



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ООО «Пласт Групп+»
ул. Зайцева, дом 41, офис 352,
198188 Санкт-Петербург.
Россия

16.10.2013 nr 17-6/ЕМК/13/52

Заказ - проверка устойчивости и прочности
корпуса стеклопластиковой емкости

В ответ на ваш заказ 05.10.2013 прилагаю расчет устойчивости и проверку прочности
корпуса стеклопластиковой емкости.

С уважением

/дигитальная подпись/
Александр Клаусон
директор института механики

Приложение: расчеты проверки устойчивости и прочности корпуса стеклопластиковой
емкости (на 9 страницах в одном экземпляре)

1. Исходные данные и основные допущения

Цель работы - проверка устойчивости и 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 ТТУ. В результате испытаний были определены следующие механические свойства:

В радиальном направлении

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

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

В осевом направлении

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

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

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. Незаполненная емкость находится в сухом грунте и на нее действует вес призмы грунта. Проверяется устойчивость емкости и определяется коэффициент запаса.
2. Заполненная водой емкость находится в сухом грунте и на нее действует вес призмы грунта. Проверяется прочность емкости и определяется коэффициент запаса.

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

Размеры емкости :

Объем 100 м^3 ,

длина 12600 мм ,

диаметр 3200 мм ,

толщина стенки — 12 мм (13 мм),

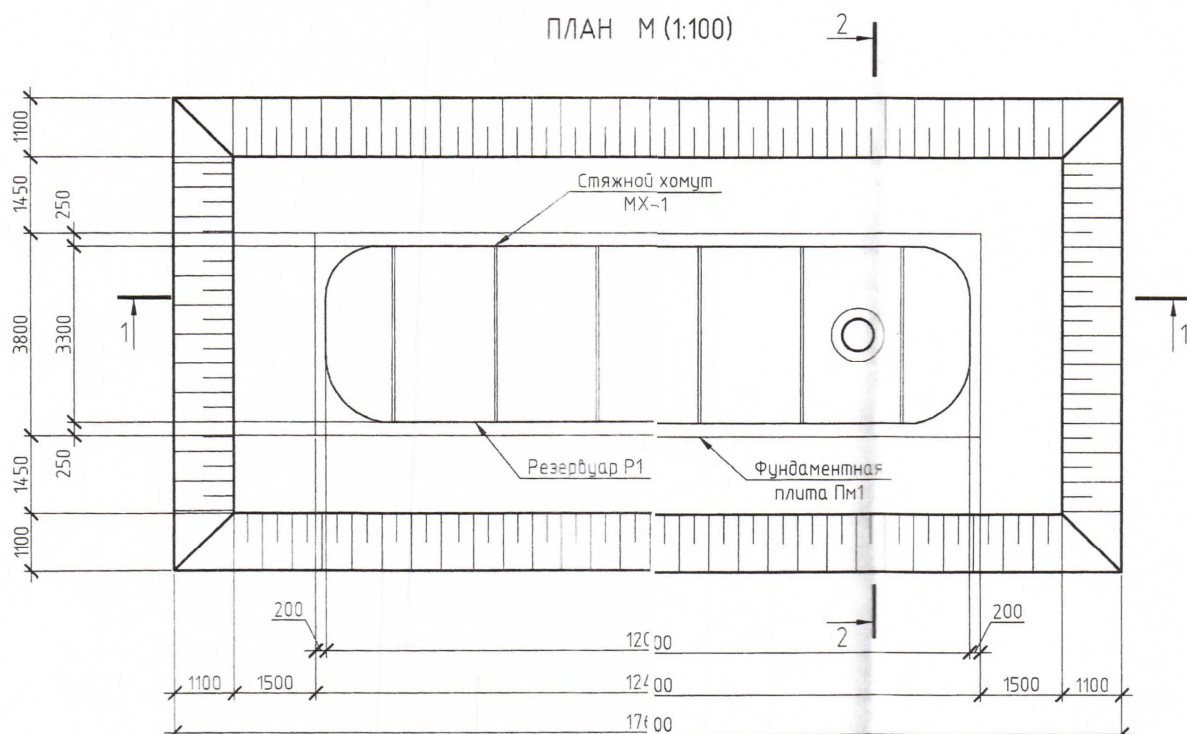
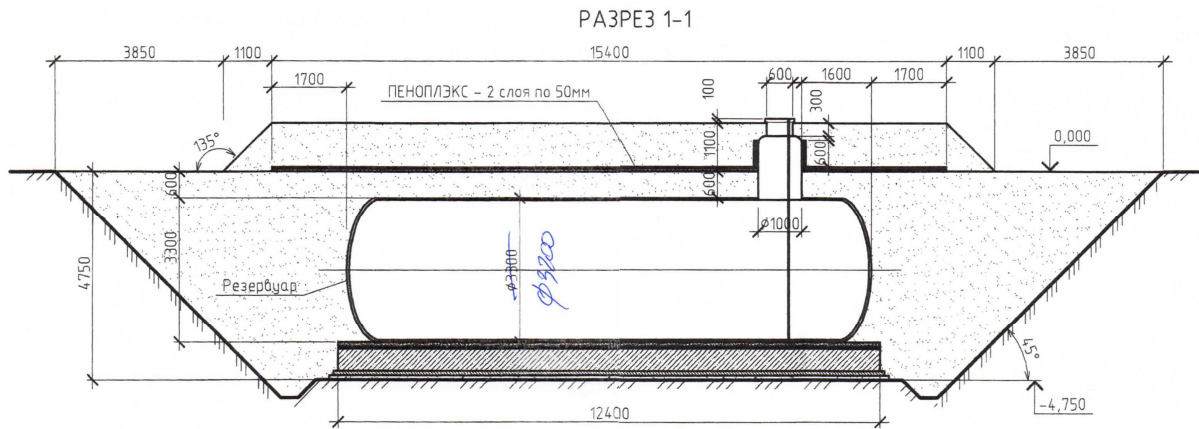
рёбра жёсткости (внутренние) — через каждые 800 мм ,

