



Рубин Мустафин  
ООО Plast Grupp+  
Санкт-Петербург  
Россия

26.11.2012 nr 17-6/EMK/12/27

Заказ - проверка прочности корпуса  
стеклопластиковой емкости

Уважаемый г-н Мустафин,

В ответ на ваш заказ 22.11.2012 прилагаю расчет проверки прочности корпуса  
стеклопластиковой емкости.

С уважением

Александр Клаусон  
директор института механики

Приложение: расчеты проверки прочности корпуса насосной станции  
(на 9 страницах в одном экземпляре)

## 1. Исходные данные и основные допущения

Цель работы - проверка прочности стенок стеклопластиковой емкости. Корпус емкости моделируется как упругая ортотропная цилиндрическая оболочка, у которой могут возникать геометрические нелинейности при больших прогибах.

Для выяснения механических свойств стеклопластика образцы были предварительно испытаны в лаборатории прочности ТГУ. В результате испытаний были определены следующие механические свойства:

### В радиальном направлении

модуль упругости  $E_1=40,0\text{GPa}$ ,

предел прочности при изгибе  $\sigma_0=1150\text{MPa}$ .

### В осевом направлении

модуль упругости  $E_2=16,0\text{GPa}$ ,

предел прочности при изгибе  $\sigma_0=188\text{MPa}$ .

Значение коэффициента Пуассона в плоскости оболочки принято  $\nu=0,16$ .

Плотность стеклопластика  $\rho=1800\text{kg/m}^3$

Расчеты произведены для двух типов нагрузок:

1. Емкость находится в плавуне и на нее действует выталкивающая сила, уравновешенная закрепительными ремнями.;
2. Емкость находится в сухом грунте и на нее действует вес призмы грунта.

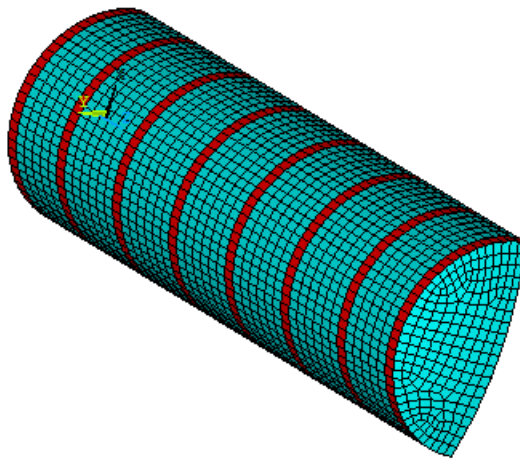
Окружающий емкость грунт (песок) моделировался как упругое основание с жесткостью  $15\ 000\text{ kN/m}^3$

Размеры емкости :

объем  $10\text{m}^3$ ,  
длина  $5100\text{ мм}$ ,  
диаметр  $1600\text{ мм}$ ,  
расстояние между ребрами жесткости  $700\text{ мм}$ ,  
ширина ребра жесткости  $100\text{ мм}$ ,  
толщина стенки  $7\text{мм}$ ,  
толщина ребра жесткости  $9\text{мм}$ ,  
радиус кривизны оконечности  $2500\text{ мм}$ .

