

## Применимость методов изготовления стеклопластика при строительстве горизонтальных емкостей

*С.В. Шашкин<sup>1</sup>, Т.А. Мацеевич<sup>1</sup>, В.А. Антошин<sup>2</sup>, А.Ю. Албагачиев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Московский государственный строительный университет*

<sup>2</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва*

**Аннотация:** Для очистки сточных вод используются горизонтальные емкости из стеклопластика. Однако, при проектировании изделий требуется определить способ изготовления емкости: методом непрерывной намотки или спирально-перекрестной. Основной проблемой выбора метода изготовления состоит в определении устойчивости конструкции к вертикальным нагрузкам от грунтового массива. В статье проводятся обследования построенных сооружений из стеклопластика, рассмотрены испытания по исследованию прочностных характеристик материала, для подтверждения полученных данных, выполняется комплексный расчет в программном комплексе Midas GTS NX. По результатам обследований и расчетов доказана невозможность применения стеклопластиковых емкостей, изготовленных методом спирально-перекрестной намотки. Результатом исследования стала положительная оценка применимости метода непрерывной намотки для изготовления горизонтальных емкостей в широком диапазоне глубины залегания.

**Ключевые слова:** Горизонтальные емкости из стеклопластика, метод непрерывной намотки, метод спирально-перекрестной намотки.

Для очистки стоков используются горизонтальные емкости - очистные сооружения. По данным ГУП Мосводосток, в ведении предприятия находится 230 очистных сооружений поверхностного стока. Ранее емкостное оборудование изготавливали из железобетона, доступного материала, позволяющего достаточно быстро возводить необходимое сооружение. Однако срок службы составлял до 50 лет из-за нарушения защитного слоя бетона, согласно Постановлению Правительства Москвы от 21 сентября 2016 г. № 574-ПП «Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения города Москвы на период до 2025 года» (с изменениями и дополнениями). Приложение 2. Схема водоотведения г. Москвы на период до 2025 года. Схемы водоснабжения и водоотведения города Москвы до 2025 года Том II. Схема водоотведения на период до 2025 года. и, как следствие, возникновение фильтрационных процессов в несущих конструкциях здания,

согласно ИТС 10–2015 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. На замену устаревшим технологиям пришли стеклопластиковые емкости, срок службы которых составляет более 50 лет [1,2]. Данный материал не взаимодействует с водой, что положительно влияет на применимость в конструкциях, контактирующих с водой. Стеклопластик менее жесткий, чем железобетон и применимость данных конструкций усложняется по мере заглубления строительства [3-5].

Целью данной работы являлось изучение поведения горизонтальных емкостей, изготовленных с помощью различных технологий: спирально-перекрестной намоткой и методом непрерывной намотки. В результате исследования будет оценена возможность применимости различных методов изготовления в данном типе конструкций.

В качестве объекта исследования выбраны стеклопластиковые емкости, изготовленные двумя разными методами:

- Спирально-перекрестной намоткой (далее – Метод 1);
- Непрерывной намоткой (далее – Метод 2).

Проведены натурные обследования деформаций построенных стеклопластиковых емкостей, взяты образцы материалов.

Основные характеристики исследуемых емкостей представлены в Таблице 1. Номерам 1 и 2 соответствуют изделия, выполненные Методом 1, 3 и 4 Методом 2 соответственно.

Для определения прочностных свойств материала были отобраны образцы для испытаний. Они представляют собой отрезки емкостей прямоугольной формы, торцы которых были перпендикулярными оси трубы [6-7]. Количество образцов одного наименования – 3 шт. Геометрические характеристики образцов представлены в Таблице 2.

---

Таблица № 1

Характеристики исследуемых стеклопластиковых емкостей

Номер конструкции	Номинальный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Глубина заложения (от верха емкости), м
1	3000	18±0,5	1,5
2	3000	18±0,5	2,0
3	3000	55,1±0,5	2,0
4	3000	55,1±0,5	4,0

Таблица №2

Геометрические характеристики испытываемых образцов

Номер конструкции	Длина образца, мм	Толщина образца, мм
1	249±0,5	18,58
	250±0,5	16,82
	250±0,5	18,01
2	249±0,5	18,11
	248±0,5	17,33
	250±0,5	18,04
3	250±0,5	55,04
	250±0,5	55,05
	251±0,5	55,02
4	249±0,5	55,15
	249±0,5	55,08
	250±0,5	55,03

Испытания выполнялись на испытательном стенде СК-2800, производства YLE GmbH, Германия на базе Завода Композитных материалов

ООО «НТТ-Пересвет». Испытания проводились, согласно ГОСТ Р 54925-2012, ГОСТ Р 55072–2021 Емкости из реактопластов, армированные стекловолокном. Технические условия, ГОСТ Р 54925-2012 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном. Методы определения начального окружного предела прочности при растяжении [8-10].

