



FRP helical micro screw pile with cast iron pile cap: Review

Nurmukhametov, R.R.¹; Vatin, N.I.²; Mirsayapov, I.T.³; Vasyutkin, E.S.⁴; Burin, D.L.⁵; Vasyutkin, S.F.⁶;

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
nrenatkazan@gmail.com

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

³ Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

⁴ LLC "Composite Group", Balashikha, Russia

⁵ GUP "Saint Petersburg subway", Saint Petersburg, Russia

⁶ LLC "Composite Group", Balashikha, Russia

Key words:

Auger Piles; Fiberglass; Composite Piles; FRP Piles; Micro Piles; Screw Piles; Fibre Reinforced Polymer; Helical Piles; Soft Clay

Abstract:

Calculation method of pipes' FRP sections is proposed. Comparison of two options of piles' bearing capacity calculations is made. Calculated bearing strength of the pipe's sections for an axial load are compared to the results of site tests made earlier and soil's bearing strength. Conclusions are made that existing calculation methods of soil's bearing strength underneath helical piles are too conservative. Research provides results of bearing strength installed to weak clay helical fiberglass micropile. Pile was designed, produced and provided by Composite Group LLC. Pile is made with pultruded fibre reinforced polymer pipe and screw produced with cast iron. Screw is glued to the FRP pipe by epoxy. In addition rivets strengthen connection detail. This structure is stable for corrosion, ground electricity. FRP screw pile has small weight and high strength.

1 Introduction

Стальные винтовые сваи сравнительно с другими сваями замещения [1], [2] востребованы для возведения временных сооружений [3] и инфраструктурных транспортных объектов, защитных сооружений на реках, временных зданий и сооружений. Имеется много патентов для устройства понтонов, мостов, ледорезов и других аналогичных сооружений [4]–[8] с использованием винтовых свай.

На винтовых сваях возможно возводить здания из легких стальных холодногнутых оцинкованных профилей [9], [10]–[12]. Однако гальванический контакт между стальными винтовыми сваями из стали без цинкового покрытия и конструктивными элементами из тонкого стального оцинкованного профиля приводит к интенсивной электрохимической коррозии тонкостенного профиля с потерей цинкового покрытия и последующего коррозионного разрушения тонкого профиля. Конструктивные методы предотвращения такого контакта в узле сопряжения сваи и тонкостенных профилей (прокладки, изоляционные втулки крепежных элементов) сложны и малонадежны.

Композиты широко применяются для улучшения качества и долговечности дорожного покрытия [13]. Известны также композитные невинтовые сваи. Их преимущество перед традиционными стальными сваями это продолжительный срок службы, пониженный износ и старение в морских условиях эксплуатации, высокая удельная прочность, выражающаяся в отношении предела прочности к массе материала. Такие сваи просты в эксплуатации [14]. Они не требуют дополнительных затрат на окрашивание и грунтование. Pearson Pilings LLC (г. Сомерсет, США) производит трубчатые сваи из стеклопластиковых труб для морских условий эксплуатации в качестве защитных волнорезов. Предполагаемый срок их эксплуатации составляет более 100 лет. Сваи коррозионно устойчивы, имеют модуль Юнга 28 ГПа, что на 13 ГПа выше, чем у бетонных [15]. По заявлениям производителя поглощение влаги составляет менее 5%.

Производитель композитных свай CMI Ltd. (торговая марка 'UltraComposite', г. Вудсток, США) заявляет предел прочности при растяжении 165,4 МПа при диаметре свай 457,2мм [16].

Табл. 1. Сравнительные характеристики различных материалов.

Характеристика	Стекло пластик	ПВХ	Дерево (сосна)	Алюминиевые сплавы	Сталь
Плотность, кг/см ³	1,6...1,9	1,3...1,43	0,3...0,7 0,52	2,64-2,8	7,7...7,9
Модуль упругости, ГПа	17...22	2,0...2,8	7...12	70-71	210
Предел прочности при растяжении (для металлов предел текучести), МПа	170...227	4...7	83...130	50-440	200...226
Предел прочности при изгибе, МПа	690...1240	30-110		275	400
Коэффициент линейного термического расширения, 10 ⁻⁶ /К	0,45... 8,3	50..75	2,7...5	19,6...26,9	11...15
Теплопроводность, Вт/К*м	0,3... 0,75	0,13...1,63	0,1...0,23	105...221	17,5...64
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом x м	0,75	диэлектрик	Диэлектрик – в сухом виде	Проводник	Проводник
Гигроскопичность, %	0,5	низкая	высокая	-	-
Стойкость к воздействию химически агрессивных сред, солевых растворов	Стоек	Стоек		Подвержен электрохимической коррозии. Требуются специальные меры по защите.	Подвержена электрохимической коррозии. Требуются мероприятия по защите от коррозии
Эксплуатационные затраты	Восстановление цветовой окраски по мере снижения её интенсивности (в случае ее наличия для защиты от УФ излучения)	Краска нужна для защиты от УФ излучения	Краска и пропитки нужны для защиты от УФ излучения, воды	Требуются регламентные работы не реже 1 раза в год	Требуются регламентные работы не реже 1-2 раза в год

