МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
Академия строительства и архитектуры
Факультет инженерных систем и природоохранного строительства
Кафедра «Природоохранного и гидротехнического строительства»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему: Совершенствование конструкций гидротехнических сооружений
в виде подпорных стен

Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ПГТС
Михасек Андрей Александрович
Работу выполнил: магистрант каф. ПГТС
Овчинников Игорь Вадимович

Самара
2021 г.

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Актуальность работы

Строительство гидротехнических сооружений связано с выполнением значительного объема строительно-монтажных работ. Сокращение затрат на строительство подобных сооружений является актуальной задачей.

Цель исследования

Совершенствование конструкций гидротехнических сооружений в виде подпорных стен

Задачи исследования

- анализ конструктивных решений подпорных стен;

- поиск решения по применению современных материалов, позволяющего существенно сократить затраты на строительство сооружений, а также затраты на его эксплуатацию за счет увеличения срока межремонтного периода;

- конструирование подпорной стены с применением современных материалов;

- моделирование напряженно-деформированного состояния усовершенствованной конструкции;

- оценка технико-экономических показателей усовершенствованной конструкции.

Классификация подпорных стен в соответствии с СП 381.1325800.2018 Сооружения подпорные

1. По пространственной компоновке:
   - линейные
   - точечные

2. По способу изготовления:
   - возводимые до формирования поддерживаемого грунта
   - возводимые после формирования поддерживаемого грунта

3. По сроку службы:
   - постоянные
   - временные

4. По виду воспринимаемых нагрузок:
   - несущие
   - ненесущие

5. По способу распределения нагрузки на элементы подпорного сооружения:
   - сплошные
   - дискретные

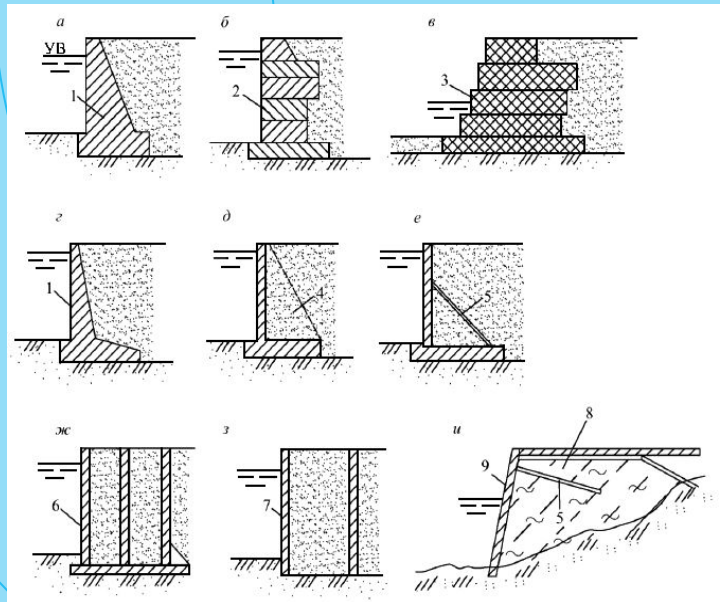
6. По характеру взаимодействия с грунтом:
   - массивные
   - уголковые
   - гибкие

7. По способу обеспечения устойчивости:
   - гравитационные (массивные)
   - с грунтовым противовесом (уголковые)
   - с заделкой в грунте (консольные)
   - упорными, анкерными элементами

