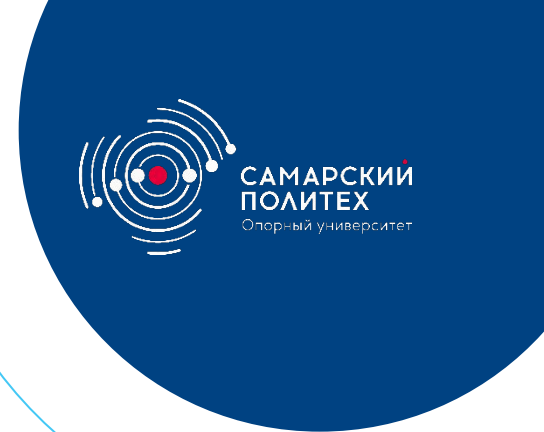


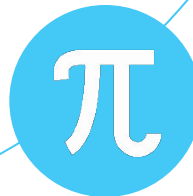
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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.

π

## 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.



x





π

## 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:

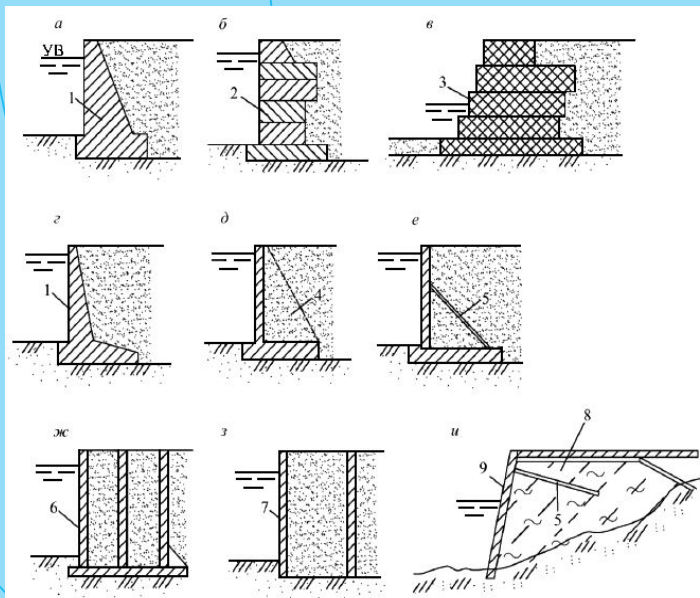
- совершенного типа
- несовершенного типа

х

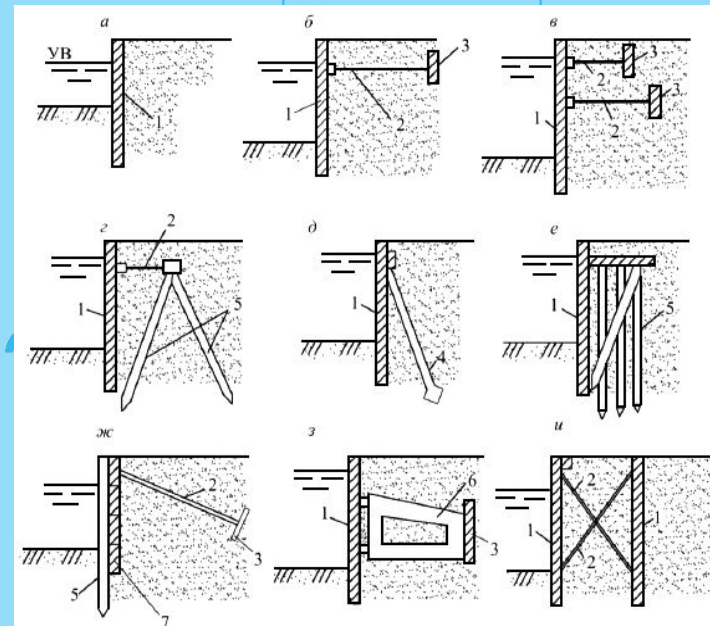
π

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

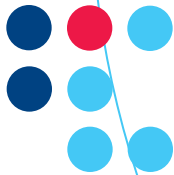
1. Гравитационные - возводимые на нескальном и скальном основаниях, выполняемые из монолитного или сборного бетона и железобетона