Возможность реализации архитектурно-дизайнерских решений	Требуется изготовление относительно недорогой технологической оснастки.			Требуется дорогостоящая реконструкция оборудования	Требуется дорогостоящая реконструкция оборудования
--	---	--	--	--	--

Композитные сваи позволяют использовать материалы вторичной переработки. Отсутствует отслаивание материала или растворения особенно в условиях разъедания в морской агрессивной среде, как это происходит у свай, изготовленных из дерева, металла или железобетона. Происходит восстановление прибрежной экологии при замене пропитанных крезолом деревянных свай, распространявших отравляющие химикаты в прибрежных бухтах. Риски нанесения вреда здоровью персоналу значительно уменьшаются при использовании стеклопластиковых свай. Creative Composites (США) производят композитные сваи, в которых переработанное сырье составляет до 85% используемых при изготовлении материалов. При этом заявленный срок службы у таких свай составляет более 75 лет. Из таких свай не вымываются в окружающую среду пестициды, фунгициды и консерванты, присутствующие в деревянных сваях, что особенно актуально при использовании в морской среде.

Guades [17] описывает дополнительное преимущество композитных свай, заключающееся в отсутствии необходимости дополнительной обработки химикатами, так как антикоррозионные свойства уже заложены в саму суть стеклопластиков.

Искандер [18] обозначил факторы, сдерживающие широкое распространение композитных свай:

- физико-механические характеристики требуют уточнений и испытаний с учетом длительного нагружения и выдерживания в полевых условиях,
- отсутствие полноценной методики расчета сдерживают запуск массового производства и реализации данного продукта.

Рассматриваемая в статье стеклопластиковая свая перспективна ввиду вышеперечисленных преимуществ, но требует определения несущей способности, как по материалу, так и по грунту. Первостепенной задачей является поиск существующих методов расчета, выработка собственных методов и сравнение получаемых по ним значений с результатами натуральных испытаний.

Целью настоящего исследования является разработка метода расчета несущей способности винтовой композитной сваи с учетом полученных ранее результатов применения стеклопластиков в качестве основного несущего материала свай.

По результатам данного исследования необходимо будет отобрать главные физико-механические характеристики, определяющие несущую способность композитной винтовой сваи. Полученные знания можно будет использовать для улучшения деформационных характеристик слабых водонасыщенных глинистых грунтов.

В настоящее время актуальными задачами, стоящими перед исследователями, являются:

1. Расчет соединения винтовой лопасти и стеклопластикового основания. Данное место является по праву самым ответственным, так как воспринимает наибольшее сопротивление при погружении свай. В то же время, данный узел, находясь в основании сваи, хоронится под толщами грунта. Таким образом, практически невозможно осуществить контроль данного узла после погружения. Что иногда может привести к плачевным результатам.



Рис. 2. Срез винтовой лопасти.

2. Вторым по нагруженности узлом можно назвать узел соединения тела сваи и завинчивающего механизма. Локальная деляминация в данном узле также значительна, но она контролируется. Явление предотвратимо на этапе проектирования увеличением толщины стенки в месте

Nurmukhametov, R.R.; Vatin, N.I.; Mirsayapov, I.T.; Vasyutkin, E.S.; Burin, D.L.; Vasyutkin, S.F.

FRP helical micro screw pile with cast iron cap: Review

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 89 Article No 8903. doi:10.18720/CUBS.89.3

приложения нагрузки. Верхняя часть трубы, как правило, после завинчивания срезается, что не представляет технической сложности. Расчет прочности стеклопластиковой трубы при тангенциальных нагрузках завинчивания зависит от множества технологических и конструктивных особенностей и требует дополнительного внимания исследователей.

3. Немаловажным является расчет тела сваи и подбор сечения на кручение. Но данный расчет является инженерным и представляет незначительный интерес с научно-исследовательской точки зрения. Однако определение предельно допустимого момента для сравнительно нового материала и профиля трубы также актуально.

Интересным вопросом может являться потенциальный эффект деляминации композитных труб, возникающий при передаче крутящего момента на основание сваи. Для его изучения допустимо использование существующего норматива для испытания на трехточечный изгиб [19] и проведение дополнительных испытаний.

4. Одним из интересных вопросов также является максимальная длина таких свай. То есть необходим узел, обеспечивающий равнопрочный стык и позволяющий удлинять такие сваи. Вопрос актуален для больших толщ водонасыщенных глинистых грунтов малой и средней степени литификации, характерных для Санкт-Петербурга. Несмотря на главное преимущество технологии пултрузионного изготовления труб, при которой длина не имеет ограничений, длина будет лимитирована логистикой, правилами дорожного движения при перевозке негабаритного груза и завинчивающим оборудованием.

Наращивание материала основания свай также является скорее инженерной, чем научной задачей. Однако сам стык, также воспринимающий передаваемый через него крутящий момент, по характеру работы будет схож с винтовой лопастью, расположенной в основании. Те же усилия, что и сопротивление лопасти, будут передаваться через данное соединение. Требуется поиск эффективных конструкций и технологий, например - труба в трубе и надежное клеевое соединение либо комбинированное нагельно - клеевое подобное описываемому ниже соединению винта и трубы.