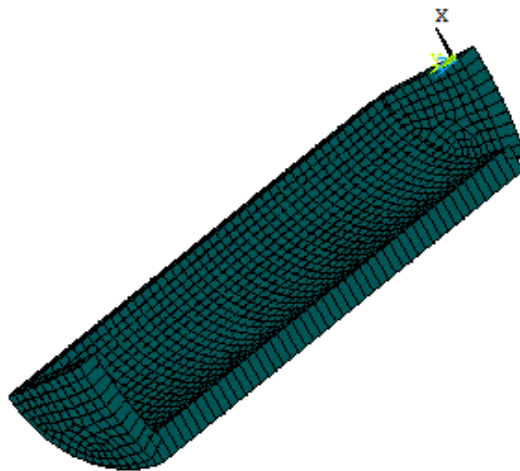
## 2. Конечноэлементная модель емкости

Стены емкости моделируются элементами оболочки с четырьмя узлами. У каждого элемента два слоя материала с ориентацией 0 и 90 градусов для моделирования ортотропии. Поскольку нагрузка имеет плоскость симметрии, то достаточно рассчитать половину конструкции. По длине цилиндрической оболочки взято 48 элементов и по половине окружности 36 элементов (Фиг.1.). Оконечности цилиндрической оболочки - сферические сектора. Синим цветом показаны основные элементы емкости толщиной 7 мм. Красным цветом показаны ребра жесткости толщиной 9 мм.



Фиг. 1. Конечноэлементная модель емкости.

Грунт моделируется поверхностными элементами, имеющими свойства упругого основания (фиг.2). Толщина поверхностных элементов 0.2м.



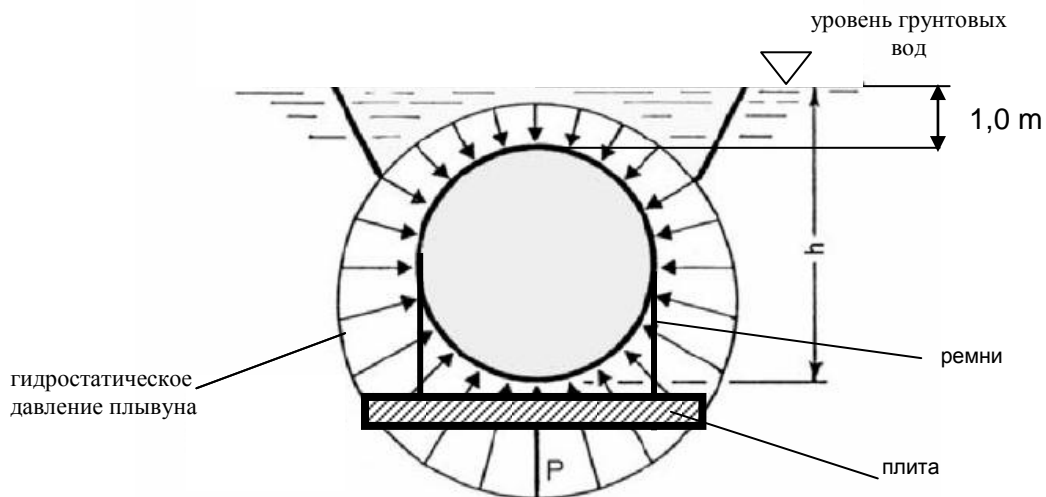
Фиг. 2. Конечноэлементная модель грунта.

### 3. Нагруженные состояния

Емкость находится под землей на глубине 1 м и окружена слоем песка. В зависимости от уровня грунтовой воды можно выделить два предельных нагруженных состояния (предполагается, что все остальные возможные нагруженные состояния помещаются между двумя предельными).

#### 3.1 Пустая емкость нагружена гидростатическим давлением пльвуна

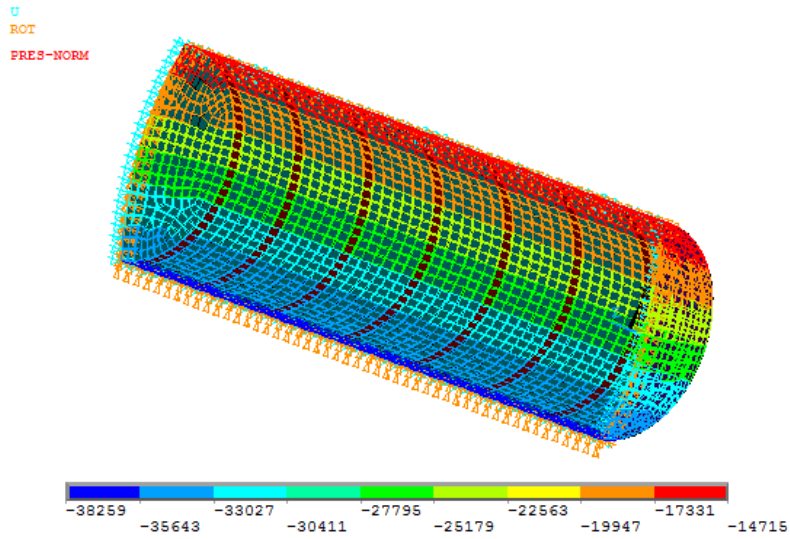
Когда уровень грунтовых вод высок ( в предельном случае имеет место пльвун), то на емкость давит только гидростатическое давление пльвуна (фиг.3). Для предотвращения выталкивания емкости она закреплена ремнями к бетонной плите. Плотность пльвуна взята консервативно  $1,5 \text{ г/см}^3$ .