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



х



π

## 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.



τ





π

## 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.

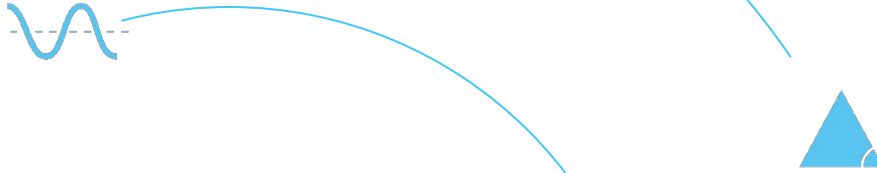


τ



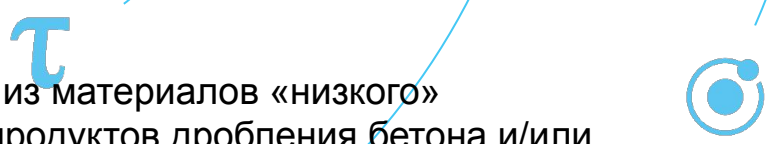
π

## Совершенствование конструкции подпорной стены с применением композитных шпунтов и крупнопористого бетона



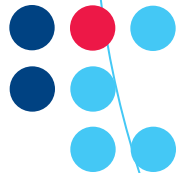
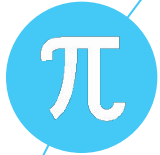
Совершенствование конструкции достигается за счет объединения шпунтовой (гибкой конструкции) и гравитационной (массивной конструкции) стены в единое целое.

При этом предполагается, что 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 позволяет 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





$\pi$

## Методика проведения исследования усовершенствованной конструкции гидротехнических сооружений в виде подпорных стен

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.

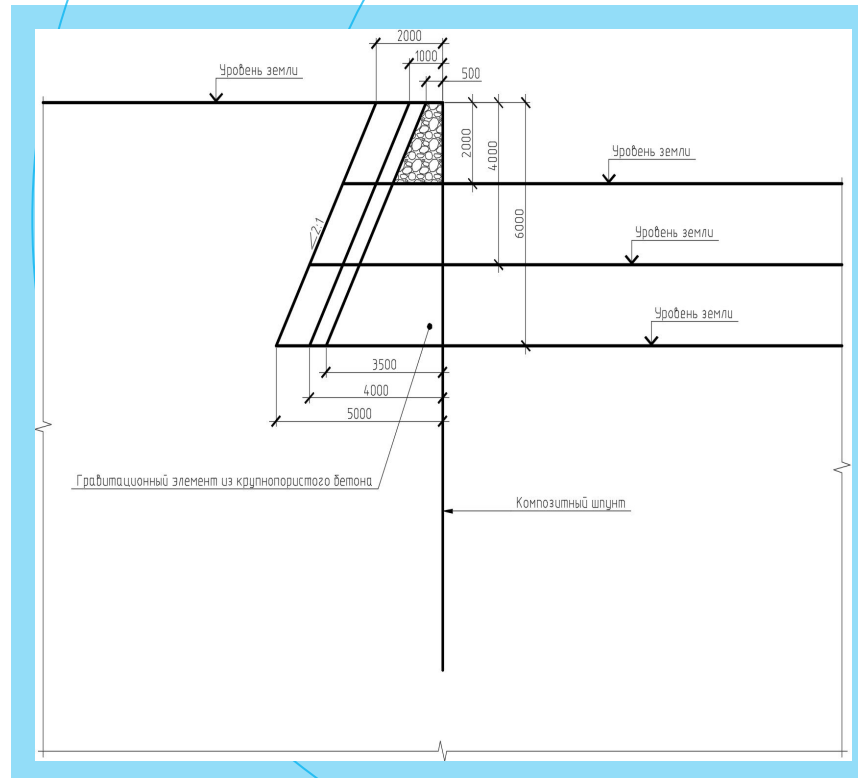
$x$



π

## Результаты проведения исследования

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

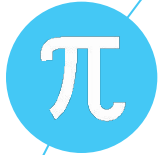


Для рассмотрения приняты следующие граничные условия:

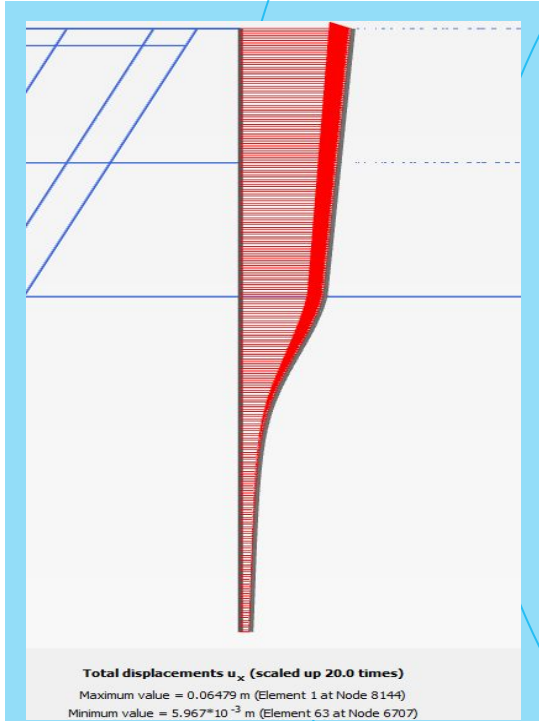
- свободная высота стенки  $H$  от 2 до 6.0 м;
- ширина гравитационного элемента  $B$  от 0.5 до 2.0 м;
- тип грунта - песок и глинистый;
- марка шпунта - GP-7 и ШК-200 УМ;
- гравитационный элемент – крупнопористый бетон.