С целью подтверждения полученных натуральных данных были выполнены расчеты методом конечных элементов в апробированном программном комплексе Midas GTS NX. Данный программный комплекс позволил произвести комплексный расчет работы грунта и сооружения [11].

Основные данные в расчетной модели:

- Грунт задан моделью Мора-Кулона, основанной на параметрах грунта, приведенных в Таблице 3;

Таблица №3

Физико-механические характеристики грунта

Наименование	$E$ , МПа	$\mu$	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$e$ .	$C$ , кПа	$\varphi$ , град
Песок	21200	0.3	19,5	0.67	0	30

- Моделирование производилось с учетом стадийности возведения конструкции, учтены все нагрузки, согласно действующим строительным нормам.

Расчет проводился методом конечных элементов. Грунт представлен объемными элементами, стеклопластиковый корпус – оболочечными [12-14]. На Рисунке 1 представлена конечно-элементная модель грунтового массива и емкости.

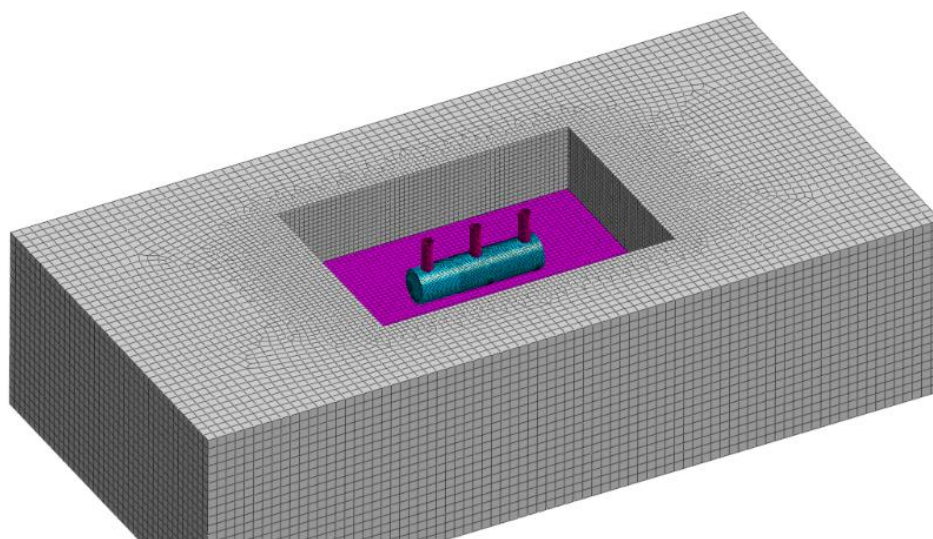


Рис.1 Конечно-элементная модель грунтового массива и  
стеклопластиковая емкость

Результаты испытаний представлены в Таблице 4. Были определены основные для стеклопластикового материала прочностные характеристики в окружном направлении, так как оно является основным при данном характере нагружений. Кольцевая жесткость была приведена к среднему значению.

Таблица № 4

Прочностные характеристики образцов.

Номер конструкции	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа	Кольцевая жесткость, Па
1	2	3	4
1	40.12	22437	2750
	41,52	19850	
	41,32	20222	
2	40,97	19769	2750
	45,44	20056	
	41.24	19985	

1	2	3	4
3	71,01	19613	10000
	71,03	19603	
	70,89	19634	
4	72,06	19498	10000
	71,24	19501	
	71.34	19571	

На рисунках 2 и 3 представлены фотографии разрушения конструкций №1 и №2, выполненных из стеклопластика, изготовленному по методу 1.

Деформации, полученные емкостями, отражены в Таблице 5. Деформации в таблице отражены в % от среднего диаметра емкости.