5. Предельно допустимое усилие, прикладываемое к композитным сваям при работе на выдергивающую нагрузку.

6. Также необходимо будет определить предельную несущую способность при приложении горизонтальной нагрузки.

7. Проведение эксперимента по включению в работу боковой поверхности винтовой композитной сваи и получении коэффициента, учитывающего за счет этого прирост несущей способности винтовых композитных свай.

Возможно, некоторые задачи, поставленные в данной статье, уже решены, но не опубликованы, не переданы огласке или не найдены автором. Так, например, исследователи Pando [14] и Valez [20] не только испытали несколько видов композитных свай, но также и внедрили усовершенствования, позволившие сократить разрыв между исследованиями и полноценным внедрением на производстве. Valez [20] испытал работу, как стеклопластиковых, так и углеволоконных свай в слабых грунтах в стабилизированном и нестабилизированном состояниях. Его результаты показали, что композитные сваи имели большие адгезию и несущую способность по сравнению со стальными. Но в то же время испытывали большее отклонение оголовка сваи.

Вопросы деляминации активно изучают O'Keefe и Sirimanna [17], испытывавшие эпоксидные смолы, которые можно было бы инъектировать между ядром, железобетонным заполнением сваи и оболочкой, композитной трубой при использовании заполняемых свай. Подобные включения позволяют улучшить сцепление и обеспечить передачу динамических усилий. Что особенно актуально при динамических нагрузках, передаваемых погружающей техникой на забивные сваи. Необходимо проводить дополнительные исследования с целью изучения явления и разработки эффективных технологий для исключения деляминации у различных композитных свай-оболочек.

Основным недостатком подобных свай является стоимость производства. Композитные сваи лишь начинают появляться в гражданском строительстве, и производству еще предстоит найти недорогие решения для их изготовления. [21]. Однако, процесс удешевления технологий необратим по мере распространения применения данных конструкций [22].

В то же время стартовая стоимость композитных материалов быстро окупается по мере эксплуатации конструкций. Как описано в статье Mohajerani и Zyka [23], жизненный цикл стеклопластиковых свай SEAPILE производства Bedford Technology's значительно дольше в сравнении со стандартными деревянными сваями. Уже после 6 лет эксплуатации стоимость композитных свай сравнима со стоимостью деревянных свай. Таким образом, в более длительной перспективе композитные сваи становятся дешевле аналогов [24].

Об этих же сложностях пишут и наши соотечественники Васюткин С.Ф и Васюткин Е.С. [25], [26], обращая внимание на несовершенство современных процедур ценообразования в строительстве, нормативов для сметных расчетов и проводимых тендеров. Существующие процедуры выбора материала и подрядчиков не учитывают продолжительность жизни конструкции и стоимость обслуживания в ходе эксплуатации.

Актуальным решением многих вышеперечисленных сложностей может послужить композитная винтовая свая, разработанная и изготавливаемая ООО «Композит Групп». Свая является однолопастной винтовой сваей, основание которой выполнено из стеклопластиковой трубы, изготовленной методом пултрузии, а лопасть с наконечником выполнены из чугуна. Трубы, производимые методом пултрузии, позволяют обеспечить изготовление профилей условно бесконечной длины. Это решает задачу необходимости наращивания длины ствола сваи.



Рис. 3. Конструкция композитной винтовой сваи



Рис. 4. Наконечник с лопастью

Лопасть сваи является наиболее ответственным местом, обеспечивая передачу крутящего момента в осевое усилие погружения и неся всю нагрузку сваи от фундамента. Лопасть изготовлена литьём из чугуна диаметром 300мм.

Наиболее ответственным узлом является соединение стеклопластиковой трубы и наконечника. В ранних исследованиях разработчика данной сваи были рассмотрены два варианта: нагельное соединение и клеевое на эпоксидной смоле [27]. Клеевое соединение более перспективно ввиду отсутствия разрушения пултрузионной трубы в наиболее нагруженном узле сваи. Необходимы дополнительные исследования прочности клеевого соединения. Так, при проведении вышеуказанных предыдущих испытаний произошел отрыв стеклопластиковой трубы от наконечника, соединенного клеевым составом. При этом усилие, передаваемое на трубу, не было указано, но отмечен крутящий момент (5200 кгс*м) погружающего оборудования. В рассматриваемом здесь образце применено комбинированное соединение из четырех заклепок и эпоксидной смолы.

Основание образца винтовой сваи представлено трубой, изготовленной методом пултрузии, и имеющей характеристики, указанные в таблице №2.

Табл. 2. Характеристики образцов труб

Профиль	Размеры образца			g, г	γ , г/см ³	E, ГПа	R, МПа
	l, мм	d _н , мм	d _в , мм				
Труба	1300	99	91	2636	1,7	17	200

l – длина, мм

d – диаметр, мм

g – масса образца, г

γ – плотность, г/см³

E – модуль упругости, ГПа

R – предел прочности при растяжении, МПа



Рис. 5. Сечение стеклопластикового основания сваи.

