

УДК 627.418.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШПУНТА, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

Кушнир Илья Александрович¹, студент

e-mail: ilikushnirus@gmail.com

Власов Владимир Николаевич¹, старший преподаватель

e-mail: vn_vlasov@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В данной статье рассматривается сравнительный анализ двух типов шпунтов: металлический и из композиционных материалов, с целью выявления достоинств и недостатков. Впоследствии предложена обновлённая конструкция шпунта, сочетающая характеристики обоих шпунтов для укрепления береговой линии.

Ключевые слова: шпунт, композиционный материал, эрозия.

IMPROVEMENT OF THE PILE STRUCTURE USED FOR SHORELINE REINFORCEMENT

Ilya A. Kushnir¹, Student

e-mail: ilikushnirus@gmail.com

Vladimir N. Vlasov¹, Senior Lecturer

e-mail: vn_vlasov@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation, Russia

Abstract. This article discusses a comparative analysis of two types of sheet piling: metal and composite materials, in order to identify advantages and disadvantages. Subsequently, an updated tongue-and-groove design was proposed, combining the characteristics of both tongue-and-groove to strengthen the coastline.

Keywords: sheet piling, composite material, erosion.

При эксплуатации водного объекта, водохранилища происходит непрерывный процесс – эрозии, то есть, в следствии ударной силы волны о берег, грунт размывается.

В настоящее время существует множество методов борьбы с эрозией:

1. Укрепление береговой линии габионами – материал – металлическая проволока, скрепляющая наполнитель (крупнообломочные породы), является неустойчивым к ледовым нагрузкам;

2. Укрепление бетонными монолитными блоками – затратный и трудоёмкий процесс, связанный с транспортировкой и установкой;

3. Возведение на территории акватории мола – по технико-экономическому показателю является наиболее затратным методом берегоукрепления.

Исходя из всего вышесказанного, следует вывод, что наиболее предпочтительным вариантом укрепления береговой полосы, является шпунт. Данная конструкция применяется во многих сферах строительства: котлованов, водоочистных сооружений.

Пример использования и конструкции шпунта представлен на рисунке 1.

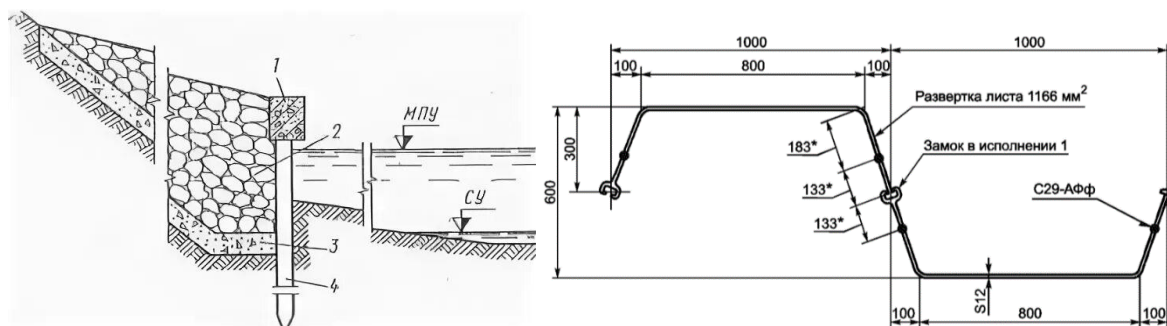


Рисунок 1 – Берегоукрепление и конструкция шпунта

В данной статье приведён анализ двух типов шпунтов: металлический шпунт Ларсена и из композиционных материалов.

Профиль шпунта Ларсена представлен на рисунке 2.