Таблица № 5

Деформации емкостей, изготовленных из стеклопластика методом 1.

Номер конструкции	Деформации %
1	6,8
2	7,3



Рис. 2 Разрушение боковой стенки с последующим выходом грунта



Рис. 3 Разрушение боковой стенки емкости с последующим выходом грунта, расслоение корпуса

Результаты расчета, выполненного в программном комплексе Midas GTS NX, представлены на Рисунке 4 для конструкции 1.

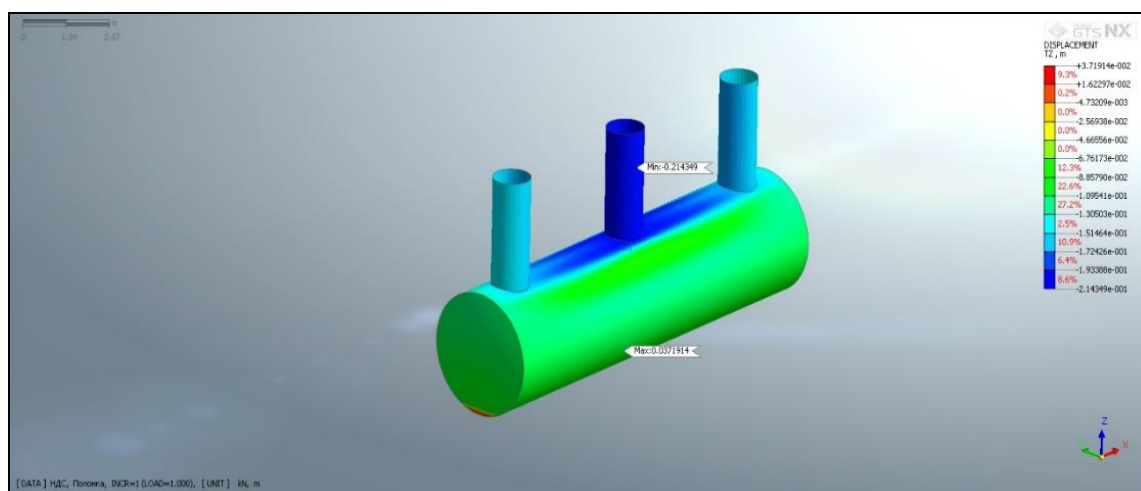


Рис. 4 Максимальные вертикальные перемещения, возникающие в стеклопластиковом корпусе, м.

Максимальные вертикальные относительные перемещения составляют 251,4 мм, что составляет 8,4% от общего диаметра емкости. Данное значение превышает предельное значение равное 6% согласно ТУ 22.21.21-004-99675234-2019 (взамен ТУ 2296-004-99675234-2014) Трубы, соединительные элементы и детали трубопроводов для канализации, водоотведения и дренажа из реактопластов, армированных стекловолокном, изготовленные по технологии «НТТ». Технические условия. Дата введения 01.07.2019 г.

На рисунках 5-6 представлены конструкции №3 и №4, соответственно, изготовленные методом 2.

Максимальные вертикальные относительные перемещения составляют 251,4 мм, что составляет 8,4% от общего диаметра емкости. Данное значение превышает предельное значение, равное 6%.

На рисунках 5-6 представлены конструкции №3 и №4, соответственно, изготовленные методом 2.





Рис. 5 Обследование  
стеклопластиковой емкости,  
выполненной методом  
непрерывной намотки



Рис. 6 Обследование  
стеклопластиковой емкости,  
выполненной методом  
непрерывной намотки

Деформации, полученные емкостями, отражены в Таблице 6. Деформации в таблице отражены в % от среднего диаметра емкости.

Таблица №6

Деформации емкостей, изготовленных из стеклопластика методом 2

Номер конструкции	Деформации %
3	2,1
4	3,4

Результаты расчета, выполненного в программном комплексе Midas GTS NX, представлены на Рисунке 7 продемонстрированы для конструкции 4.

Максимальные вертикальные относительные перемещения составляют 86 мм, что составляет 2,9% от общего диаметра емкости. Данное значение не превышает предельное значение равное 6% согласно ТУ 22.21.21-004-99675234-2019 (взамен ТУ 2296-004-99675234-2014) Трубы,



соединительные элементы и детали трубопроводов для канализации, водоотведения и дренажа из реактопластов, армированных стекловолокном, изготовленные по технологии «НТТ». Технические условия. Дата введения 01.07.2019 г.