Фиг. 3. Гидростатическое давление пльвуна.

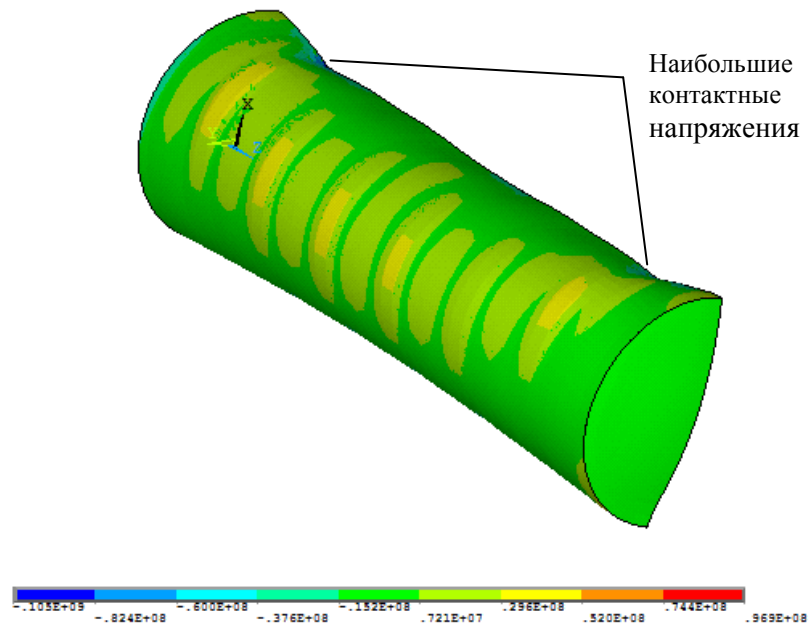
Давление на поверхность емкости показано на фигуре 4, а результаты статического расчета на фигурах 5-7.

На фигуре 5 показаны изгибные напряжения в стенках емкости. Наибольшие напряжения возникают в местах закрепления ремня, но эти напряжения не изгибные, а контактные. В реальной конструкции контактные напряжения не столь велики, так как контактное давление распределено по большей площади. На фиг. 7 показаны прогибы емкости. Прогибы отсчитываются от уровня наибольшего прогиба в верхней части емкости.