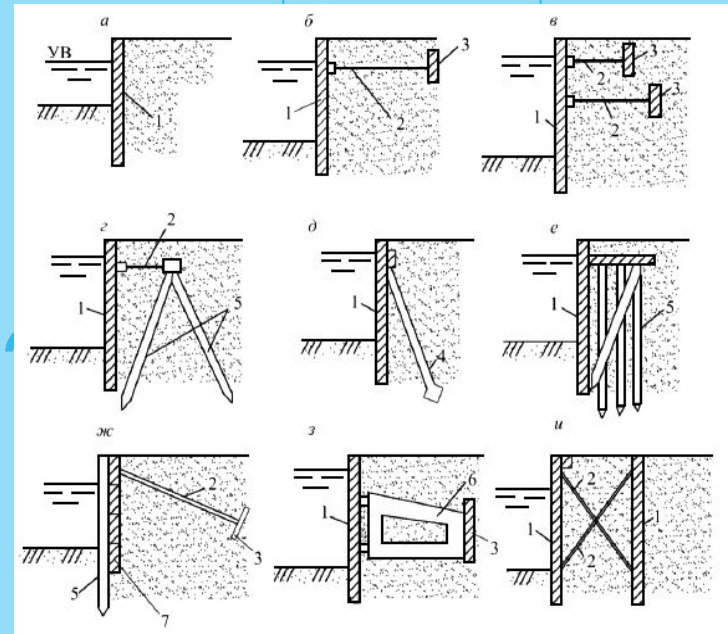
8. По отношению к водоносным горизонтам:
   - совершенного типа
   - несовершенного типа

Классификация подпорных стен в соответствии с СП 101.13330.2012 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения

1. Гравитационные - возводимые на нескальном и скальном основаниях, выполняемые из монолитного или сборного бетона и железобетона



2. Шпунтовые и свайные - возводимые на основаниях, допускающих погружение шпунта или свай



Применение композитных шпунтов в гидротехническом строительстве

Основные преимущества композитного шпунта:

- высокая механическая стойкость к истиранию;
- низкая адгезия ко льду;
- устойчивость к растрескиванию и появлению царапин;
- не подвержен коррозии и гниению;
- не требует технического обслуживания;
- устойчив к сезонному перепаду температур;
- значительная величина момента инерции.

Основные недостатки композитного шпунта:

- низкая несущая способность.

Применение крупнопористого бетона в гидротехническом строительстве

Крупнопористый бетон применяется в гидротехническом строительстве в небольших количествах:

- в виде плит;
- дренажных участков под швами плит из плотного бетона;
- дренирования напорных граней бетонных сооружений;
- в качестве переходного слоя от крупного камня к грунту;
- ремонта дренажей в отдельных местах под водой.

Структура крупнопористого бетона определяет его особые свойства:

- сравнительно небольшая объемная масса;
- низкая теплопроводность;
- высокая проницаемость.

Совершенствование конструкции подпорной стены с применением композитных шпунтов и крупнопористого бетона

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Совершенствование конструкции достигается за счет объединения шпунтовой (гибкой конструкции) и гравитационной (массивной конструкции) стены в единое целое.

При этом предполагается, что шпунт обеспечивает защиту о негативного атмосферного воздействия на массивную стенку и обеспечивает устойчивость сооружения от сдвига. Гравитационная стенка снижает активное давление на шпунтовую стенку, оказываемое со стороны обратной засыпки, что позволят использовать шпунты композитные и на основе ПВХ при свободной высоте стенки более 2 м.

В тоже время гравитационная стена выполняется из материалов «низкого» качества, например с использованием отходов – продуктов дробления бетона и/или крупнопористого бетона на щебне осадочных пород.

Уточненная классификация подпорных стен в гидротехническом строительстве

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Подпорные стены в гидротехническом строительстве

Пространственная компоновка	Линейные	Площадные
Технология возведения	Монолитные или сборные бетонные, или каменные конструкции	Инъекция
		Стена в грунте
	Вдавливание, погружение, забивка	Замораживание
Срок службы	Постоянные	Временные
Характер взаимодействия с грунтом, способ обеспечения устойчивости	Массивные подпорные сооружения	Уголковые и аналогичные подпорные сооружения
	Гибкие подпорные сооружения	Комбинированные Массивные+гибкие

Методика проведения исследования усовершенствованной конструкций гидротехнических сооружений в виде подпорных стен

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Конструирование подпорной стенки заключается в поиске оптимального решения по выбору материала шпунтовой стены и толщины гравитационной стены в зависимости от высоты подпорной стенки и характеристике грунта обратной засыпки.

Общий расчёт произведен в программном комплексе PLAXIS 2D. Программа PLAXIS 2D предназначена для комплексных расчётов напряжённо-деформированного состояния и устойчивости геотехнических объектов различного назначения.