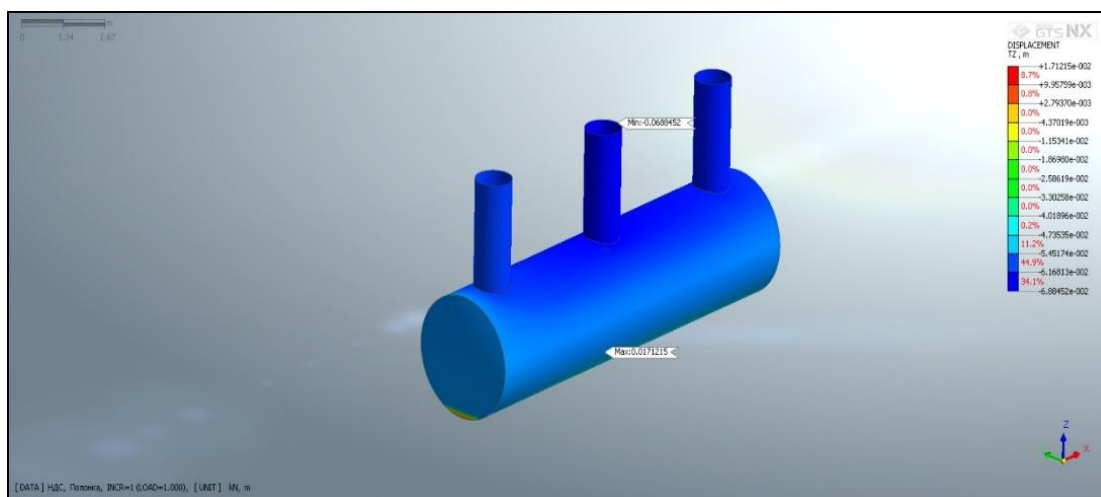


Рис. 7 Максимальные напряжения, возникающие в стеклопластиковом корпусе, м.

Незначительное отклонение полученных расчетных и натуральных деформаций обуславливается выбранной математической моделью грунтового основания.

Разрушение конструкций 1 и 2 происходит из-за потери прочности, как следствие, из-за возрастающих деформаций происходит отслоение боковой стенки емкости и заполнение внутреннего пространства конструкции грунтом. Конечно-элементная модель подтверждает данный вывод.

Характер разрушения говорит о том, что горизонтальным емкостям, изготовленных методом 1, недостаточно кольцевой жесткости. Увеличение толщины стенки, для увеличения кольцевой жесткости в данном методе экономически нецелесообразно. В той же степени нецелесообразно уменьшать глубину залегания емкостей [15].

По результатам натурных исследований и расчетах, выполненных методом конечных элементов, можно заключить, что кольцевая жесткость, которая достигается при изготовлении стеклопластиковой емкости методом непрерывной намотки, достаточна для противодействия возникающим вертикальным нагрузкам от грунта засыпки с учетом запаса прочности на 50 лет эксплуатации.

### Литература

1. Юченко Л.В., Вайнберг М.В., Чураев А.А., Использование стеклопластиковых труб в сельскохозяйственном водоснабжении // Экология и водное хозяйство. - 2019. - №3. - С. 35-39.
2. Li Hong (Ed.) *Fiberglass Science and Technology: Chemistry, Characterization, Processing, Modeling, Application, and Sustainability*. – Springer, 2021. 555 p.
3. Melnikov D.A., Ivanov S.V., Antoshin V.A. Glass-composite pipes and products from them: a given combination of operational and technological properties // *Best available technologies for water supply and sanitation*. - 2020. - No. 6. – pp. 22-23
4. Björklund, I. *Plastic pipes, their characteristics, and applications*. - М.: NPG, 2000. - 116 p.
5. Lopatina A.A., Sazonova S.A. Analysis of pipe laying technologies // *Bulletin of PNRPU. Construction and architecture* T. 7. 2016.- No. 1.- pp. 93–111
6. Туктарова, Ю. ATTSIELD C 105 - современное решение для производства стеклопластика // *Композитный мир*. – 2018. – № 5(80). – С. 44-47.
7. Антошин В.А., Мельников Д.А., Иванов С.В., Албагачиев А.Ю. Определение долговременных прочностных свойств стеклопластиковых труб для расчета срока эксплуатации. // В сборнике: *Фундаментальные*

исследования и инновационные технологии в машиностроении. Научные труды VII Международной научной конференции. - 2021. - С. 31-33.