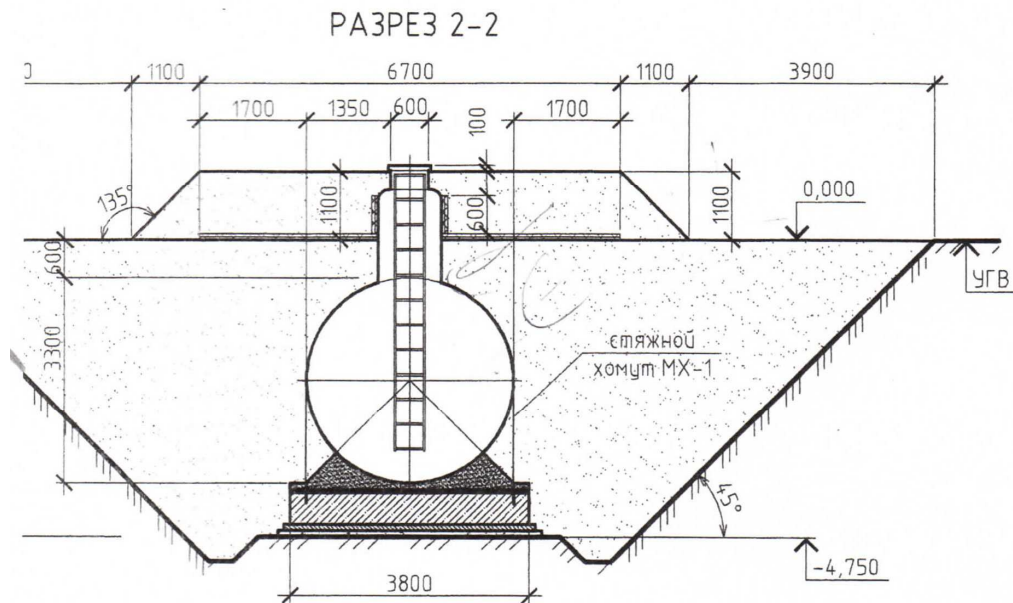
толщина стенки на ребре жёсткости — 15 мм (18 мм),

ширина ребра жесткости 100 мм ,

ширина соединений 3м секций - 400 мм ,

толщина соединений 3м секций - 20 мм .