Стальной оголовок сваи не представляет большого научного интереса, так как не несет в себе новизны. Конструкция собрана на сварке. Предусматривает бесшовную стальную трубу диаметром 106 мм, толщиной стенки 3 мм и высотой 40 мм, к которой приварены опорная пластина размерами 250x250 мм и толщиной 3 мм и четыре косынки.

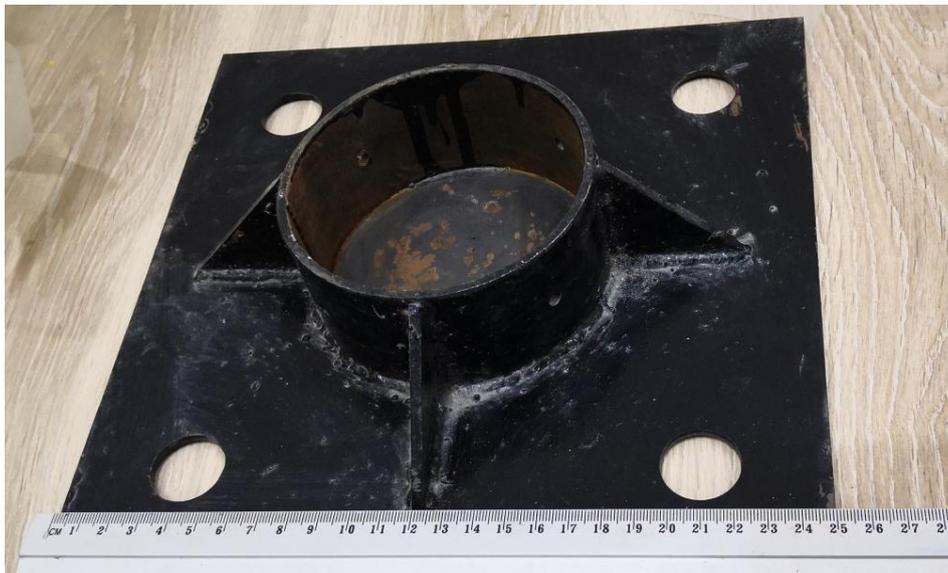


Рис. 6. Оголовок винтовой сваи.



Рис. 7. Оголовок винтовой сваи.

2 Methods

Задачу определения несущей способности по материалу винтовой сваи, изготовленной из композитной трубы, решаем аналитическими методами, приняв за основу формулы Эйлера и метод расчета по допускаемым напряжениям, применяемые для стальных конструкций.

Так для элементов с нормативным сопротивлением $R_{yn} \leq 440 \text{ Н/мм}^2$ при центральном растяжении или сжатии расчет на прочность следует выполнять из условия:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1$$

Таким образом, максимально допустимое усилие на сваю по прочности стеклопластикового тела основания будет:

$$N \leq A_n * R_y * \gamma_c$$

3 Results and discussion

3.1 Определение несущей способности ствола сваи

Для количественной оценки возможностей исследуемой конструкции определена несущая способность трубы, используемой в качестве основания сваи.

Характеристики трубы приняты на основе результатов обширной работы, производимой ООО «Композит Групп» и отображены в таблице №2.

Максимально допустимое усилие на стеклопластиковое тело основания $N = 0,23864 \text{ МН} = 24,3 \text{ т}$.

Таким образом, несущая способность ствола сваи по материалу достаточна и имеет излишний запас по прочности. В дальнейшем необходимо сравнить с методикой расчета несущей способности свай по грунту и оптимизировать конструкцию сваи. Достаточно применять меньшие диаметры труб, так

как имеющиеся образцы не выбирают весь потенциал несущей способности по материалу. Что в свою очередь лишь усиливает главный недостаток композитных материалов, выражающийся в высокой стоимости на этапе закупки конструкции.

Расчет на устойчивость стоек пока не ведем, так как в горизонтальном направлении свая окружена грунтом, не позволяя ей потерять устойчивость. Однако определим предельную длину сваи, выполненной из 100 мм трубы с толщиной стенки 4 мм для случая отсутствия окружающего грунта, например, для лабораторных условий испытания трубы на прессе.

В зависимости от расчетной схемы коэффициент расчетной длины следует принимать в следующих пределах.



Лопасть, превышающая в 4 раза диаметр основания сваи и наиболее вероятно не позволяющая поворот, обеспечивает жесткую заделку. Тем не менее, для расчета на данном этапе в запас примем шарнир и коэффициент расчетной длины $\mu = 1,0$.

В дальнейшем для более точных расчетов коэффициенты расчетной длины ствола сваи с упругим закреплением концов будем определять по формулам, приведенным в таблицах И.1 и И.2 приложения И норматива «Стальные конструкции» СП 16.13330.2017 и с учетом бокового обжатия грунта.

Расчетная длина $l_{ef} = \mu l = 1\text{ м}$

Гибкость элемента $\lambda = l_{ef} / i = 100\text{ см} / 3,36\text{ см} = 29,75$

Предельная гибкость 180-60 α , где $\alpha = N / (\varphi A R_y \gamma_c)$ не превысит 1.