8. Шершак П.В. Особенности национальной стандартизации методов испытаний полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. - 2019. - №2 (74). - С. 57-68.

9. Мельников Д.А., Ильичев А.В., Вавилова М.И. Сравнение стандартов для проведения механических испытаний стеклопластиков на сжатие// Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн., 2017. №3. Ст. 6. URL: [viam-works.ru](http://viam-works.ru) (дата обращения 28.03.2021).

10. Шамбина С.Л. Анизотропные композитные материалы и особенности расчета конструкций из них // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2005.- №1. - С. 21-27.

11. Воронцов Г.В., Евтушенко С.И. Математическая модель стеклопластиковых изделий, получаемых методом продольно-поперечной намотки // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. - 2009. - №3. - С. 33-41.

12. Воронцов Г. В. Определение остаточных напряжений в оболочках, получаемых методом намотки из композитных материалов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. - 2006. - №2. - С. 101-110.

13. Сухомлинов Л.Г., Шиврин М.В. Численное моделирование локально нагруженных через шпангоуты трехслойных композитных цилиндрических оболочек // Вестник ПНИПУ. Механика. - 2021. - №3. - С. 22-28.

14. Рогожникова Е.Н., Аношкин А.Н., Бульбович Р.В. Расчет НДС и оценка прочности сегментированной цилиндрической оболочки из композиционных материалов с металлическими вкладышами // Вестник ПНИПУ. Механика. - 2022. - №1. - С. 88-94.

---



15. Холодников Ю.В. Новые способы изготовления полимерных композитов // Sciences of Europe. - 2016. - №1-1. - С. 47-54.

### References

1. Yuchenko L.V., Vaynberg M.V., Churayev A.A., Ekologiya i vodnoye khozyaystvo. 2019. №3. p. 35-39.

2. Li Khun (red.) Nauka i tekhnologiya steklovolokna: khimiya, kharakteristika, obrabotka, modelirovaniye, primeneniye i ustoychivost' [Fiberglass Science and Technology: Chemistry, Characterization, Processing, Modeling, Application, and Sustainability.]. Springer, 2021. p.555.

3. Mel'nikov D.A., Ivanov S.V., Antoshin V.A. Nailuchshiyе dostupnyye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya. 2020. No. 6. pp. 22-23.

4. B'orklund I. Plastikovyе trubы, ikh kharakteristiki i primeneniye [Plastic pipes, their characteristics, and applications]. NPG, 2000. p.116.

5. Lopatina A.A., Sazonova S.A. Construction and architecture T. 7. 2016. No. 1. pp. 93–111.

6. Tuktarova, YU. Tuktarova Kompozitnyy mir. 2018. № 5(80). pз. 44-47.

7. Antoshin V.A., Mel'nikov D.A., Ivanov S.V., Albagachiyev A.YU. Nauchnyye trudy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 2021. pp. 31-33.

8. Shershak P.V. Trudy VIAM. 2019. №2 (74). pp. 57-68.

9. Mel'nikov D.A., Il'ichev A.V., Vavilova M.I. Trudy VIAM: elektron. nauch.-tekhnich. zhurn., 2017. №3. URL: viam-works.ru (date assessed 28.03.2021).

10. Shambina S.L. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. 2005. №1. pp. 21-27.

11. Vorontsov G.V., Yevtushenko S.I. Seriya: Tekhnicheskiye nauki. 2009. №3. pp. 33-41.

12. Vorontsov G. V. Tekhnicheskiye nauki. 2006. №2. pp. 101-110.



13. Sukhomlinov L.G., Shvirin M.V. Vestnik PNIPU. Mekhanika. 2021. №3. pp. 22-28.
14. Rogozhnikova YE.N., Anoshkin A.N., Bul'bovich R.V. Vestnik PNIPU. Mekhanika. 2022. №1. pp. 88-94.
15. Kholodnikov YU.V. Sciences of Europe. 2016. №1-1. pp. 47-54.