х

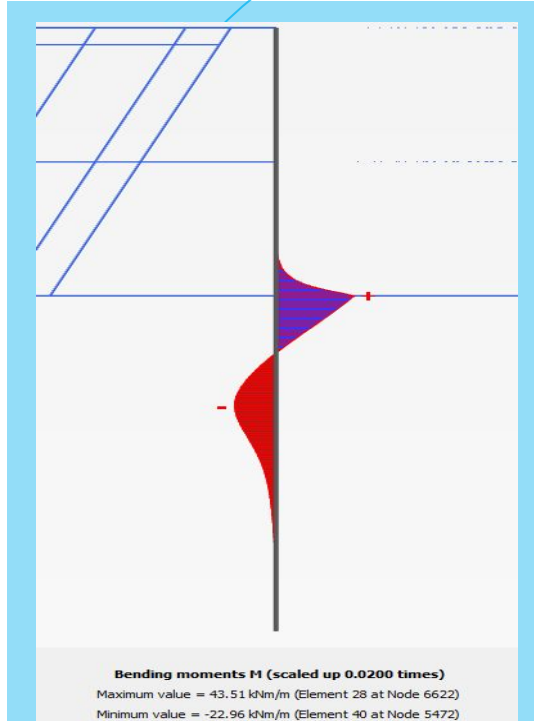
τ



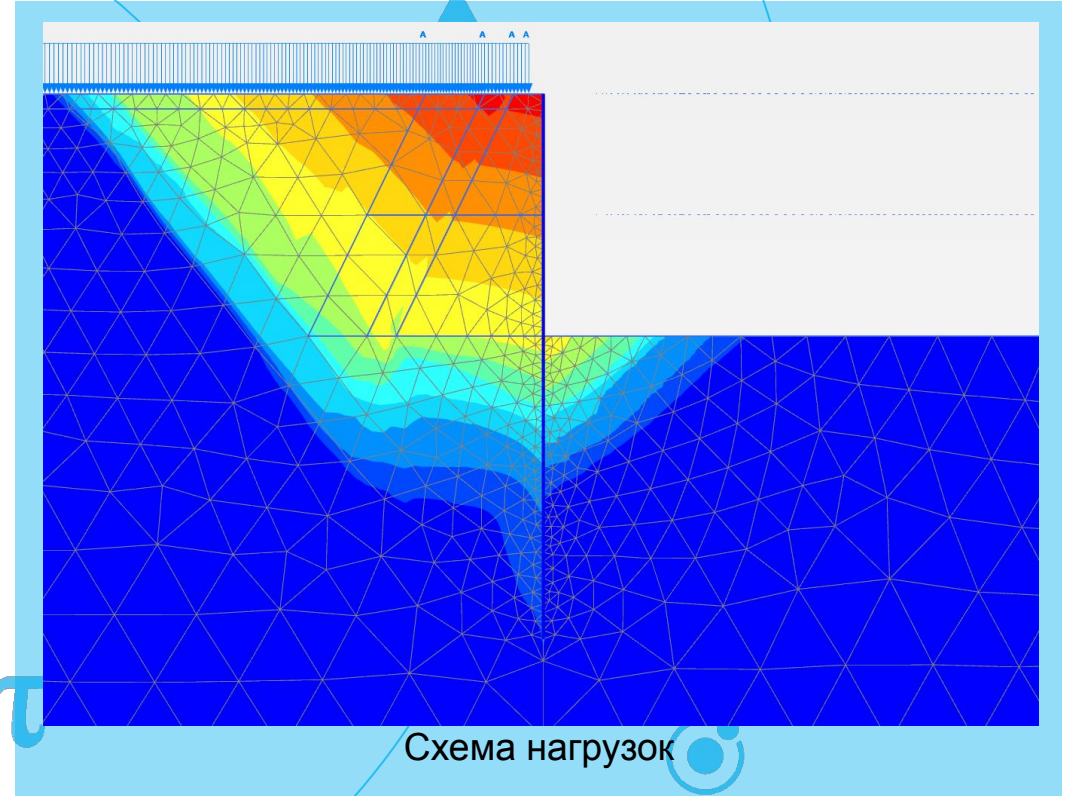
# Результаты проведения исследования

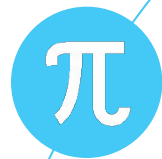


Первая стадия расчета



Вторая стадия расчета

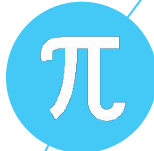




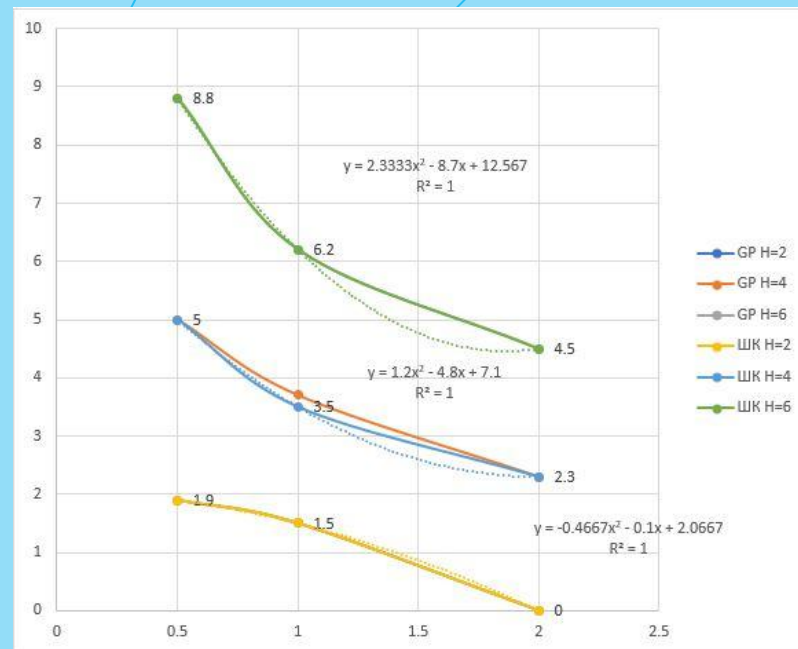
## Результаты проведения исследования



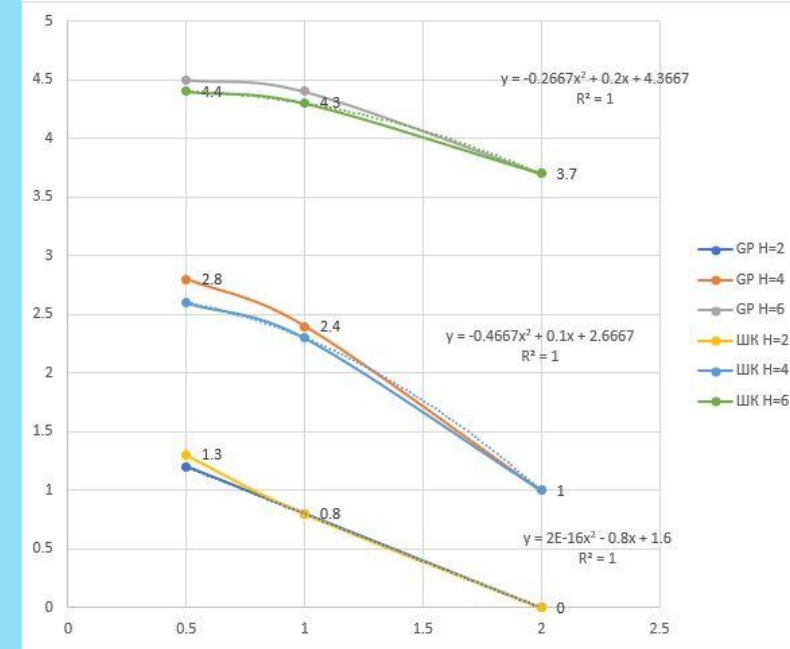
H (м)	Показатель	Ширина гравитационного элемента из крупнопористого бетона											
		B = 0.5 м				B = 1.0 м				B = 2.0 м			
		Песок		Глинистый грунт		Песок		Глинистый грунт		Песок		Глинистый грунт	
		GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК	GP	ШК
2.0	L (м)	3,9	3,9	3,2	3,3	3,5	3,5	2,8	2,8	не треб.	не треб.	не треб.	не треб.
	H <sub>1</sub> (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 <sub>max</sub> (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 <sub>уст.</sub> (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 <sub>1</sub> (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 <sub>max</sub> (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 <sub>уст.</sub> (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 <sub>1</sub> (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 <sub>max</sub> (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 <sub>уст.</sub> (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



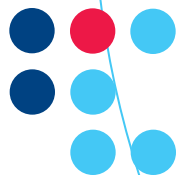
# Анализ результатов проведения исследования

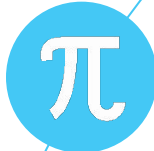


Зависимость глубины погружения шпунта Н1 для различных видов шпунта, ширины гравитационного элемента В, свободной высоты Н для песчаных грунтов



Зависимость глубины погружения шпунта Н1 для различных видов шпунта, ширины гравитационного элемента В, свободной высоты Н для глинистых грунтов





## Оптимизация конструктивных решений усовершенствованной конструкции гидротехнических сооружений в виде подпорных стен

Расчетный случай	Металлический шпунт		Композитный шпунт		Крупнопорист ый бетон		Итого
	V, т	C, т. руб	V, кг	C, т. руб	V, м3	C, т. руб	
Металлически й 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.







π

## Выводы и заключение

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 позволяют 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

x





**СПАСИБО**

Самарский государственный  
технический университет

<https://samgtu.ru/>

$x$

$\tau$

$\pi$

$\approx$