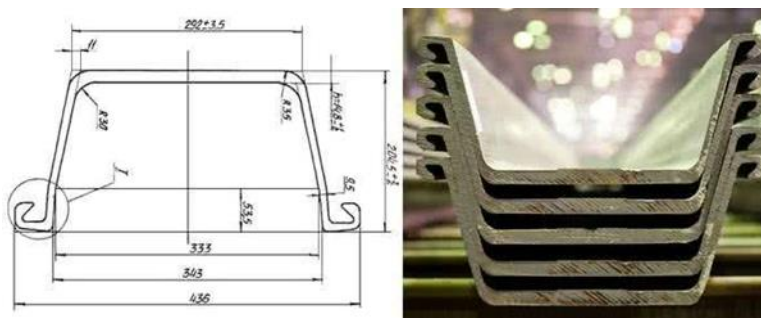


Рисунок 2 – Конструкция и внешний вид шпунта Ларсена

Шпунт обладает рядом преимуществ: высокой прочностью, стойкостью при ледовых ударных нагрузках, возможностью повторной эксплуатации. К недостаткам конструкции относятся: габаритные размеры, вес конструкции и применение шпунта Ларсена в скальных и полускальных грунтах имеет значительные сложности при погружении [1].

Композитный шпунт представлен на рисунке 3.

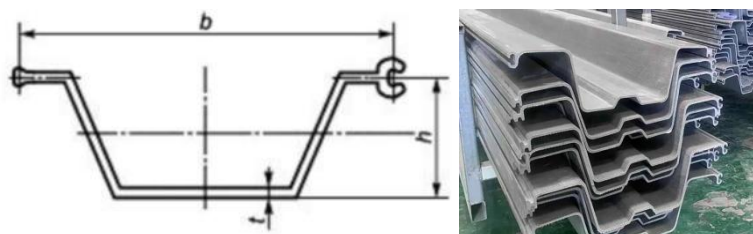


Рисунок 3 – Профиль шпунта из композиционных материалов

В начале 2012 года специалистами компании ЗАО «Полтрузивные технологии» на базе высокотехнологичных разработок мировой композитной промышленности была разработана и запатентована совершенно новая серия шпунтовых свай из

ультракомпозитного материала, получившая название ШК-150. В настоящее время композитные шпунтовые сваи производятся в Московской области согласно ТУ 2247-001-92530792-2012 [3].

Данный тип шпунта имеет ряд достоинств: стойкость к коррозии и агрессивным средам, незатруднительность монтажа, универсальная конструкция в строительстве, экологическая безопасность [2].

Данный тип шпунта имеет ряд недостатков. Невозможность использования данного типа шпунта в северных регионах. Конструкция подвержена ультрафиолетовому излучению. Более высокая стоимость.

Для сравнительного анализа приведённых типов шпунта был произведён расчёт в программе Geo-Wall.

С входными данными, согласно ГОСТ 19281-2014:

1.Шпунт Ларсена 4:

Таблица 1. Характеристики шпунта Ларсен-4

Площадь сечения А (1 п.м.), мм ²	23565
Момент инерции J (1 п.м.), см ⁴	37837
Момент инерции J (1 п.м.), см ⁴	344
Момент сопротивления W (1 п.м.), см ³	2200
Модуль упругости, МПа	210000
Норм. предел прочности, МПа	216.0
Расчётное сопротивление R _y , МПа	196.4
Расчётное сопротивление сдвигу R _s , МПа	113.9

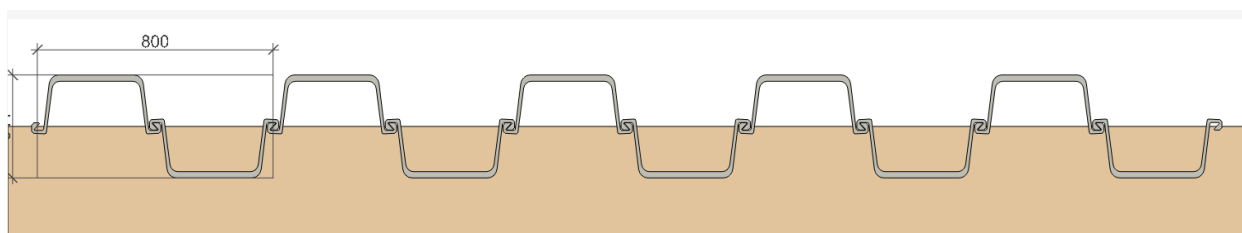


Рисунок 4 – Шпунтовая стенка типа «Ларсен»