Тогда максимальная длина составляет не более 4,03 м.

3.2 Определение несущей способности сваи по грунту

Согласно Николишину [28] опытным путем установлены усредненные характеристики различных свай. Так, сваи диаметром 108 мм способны выдерживать нагрузку до 5—7 тонн. При диаметре 89 мм – предельная несущая нагрузка – около 3—5 тонн. Самые тонкие сваи диаметром 73 мм способны выдержать до 3 тонн вертикальной нагрузки.

Выбор длины винтовой сваи зависит в основном от типа грунта, на которую будет опираться лопасть. На участках с устойчивым грунтом достаточно длины сваи 2,5 метра. Окончательный выбор должен учитывать запас на перепад высот на участке под строительство.

Проведем аналогичные расчеты несущей способности по разным нормативным документам и для разных конструкций свай. Определенные несущие способности винтовых свай отобразим на графике (рис. 8). В качестве характеристик основания для расчетов примем значения для слабых глинистых грунтов, полученные в ходе испытаний описанных выше свай, производимых ООО «Композит Групп» [29], недостающие значения примем из работ Мирсаяпова И.Т. [30], [31]

Табл. 3. Физико-механические характеристики основания.

Геол. индекс	Наименование номенклатурное	Характеристика	I_p	W	ρ , т/м ³	e	I_L	ϕ , °	c , кг/см ²	E , кг/см ²
lg III	Суглинок	Xn	0.04	0.38	1.91	1.02	1	7	0.07	70
	ленточный	XI		-	1,91±0,10	-		6	0.05	
	текучепластичный	XII		-	1.91	-		7	0.07	

Расчеты несущей способности винтовой сваи по грунту произведены по СП 24.13330.2011 и по СТО, разработанному в ФСК ЕЭС [32].

СП 24.13330.2011			СТО 56947007-29.120.95-050-2010		
$F_d = \gamma_c [F_{d0} + F_{df}]$			$F_{d,du} = \gamma_c [\gamma_{cr} (\alpha_1 c_1 + \alpha_2 \gamma_1 L) A + \gamma_{cf} f u (L_1 - D)]$		
γ	0,7				

$F_{d0} = (\alpha_1 c_1 + \alpha_2 \gamma_i h_1) A$					
c_1	0,05	кг/см ²			
			γ_c	1,2	
			γ_{cR}	0,9	
α_1	7,8		α_1	7,8	
α_2	2,8		α_2	2,8	
γ_i	1,91	т/м ³	γ_i	0,79	т/м ³
			$\gamma_i = (\gamma_s - \gamma_w) / (1+e)$		
h_1	1,7	м	L	1,7	м
D	0,4	м	D	0,4	м
A	0,1256	м ²	A	0,1256	м ²
F_{d0}	1631,7	кг			
$F_{df} = u f_i (h - d)$			γ_{cf}	0,9	
u	1,256	м	u	1,256	м
f	3,5	кПа	f	5	кПа
h - d	1,3	м			
F_{df}	571,48	кг			
F_d	1542,3	кг	F_d	1922,93	кг

3.3 Сравнение полученных результатов.

Результаты вышеприведенных расчетов отобразим на сравнительном графике. Также на график наносим значения, полученные в ходе натурных испытаний [29]. Следует отметить, что сваи не достигли предела несущей способности в ходе испытаний. При этом значения несущей способности оказались более чем в 6 раз больше рассчитанных по грунту основания. Это еще раз подтверждает утверждение Железкова [33] о том, что в действующей нормативной документации заложен большой запас и требуются уточнения существующих теорий расчета винтовых свай.