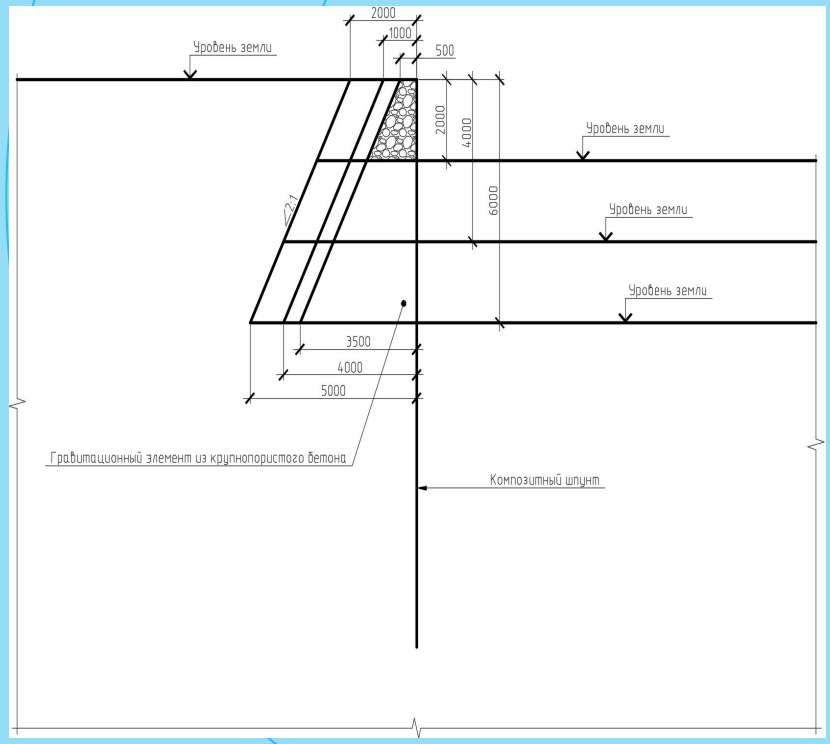
Расчёт производился путём задания стадий возведения для получения наиболее точного результата. Каждая стадия представляет собой отдельный нелинейный расчёт.

- Первая стадия нужна для получения начальных напряжений, которые присутствуют в исходном массиве грунта. На этом этапе отсутствуют перемещения узлов модели.
- На последующих стадиях выполняется перерасчёт деформаций в узлах и напряжений в элементах.

В программном комплексе реализованы методы расчетов устойчивости откосов, основанные на методе конечных элементов: метод редукции и метод анализа напряжений на основе теории предельного равновесия.

Результаты проведения исследования

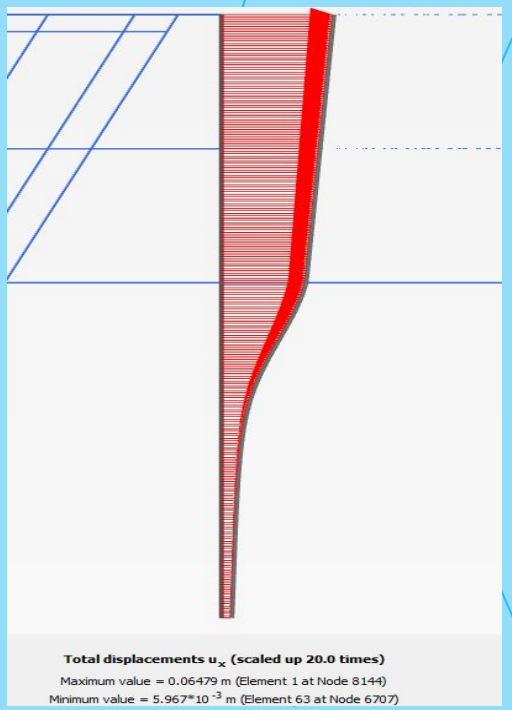
Детальные результаты представлены для 36-ти расчётных случаев. Наименование расчётных случаев представлено в виде шифров.