2.Композитный полимерный шпунт типа СПК-150:

Таблица 2. Характеристики шпунта СПК-150

Площадь сечения А (1 п.м.), мм ²	10364
Момент инерции J (1 п.м.), см ⁴	3488
Момент инерции J (1 п.м.), см ⁴	145
Момент сопротивления W (1 п.м.), см ³	429
Модуль упругости, МПа	21300
Норм. предел прочности, МПа	750.0
Расчётное сопротивление R _y , МПа	681.8
Расчётное сопротивление сдвигу R _s , МПа	395.5

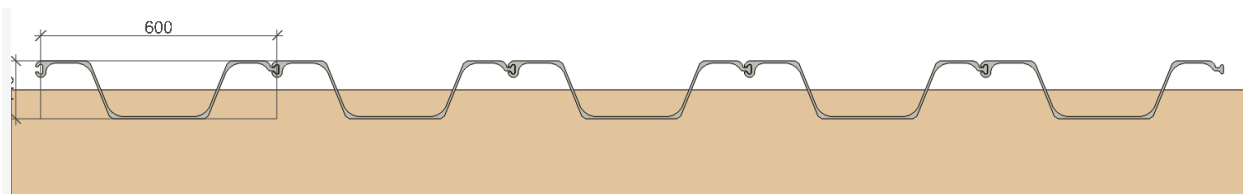


Рисунок 5 – Шпунтовая стенка типа СПК-150

После приложенной нагрузки – сжатия с моментом $361 \frac{\text{кН}\cdot\text{м}}{\text{м}}$ следует вывод, что металлический шпунт Ларсена-4 выдерживает большие нагрузки, а следовательно, выполняет главную функцию берегоукрепления – ударную нагрузку (волна) (Табл. 3 и 4).

Таблица 3. Результаты испытания на прочность

Жёсткостные свойства сечения	Значение
Продольная жёсткость $EА$ (1 эл-т), МН	3958.9
Изгибная жёсткость EJ (1 эл-т), МН·м ²	63.6
Площадь A (1 эл-т), мм ²	18852
Модуль упругости, МПа	210000
Геом. момент инерции отн. оси X (1 эл-т), см ⁴	30270.0

На рисунке 6 представлена эпюра изгибающих моментов.

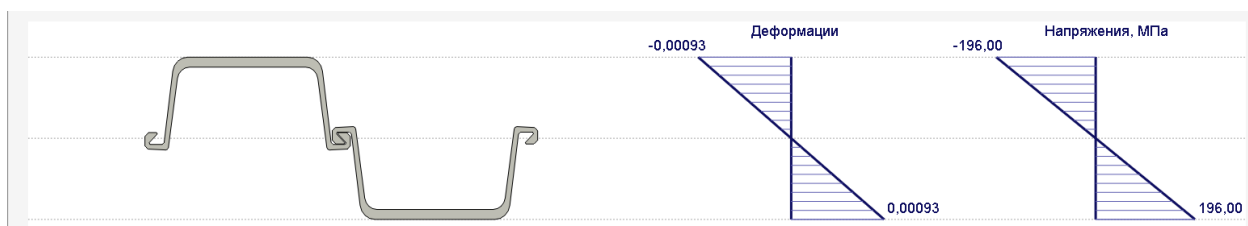


Рисунок 6 – Деформационная устойчивость металлического шпунта

Композитный шпунт типа СПК-150, при равных условиях, выдерживает меньшие нагрузки и теряет устойчивость.

Таблица 4. Результаты испытания шпунта СПК-150

Жёсткостные свойства сечения	Значение
Продольная жёсткость $EА$ (1 эл-т), МН	132.5
Изгибная жёсткость EJ (1 эл-т), МН·м ²	0.4
Площадь A (1 эл-т), мм ²	6218
Модуль упругости, МПа	21300
Геом. момент инерции отн. оси X (1 эл-т), см ⁴	2093.0

На рисунке 7 представлена эпюра изгибающих моментов.