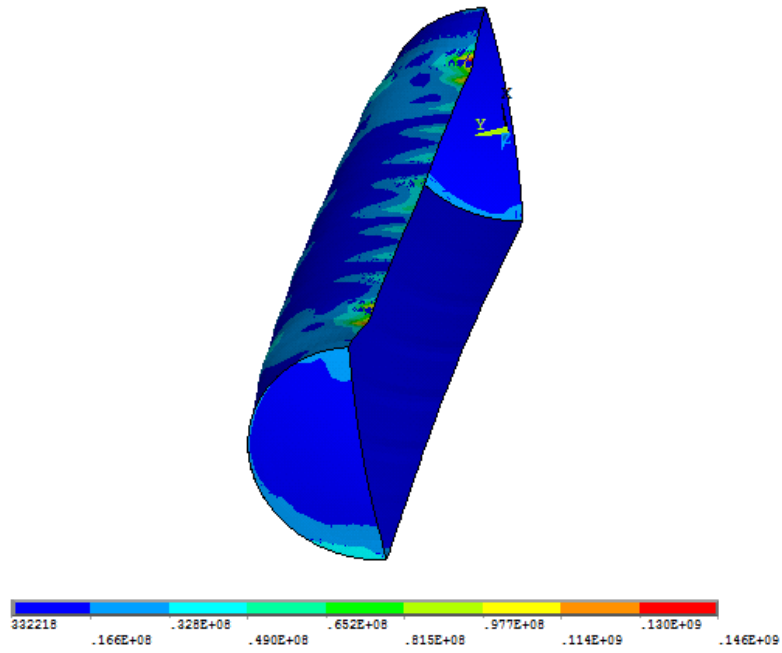


Фиг. 4. Гидростатическое давление пловуна, Pa.

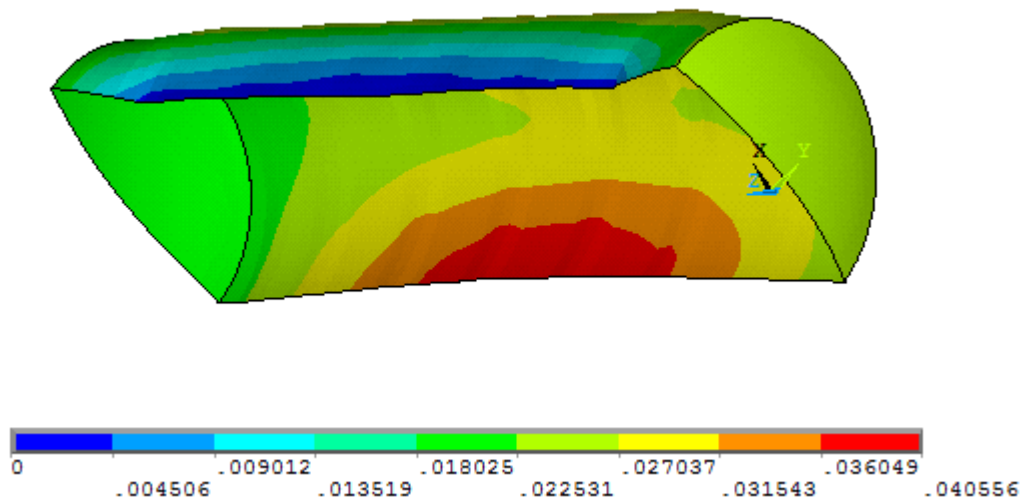
## Результаты



Фиг. 5. Изгибные напряжения в осевом направлении  $\sigma_z$ , Pa.  
Наибольшие напряжения 105 МПа в местах контакта ремней и емкости.



Фиг. 6. Эквивалентные напряжения, Pa.  
Наибольшие эквивалентные напряжения напряжения 146 МПа в местах контакта ремней и емкости.