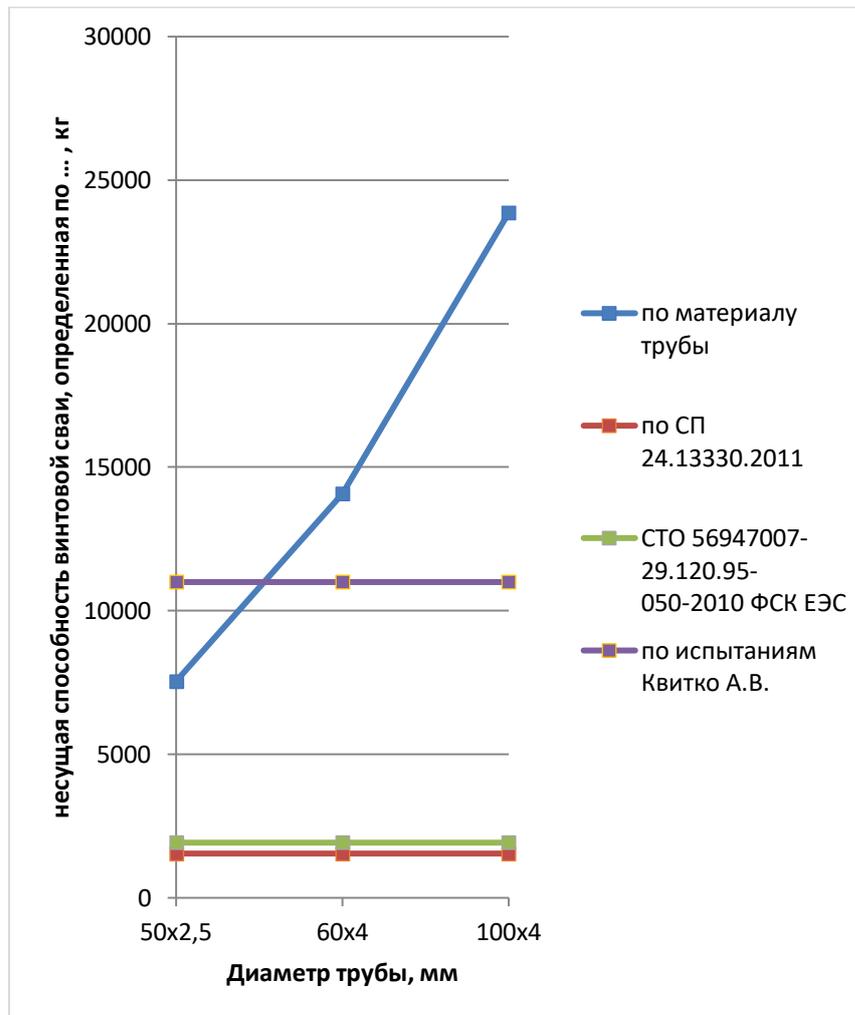


Рис. 8. График сравнения значений несущей способности винтовой композитной сваи, полученных расчетами по несущей способности трубы, основания и сравниваемых с результатами натуральных испытаний [29].

Накладывая на этот же график несущую способность по материалу ствола сваи на осевое сжатие, рассчитанную по методу расчета по допускаемым напряжениям, предложенному в данной статье видно, что композитная труба диаметром 100 мм, используемая ООО «Композит Групп» имеет колоссальный запас по прочности. Поэтому сразу же рассчитываем максимально возможную воспринимаемую нагрузку для отличных диаметров труб и наносим на график несколько точек. Из графика видно, что при получаемых в ходе натуральных испытаний показателях несущей способности сваи достаточно применять трубу 60x4. При этом стоимость такой трубы, почти в 2 раза ниже стоимости трубы 100x4.

В ходе исследования проведены изыскания среди современных научных публикаций об актуальности исследования применения стеклопластиков в качестве основного несущего материала свай. Научное сообщество заинтересовано в изучении данных конструкций.

Проверено наличие действующих нормативных документов для расчета несущей способности композитных материалов и винтовых свай. Сделан вывод, что несколько групп ученых занимаются разработкой аналогичных конструкций, имеется ряд схожих патентов и предложений по методикам расчета.

При всей актуальности темы, очень много вопросов возникает в связи с недостаточной изученностью вопроса. Существующая нормативная документация для определения несущей способности свай по грунту демонстрирует значительные запасы. Массовое применение композитов для свай сдерживается отсутствием общепризнанных и официально оформленных методик расчета композитных конструкций. В свою очередь массовое производство могло бы уменьшить влияние главного сдерживающего фактора распространения композитов – их стоимость.

Перспективность материала и все большая его интеграция в народное хозяйство предопределяет развитие образовательных учреждений. Университетам необходимо создавать кафедры и лаборатории для изучения и преподавания основ применения композитных материалов аналогично существующим сейчас кафедрам металлических и железобетонных конструкций.

Предложенная теория расчета сечения показывает неплохую сходимость с результатами натуральных испытаний, проведенных другими авторами, что дает ей право на существование и дальнейшее изучение.

По результатам данного исследования очевидно, что главными физико-механическими и геометрическими характеристиками, требуемыми для определения несущей способности композитной винтовой сваи по материалу сваи являются предел прочности при сжатии R и расчетная длина сваи.

3.4 Направления дальнейших исследований

Применение стеклопластиков в подземных конструкциях является актуальным направлением научно-исследовательских изысканий. Перспективы развития уже оценены многими инвесторами по всему миру, что подтверждается ростом количества научных статей и докладов на конференциях, опубликованных за последние 10 лет.

Стеклопластики экологичны, позволяют не задумываться о вопросах коррозии в агрессивных средах, обладают достаточной прочностью, малой теплопроводностью и технологичностью производства.

Требуется дополнительные исследования материала. Особенно в части долговечности материала и влияния на окружающую среду, возможного негативного эффекта на нее с течением времени.

Массовое применение стеклопластиков сдерживается отсутствием нормативной документации, достаточных подтвержденных методик расчета и экспериментальных исследований. Имеющиеся в общем доступе результаты экспериментальных исследований позволяют приблизиться к определению расчетной модели.

В результате анализа экспериментов, описанных Квитко А.В. [29], и нашей оценкой несущей способности аналогичных свай установлено, что стеклопластиковые сваи сечением 100x4 мм и диаметром винтовой части 400 мм имеют значительный запас по прочности. Предварительные расчеты показывают, что такая конструкция сваи имеет 15-ти кратный запас прочности по материалу относительно имеющейся в настоящее время нормативной документации расчета свай по несущей способности по грунту и 2-х кратный запас относительно фактических испытаний. Это явление требует дополнительного рассмотрения в более масштабных экспериментах.

