 64 с.

2 Маркин В. Б. Механика тонкостенных конструкций из композиционных материалов [Текст] / Учеб. пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп./В.Б.Маркин; АлтГТУ им И. И. Ползунова.–Барнаул: Изд-воАлтГТУ,2006. –44 с.