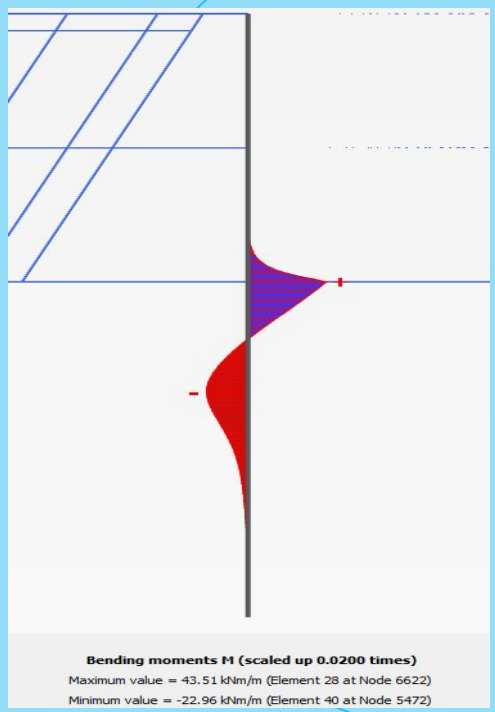
Для рассмотрения приняты следующие граничные условия:

- свободная высота стенки H от 2 до 6.0 м;
- ширина гравитационного элемента B от 0.5 до 2.0 м;
- тип грунта - песок и глинистый;
- марка шпунта - GP-7 и ШК-200 УМ;
- гравитационный элемент – крупнопористый бетон.

Результаты проведения исследования



Первая стадия расчета



Вторая стадия расчета

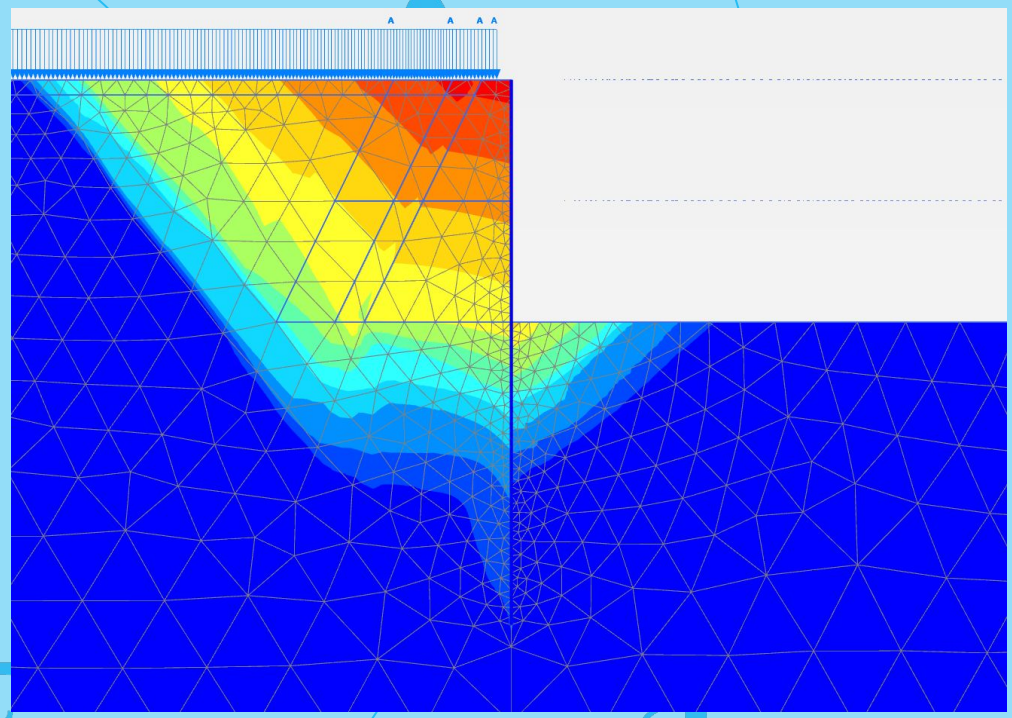
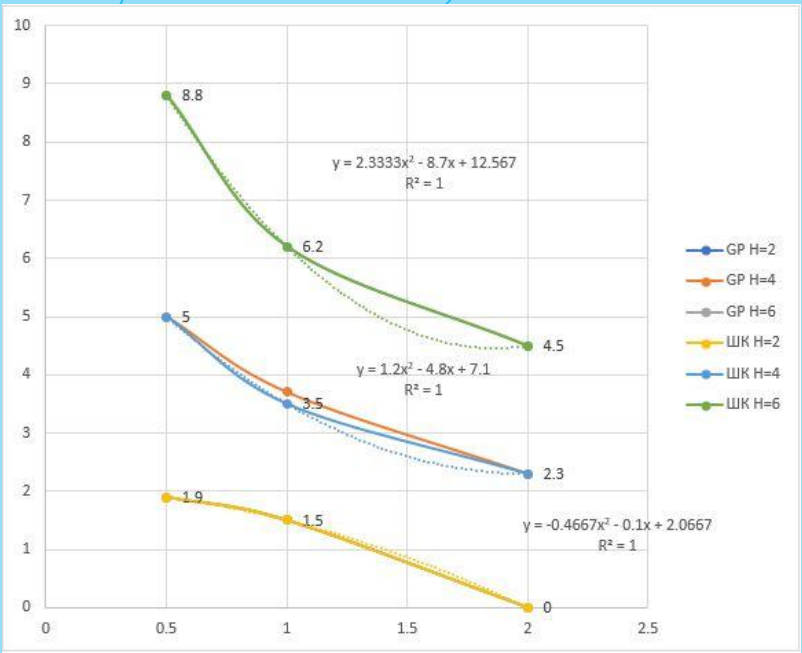