Основной недостаток стеклокомпозита, заключающийся в большой стоимости, может, будет преодолен в ближайшее время путем оптимизации конструкции и запуском производственной линии, которая позволит сократить накладные расходы. А в долгосрочной перспективе стеклокомпозит является более экономически эффективным материалом в сравнении с традиционными. Что в свою очередь создает предпосылки для увеличения инвестирования данных исследований и продолжения начатой работы, результатом которой могут стать создание новых кафедр в университетах, методик расчета федерального уровня.

На будущем этапе в рамках исследования соединения композитного тела сваи и чугунного наконечника необходимо изучить работу клеевого соединения. Также возможными этапами исследований могут быть:

1. Расчет пултрузионной трубы на локальное смятие;
2. Детальное изучение клеевого состава и подбор методики расчета;
3. Расчет материала трубы на крутящий момент, изучение деформации, определение пределов несущей способности на кручение и сравнение с пределом несущей способности соединения винтового наконечника с трубой;
4. Моделирование работы соединения методом конечных элементов (предполагаемые ПО Ansys, Лира или Solid);
5. Сравнение с пределами, достигнутыми в ходе проведения натуральных испытаний [29];
6. Проведение серии опытных исследований несущей способности стыка двух материалов. Сравнение с теоретическими предпосылками;
7. Выработка собственной методики расчета стыка на основании проведенных теоретических и практических исследований.
8. Уточнение методики расчета в слабых водонасыщенных глинистых грунтах с учетом ранее проведенных изысканий [34], [35].

4 Conclusions

В представленной работе сведены результаты обзора статей по композитным сваям с целью определения оптимальной конструкции свай. Проведен анализ несущих способностей свай различных конструкций и материалов.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

- В виду большого перечня преимуществ композитов были разработаны и успешно применяются различные конструкции композитных свай. Одними из наиболее часто применяемых конструкций являются забивные сваи замещения, применяемые в прибрежных акваториях.
- Основным недостатком композитных конструкций является высокая стоимость стеклопластиковых труб.
- Предложенная конструкция от ООО «Композит Групп» имеет значительный запас прочности. Следовательно, имеет потенциал к оптимизации.
- Предложено оптимизировать сечение сваи. Оптимальным сечением трубы по предварительным расчетам будет 60x4.

В виду отсутствия нормативной документации для стеклопластиковых конструкций, прочностной расчет выполнен по методу допускаемых напряжений аналогично с применяемыми для стальных конструкций и принятыми в нормативном документе СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Аналогичные методы расчета в сочетании с программно-вычислительными комплексами приняты и в ООО «Композит Групп».

5 Acknowledgements

This research work was supported by the Academic Excellence Project 5-100 proposed by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation.

References

1. Ponomarev A.B., Sychkina E.N. On the Stress-Strain State and Load-Bearing Strength of Argillite-Like Clays and Sandstones. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2018. 3(55). Pp. 141–145. DOI:10.1007/s11204-018-9517-1.
2. Bartolomei A.A., Ponomarev A.B. Experimental investigations and prediction of settlements of conical-pile foundations. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2001. 2(38). Pp. 42–50. DOI:10.1023/A:1010422029681.
3. Polishchuk A.I., Maksimov F.A. Improving the Design of Screw Piles for Temporary Building Foundations. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2016. 4(53). Pp. 1–4. DOI:10.1007/s11204-016-9399-z.
4. Pat. RU2 446 246 S2 RF, MPK E01D 21/00, Sposob sborki inventarnogo nizkovodnogo mosta na vintovykh svayakh nadvizhkoj proleznogo stroyeniya.
5. Pat. RU 187 577 RF, MPK E02D 5/52, E02D 5/56, Vintovaya teleskopicheskaya svaya iz stekloplastikovykh trub s opornym nagolovnikom.
6. Pat. RU 160 663 RF, MPK E02D 5/56, Odnovitkovaya vintovaya stekloplastikovaya svaya.
7. Pat. RU 191 864 RF, MPK E02D 5/52, E01D 19/14, Golovnaya teleskopicheskaya vintovaya svaya iz stekloplastikovykh trub dlya kustovogo inventarnogo ledoreza.
8. Pat. RU145 340, Pat. RU 145 340 RF, MPK E02D 5/56, Odnovitkovaya vintovaya stekloplastikovaya svaya.
9. Garifullin M.R., Barabash A. V., Naumova E.A., Zhuvak O. V., Jokinen T., Heinisuo M. Surrogate modeling for initial rotational stiffness of welded tubular joints. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. 3(63). Pp. 53–76. DOI:10.5862/MCE.63.4.
10. Vatin N.I., Nazmeeva T., Guslinsky R. Problems of cold-bent notched c-shaped profile members. *Advanced Materials Research*. 2014. (941–944). Pp. 1871–1875. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.1871.
11. Garifullin M., Bronzova M.K., Heinisuo M., Mela K., Pajunen S. Cold-formed RHS T joints with initial geometrical imperfections. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 4(80). Pp. 81–94. DOI:10.18720/MCE.80.8.
12. Trubina D., Abdulaev D., Pichugin E., Rybakov V. Effect of constructional measures on the total and local loss stability of the thin-walled profile under transverse bending. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. (633–634). Pp. 982–990. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.633-634.982.
13. Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomaryov A.B., Bogomolov A.N. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals. *Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Proceedings of the 12th European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Amsterdam, June 1999. Vol 2. 1999. Pp. 1197–1202.*
14. Pando M.A., Ealy C.D., Filz G.M., Lesko J.J., Hoppe E.J. A laboratory and field study of composite pile for bridge substructures. *US Department of Transportation*. 2006.
15. Pearson Piling URL: <http://www.pearsonpiling.com>.
16. CMIC Sheet Piling. URL: <http://cmisheetpiling.com>.