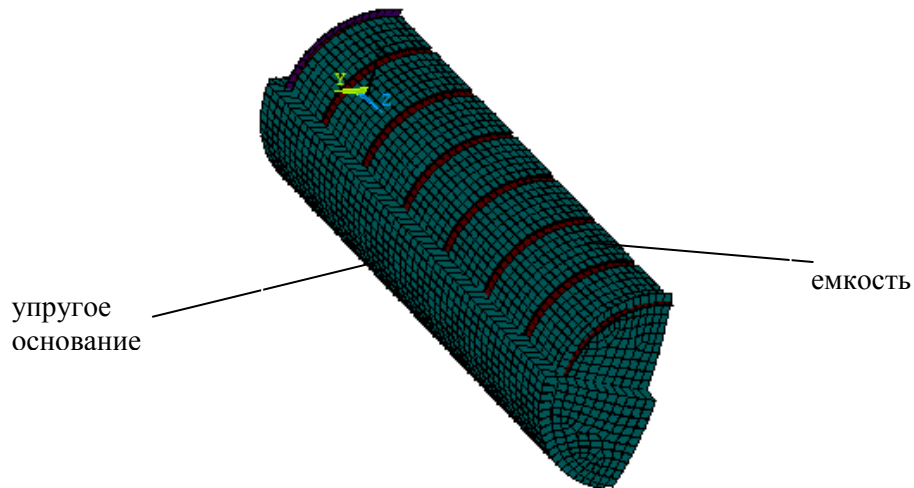


Фиг. 7. Прогибы конструкции, mm. Наибольший прогиб 2 mm.

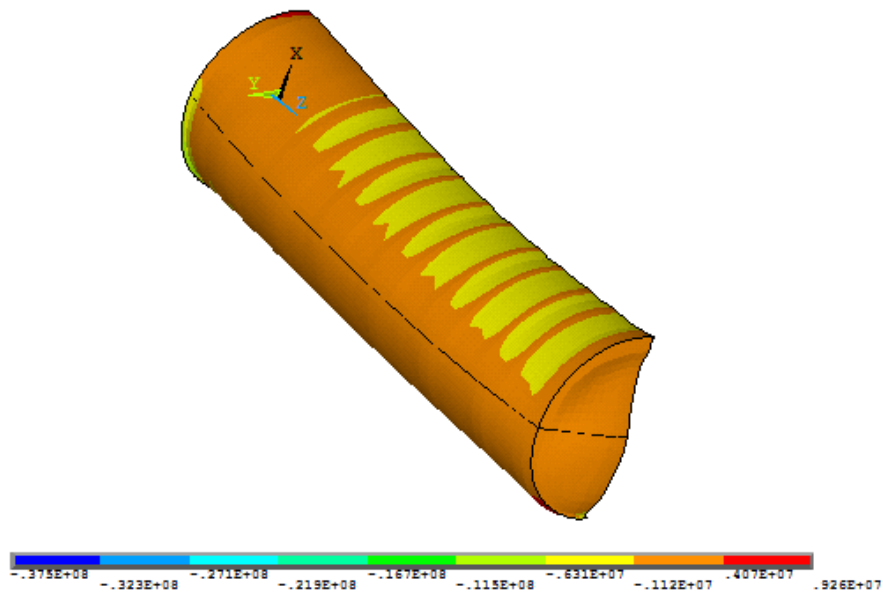
### 3.2 Пустая емкость нагружена весом призмы грунта

В случае когда уровень грунтовых вод низкий, на емкость действует вес слоя песка. Давление на верхней половине емкости принято за равномерное. Нижняя половина емкости опирается на упругое основание (Фиг.8). Закрепительные ремни при данном нагружении не работают.

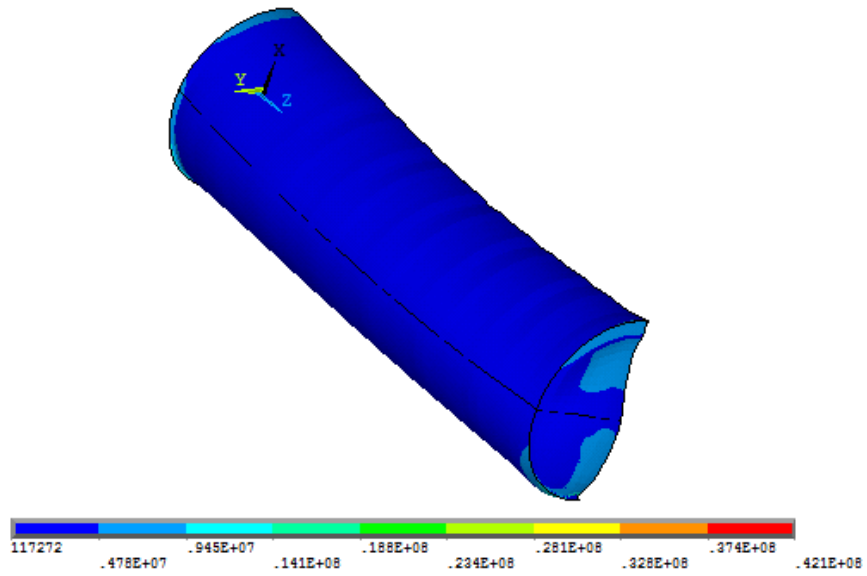
Как видно из Фиг.9 и 10, при данном нагруженном состоянии напряжения значительно меньше, чем в случае плывуна.