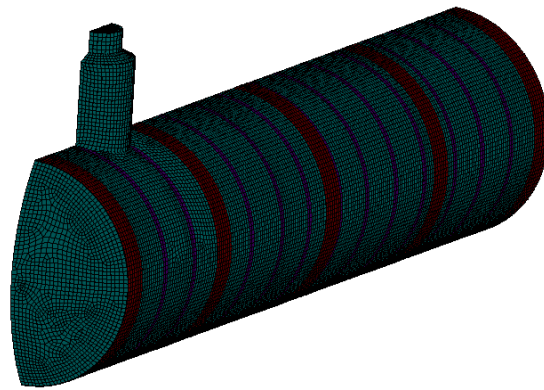
ПРИМЕЧАНИЕ

1. Относительная отметка $\pm 0,000$ соответствует абсолютной отметке земли (БСК)
2. На плане и разрезе 2-2 устройство котлована, утепления и обвалования резервуара показано условно для одного противопожарного резервуара (см. 64/ХР-1-АС).
3. Крепление лестницы к стенкам резервуара осуществить по месту.

Чертежи емкости. Заказчик внес изменения в размеры - диаметр 3200 и длина 12600 мм.

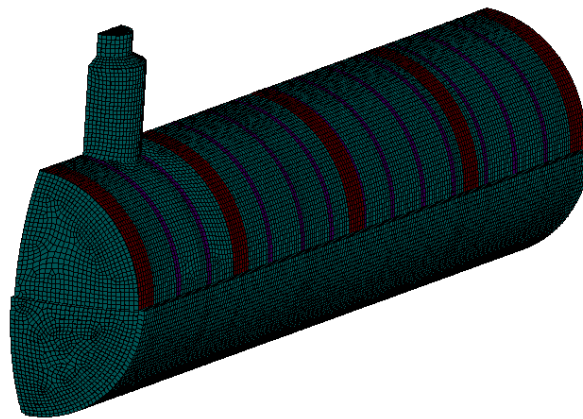
2. Конечноэлементная модель емкости

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. Длина конечного элемента 2 см. (Фиг.1.). Оконечности цилиндрической оболочки - сферические сектора. Синим цветом показаны основные элементы емкости толщиной 12 мм (13 мм). Красным цветом показаны соединения секций и фиолетовым ребра жесткости толщиной 15 мм (18 мм).



Фиг. 1. Конечноэлементная модель емкости. Красным показаны соединения секций и фиолетовым ребра жесткости.

Грунт моделируется поверхностными элементами, имеющими свойства упругого основания (фиг.2). Толщина поверхностных элементов 0,2м.



Фиг. 2. Конечноэлементная модель емкости на упругом основании.

3. Нагруженные состояния

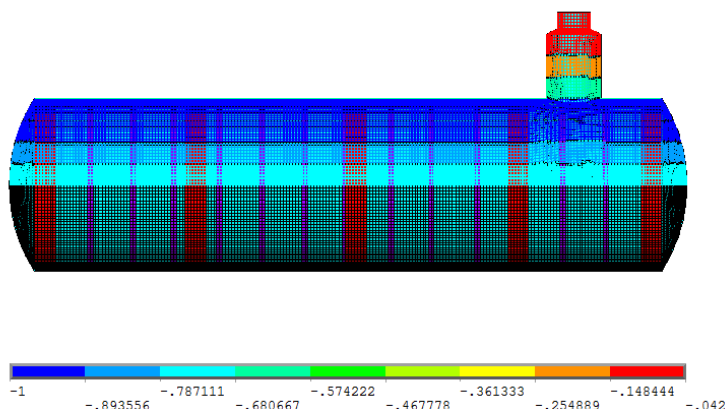
Емкость находится под землей на глубине 0,6 м и окружена слоем песка. Выше нулевого уровня емкость покрыта слоем грунта толщиной 1100 мм, , так что общая высота грунта нагружающего емкость составляет 1700 мм. Рассматривается два вида нагружения:

- 1) емкость пуста, на нее действует вес грунта;
- 2) емкость заполнена водой и на нее действует вес грунта.

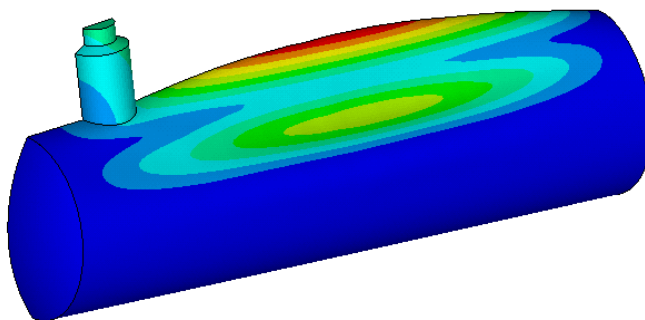
3.1 Пустая емкость нагружена весом призмы грунта

Давление на верхней половине емкости: вертикальная компонента нагрузки 18 кН/м^3 на каждый метр глубины, а горизонтальная 6 кН/м^3 . Нижняя половина емкости опирается на упругое основание.

Давление на поверхность емкости нормируется по расчетному максимальному значению $28,5 \text{ кН/м}^2$. Нормированные значения давления приведены на фиг.3. Затем С нормированной нагрузкой производится расчет на устойчивость и находится критическое значение нагрузки.



Фиг. 3. Нормированное давление на емкость..



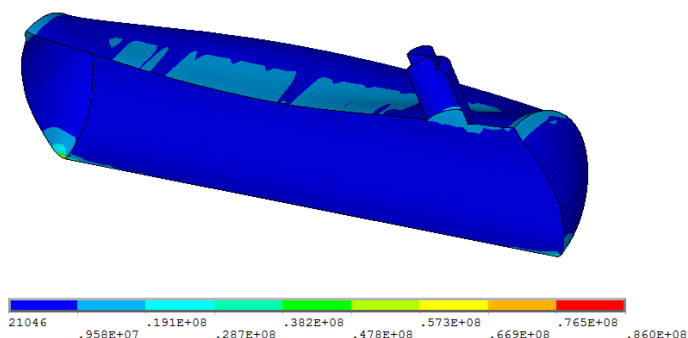
Фиг. 4. Первая форма потери устойчивости.

Критическая нагрузка при толщине стенки 12 мм составляет $35,4 \text{ кН/м}^2$, а при толщине стенки 13 мм - $42,8 \text{ кН/м}^2$.

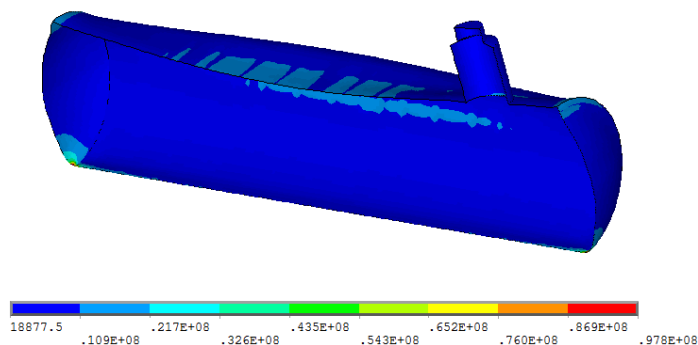
С учетом максимального значения расчетной нагрузки получаем коэффициенты запаса 1,24 при толщине стенки 12 мм и 1,50 при толщине стенки 13 мм.