Схема нагрузок

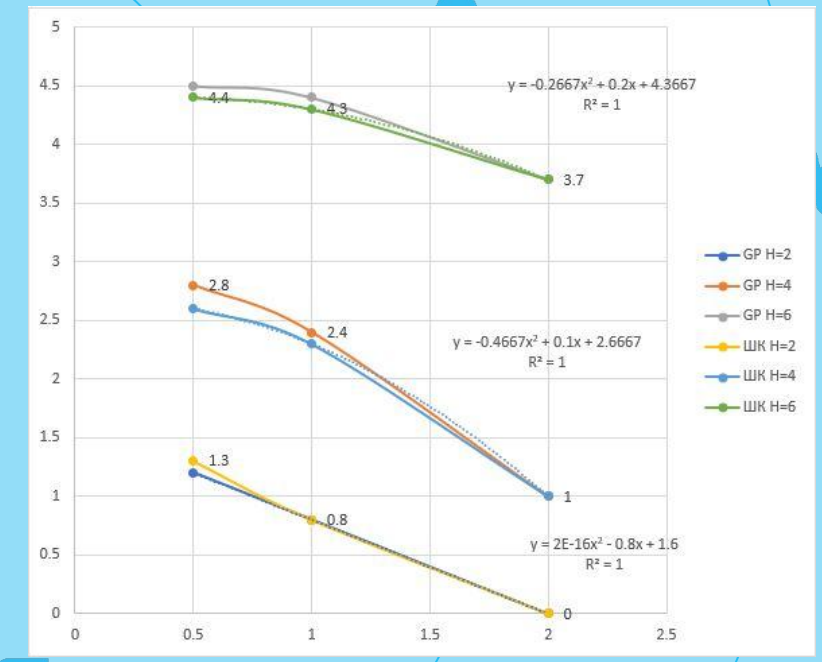
Результаты проведения исследования

H (м)	Показатель	Ширина гравитационного элемента из крупнопористого бетона											
		B = 0.5 м				B = 1.0 м				B = 2.0 м			
		Песок		Глинистый грунт		Песок		Глинистый грунт		Песок		Глинистый грунт	
		GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК
2.0	L (м)	3,9	3,9	3,2	3,3	3,5	3,5	2,8	2,8	не треб.	не треб.	не треб.	не треб.
	H_1 (м)	1,9	1,9	1,2	1,3	1,5	1,5	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	dx (мм)	17,44	15,97	20,15	21,59	12,32	10,96	18,12	16,69	4,47	4,47	14,19	14,19
	dx_{max} (мм)	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60	26,60
	My (кНм/м.п.)	9,11	9,03	3,65	3,42	5,57	5,42	2,34	1,76	-	-	-	-
	$K_{уст.}$ (ед.)	1,168	1,172	1,159	1,157	1,169	1,167	1,166	1,174	1,278	1,278	1,347	1,347
4.0	L (м)	9,0	9,0	6,8	6,6	7,7	7,5	6,4	6,3	6,3	6,3	5,0	5,0
	H_1 (м)	5,0	5,0	2,8	2,6	3,7	3,5	2,4	2,3	2,3	2,3	1,0	1,0
	dx (мм)	24,74	22,57	50,08	46,93	49,66	50,19	39,00	31,54	29,54	27,78	27,26	27,17
	dx_{max} (мм)	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30	53,30
	My (кНм/м.п.)	43,51	47,73	9,21	8,87	18,08	17,91	6,68	6,61	7,76	7,36	1,57	1,14
	$K_{уст.}$ (ед.)	1,160	1,150	1,169	1,161	1,157	1,163	1,152	1,160	1,163	1,166	1,206	1,211
6.0	L (м)	14,8	14,8	10,4	10,1	12,2	12,2	9,7	9,7	10,5	10,5	10,4	10,4
	H_1 (м)	8,8	8,8	4,4	4,1	6,2	6,2	3,7	3,7	4,5	4,5	4,4	4,4
	dx (мм)	69,21	63,87	74,24	77,66	51,72	47,89	65,48	58,74	78,70	73,71	79,53	74,51
	dx_{max} (мм)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	My (кНм/м.п.)	187,2	183,6	15,95	15,40	97,05	104,8	12,89	12,52	13,39	12,32	13,65	12,18
	$K_{уст.}$ (ед.)	1,177	1,178	1,192	1,166	1,160	1,158	1,158	1,165	1,158	1,163	1,154	1,162

Анализ результатов проведения исследования



Зависимость глубины погружения шпунта H1 для различных видов шпунта, ширины гравитационного элемента B, свободной высоты H для песчаных грунтов