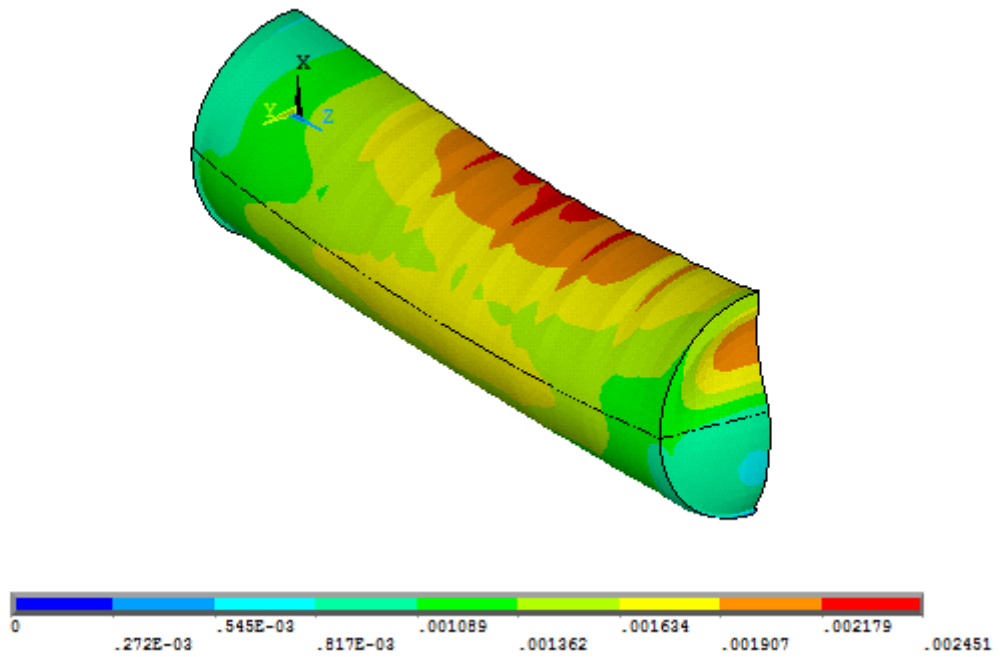
Фиг. 8. Емкость на упругом основании.



Фиг. 9. Изгибные напряжения в осевом направлении  $\sigma_z$ , Па.  
Наибольшие напряжения 38 МПа в углах конструкции.



Фиг. 10. Эквивалентные напряжения, Па.



Фиг. 11. Прогибы конструкции, mm. Наибольший прогиб 2,4 mm.



#### 4. Выводы.

Расчеты показали, что под действием нагрузок в стеклопластиковой емкости возникают следующие напряжения:

1. Наибольшие напряжения порядка 105 МПа возникают в местах контакта ремней и емкости. Это по сути контактные напряжения в модели с отдельными закрепленными узлами. На самом деле поверхность контакта ремней с емкостью намного больше и реальные контактные напряжения должны быть порядка 60-80 МПа.;
2. Наибольший прогиб конструкции не превышает 3 мм.

Учитывая, что изгибная прочность материала  $\sigma_u=188$  МПа, у стеклопластиковой емкости при расчете на гидростатическое давление пловуна по крайней мере 2.5 - кратный запас прочности.

При расчете на расчете на давление слоя гунта у стеклопластиковой емкости по крайней мере 5 - кратный запас прочности.