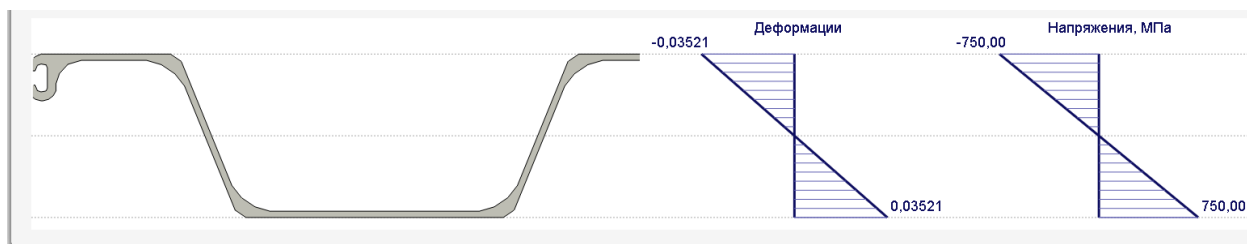


Рисунок 7 – Деформационная устойчивость композитного полимерного шпунта

В процессе эксплуатации металлического шпунта, выясняется, что с течением времени коррозия уничтожает защитный слой конструкции и шпунтовая стена приходит в негодность. По причине этого, предлагается метод, основанный на нанесении композита или композиционного материала на поверхность металлического шпунта в месте водораздела. Шпунт из композиционных материалов имеет главное преимущество над металлическим – это коррозионная стойкость к агрессивным средам. Процесс нанесения на металл композита придаёт долговечность конструкции и экономит ресурсы.

Важным фактором является метод забивки, который будет осуществляться согласно СТО-ГК «Трансстрой» 019-2007:

Необходимую минимальную энергию удара молота E_h , кДж, следует определять по формуле:

$$E = 0,045 N, \quad (1)$$

где N – это расчётная нагрузка, передаваемая на шпунт, кН.

Значение необходимой энергии удара молота $E_{fb} > \text{кДж}$, обеспечивающей погружение шпунта до проектной отметки без дополнительных мероприятий, следует определять по формуле:

$$E_{h1} \geq \frac{\sum F1 \cdot h1}{Vt} \cdot \left(n + \frac{M2}{M1} \right); \quad (2)$$

где $F1$ – это несущая способность шпунта в пределах i -го слоя грунта, кН,

H_i – это толщина i -го слоя грунта, м;

V – это число ударов молота в единицу времени, ударов в 1 мин;

Vt – это частота ударов молота, м ин¹,

n – это параметр, принимаемый равным $n = 4,5$ при паровоздушных механических и штанговых дизель-молотах и $n = 5,5$ при трубчатых дизель-молотах;

$M1$ – это масса шпунта, Т;

$M2$ – это масса ударной части молота, Т.

Заключение

Исходя из вышеизложенного следует сказать, что шпунт, выполненный с металлическим армированием и из оболочки из композиционных материалов методом высокотемпературного напыления, требует дальнейшего рассмотрения и изучения.

На первом этапе выяснено и подтверждено в программе Отечественной разработки о пригодности и выгодном использовании данного типа шпунта.

Список литературы:

1. Стандарт организации. Сто-ГК «Трансстрой»-019-2007. Шпунт типа «Ларсен». Применение в транспортном строительстве: Издание официальное. - РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, МОСКВА: 2007.-28 с;
2. ГОСТ Р 53629— 2009. Шпунт и шпунт-сваи из стальных холодно гнутых профилей. Технические условия: Издание официальное. - Российская Федерация, Москва : «Стандартинформ», 2010. - 21 с;
3. Кушнир, И.А. Применение композиционных материалов при изготовлении шпунтовых свай по укреплению береговой линии, статья / И.А.Кушнир, В.Н.Власов,- Нижний Новгород: Волжский Государственный Университет Водного Транспорта, 2025 Г.- 8 с.