Зависимость глубины погружения шпунта H1 для различных видов шпунта, ширины гравитационного элемента B, свободной высоты H для глинистых грунтов

Оптимизация конструктивных решений усовершенствованной конструкций гидротехнических сооружений в виде подпорных стен

Расчетный случай	Металлический шпунт		Композитный шпунт		Крупнопористый бетон		Итого
	V, т	С, т. руб	V, кг	С, т. руб	V, м3	С, т. руб	
Металлический шпунт	2.64	421.87					
0,5 КПБ			0.78	23.40	4.2	63	86.40
1 КПБ			0.77	23.18	7.5	112.5	135.68
2КПБ			0.73	21.83	15	225	246.83

По данным таблицы стоимость комбинированной конструкции ориентировочно в 2-5 раз меньше стоимости аналогичной конструкции из металлического шпунта.

Выводы и заключение

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Для сокращения затрат при строительстве гидротехнических сооружений рекомендуется использовать усовершенствовании конструкции подпорного сооружения за счет объединения шпунтовой (гибкой конструкции) и гравитационной (массивной конструкции) стены в единое целое.

- шпунт обеспечивает защиту от негативного атмосферного воздействия на массивную стенку и обеспечивает устойчивость сооружения от сдвига;
- гравитационная стенка снижает активное давление на шпунтовую стенку, оказываемое со стороны обратной засыпки, что позволят использовать шпунты композитные и на основе ПВХ при свободной высоте стенки более 2 м
- гравитационная стена выполняется из материалов «низкого» качества, например с использованием отходов – продуктов дробления бетона и/или крупнопористого бетона на щебне осадочных пород.
- вид материала шпунта при сравнении различных производителей марок ШК и GP в случае использования комбинированной конструкции практически не оказывает влияние на устойчивость сооружения
- глубина погружения шпунта на песчаных грунтах практически должна быть больше, чем на глинистых, которые обладают сцеплением

СПАСИБО

Самарский государственный технический университет

https://samgtu.ru/