17. Guades E.J., Sirimanna C.S., Aravinthan T., Islam M.M. Behaviour of fibre composite pile under axial compression load. *Incorporating Sustainable Practice in Mechanics of Structures and Materials - Proceedings of the 21st Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*. 2011. Pp. 457–462. DOI:10.1201/b10571-81.
18. Iskander M.G., Hanna S., Stachula A. Driveability of FRP composite piling. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2001. DOI:10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:2(169).
19. GOST 32659-2014 (ISO 14130-:1997). Kompozity polimernyye. Metody ispytaniy. Opredeleniye kazhushchegosya predela prochnosti pri mezhsloynnom sdvige metodom ispytaniya korotkoy balki 2015. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.
20. Giraldo Valez J., Rayhani M.T. Axial and lateral load transfer of fibre-reinforced polymer (FRP) piles in soft clay. *International Journal of Geotechnical Engineering*. 2017. 2(11). Pp.. 149–155. DOI:10.1080/19386362.2016.1198109.
21. Heinz R. Plastic piling. *Civil engineering ASCE*. 1993.
22. Iskander M.G., Hassan M. State of the practice review in FRP composite piling. *Journal of Composites for Construction*. 1998. DOI:10.1061/(ASCE)1090-0268(1998)2:3(116).
23. Zyka K., Mohajerani A. Composite piles: A review 2016.
24. Bedford Technology Pty Ltd. URL: <http://www.plasticboards.com>.
25. Vasyutkin Ye.S., Vasyutkin S.F. Trekhmernoye proyektirovaniye konstruksii, tekhnologicheskoy osnastki i opyt vnedreniya kompozitnykh sistem dlya vodootvedeniya v dorozhnom stroitelstve. Doklady nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kompozitnyye materialy v stroitelstve obyektov transportnoy infrastruktury», posvyashchennoy 145-letiyu Patona Ye.O. 2015. Pp. 29–32.
26. Vasyutkin Ye.S., Savkin D.A. Opyt sozdaniya i primeneniya kompozitnykh vodootvodnykh sistem na mostovykh sooruzheniyakh. Doklady nauchno-prakticheskoy konferentsii «kompozitnyye materialy v stroitelstve obyektov transportnoy infrastruktury», posvyashchennoy 145-letiyu Patona Ye.O. 2015. Pp. 32–35.
27. Kvitko A.V. Opyt razrabotki i ispytaniy konstruksii kompozitnoy vintovoy svai diametrom 100 mm. Doklady nauchno-prakticheskoy konferentsii kompozitnyye materialy v stroitelstve obyektov transportnoy infrastruktury, posvyashchennoy 145-letiyu Patona Ye.O. 2015. Pp. 56.
28. Nikolishin I. *Fundament na vintovykh svayakh*. M.: Izdatelskiye resheniya, 2018.
29. Kvitko A.V. Rezultaty ispytaniy kompozitnykh stekloplastikovyykh svay. *Geotekhnika*. 2015. 53(6). Pp. 88–93.
30. Mirsayapov I.T., Koroleva I. V. Clayey soils rheological model under triaxial regime loading. *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development - Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2015*. 2015. (6). Pp. 3249–3254.
31. Mirsayapov I.T., Koroleva I. V. Prediction of deformations of foundation beds with a consideration of long-term nonlinear soil deformation. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011. 4(48). Pp. 148–157. DOI:10.1007/s11204-011-9142-8.
32. STO 56947007- 29.120.95- 050-2010. Normy proyektirovaniya fundamentov iz vintovykh svay 2010.
37. Zhelezkov V.N., Romanov P.I., Kachanovskaya L.I., Yermoshina M.S. Razrabotka Normativnogo Dokumenta “Proyektirovaniye I Ustroystvo Fundamentov Na Vintovykh Svayakh”. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*. 2008. 2 (15). Pp. 42–46.
34. Nurmukhametov R.R. Reduction of water saturated clayey soils' deflections by reinforcement. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2019. 84(9). Pp. 22–33. DOI:10.18720/CUBS.84.2.
35. Nurmukhametov R.R. Deformability of water saturated clay reinforced by vertical elements. *Alfabuild*. 2019. 11(4). Pp. 54–69.