3.2 Емкость заполнена водой и нагружена весом призмы грунта

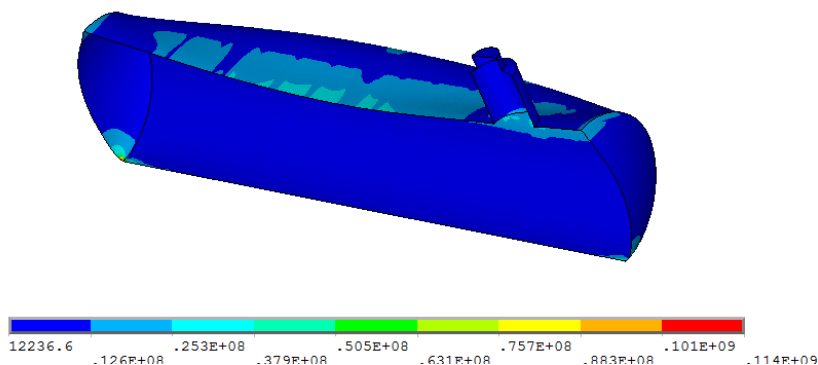
Давление на верхней половине емкости: вертикальная компонента нагрузки 18 кН/м^3 на каждый метр глубины, а горизонтальная 6 кН/м^3 на каждый метр глубины. Дополнительно к давлению грунта на емкость изнутри действует давление воды. Нижняя половина емкости опирается на упругое основание.



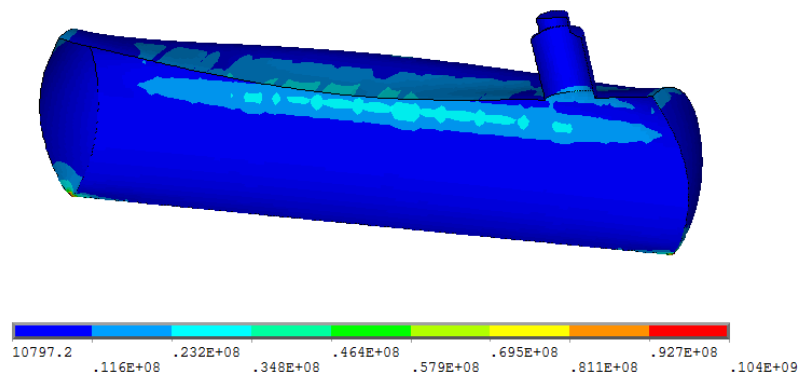
Фиг. 5. Пустая емкость с толщиной стенки 12мм нагружена грунтом. Наибольшее эквивалентное напряжение 90МПа, наибольший прогиб в средней части емкости 10мм.



Фиг. 6. Пустая емкость с толщиной стенки 13мм нагружена грунтом. Наибольшее эквивалентное напряжение 90МПа, наибольший прогиб в средней части емкости 9мм.



Фиг. 7. Наполненная водой емкость с толщиной стенки 12мм нагружена грунтом. Наибольшее эквивалентное напряжение 114МПа, наибольший прогиб в средней части емкости 30мм.



Фиг. 8. Наполненная водой емкость с толщиной стенки 13мм нагружена грунтом. Наибольшее эквивалентное напряжение 104МПа, наибольший прогиб в средней части емкости 20мм.

4. Выводы.

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

1. Наибольшие напряжения порядка 100 МПа возникают в углах емкости. Это по сути контактные напряжения в модели с отдельными закрепленными узлами. Реальные контактные напряжения должны быть порядка 60-80 МПа что дает по крайней мере двукратный запас прочности.
2. Наибольший прогиб конструкции не превышает 30 mm при полном заполнении водой.
3. Устойчивость конструкции обеспечивается с коэффициентом запаса 1,24 при толщине стенки 12 мм и с коэффициентом запаса 1,5 при толщине стенки 13 мм.