

УДК 627.418

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ
ШПУНТОВЫХ СВАЙ ПО УКРЕПЛЕНИЮ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ****Кушнир Илья Александрович**¹, студентe-mail: ilikushnirus@gmail.com**Власов Владимир Николаевич**¹, старший преподавательe-mail: vn_vlasov@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Российская Федерация, Россия

Аннотация. В данной статье рассмотрено применение шпунта в укреплении береговой линии. Представлена оптимальная конструкция шпунта, нахождение материала, удовлетворяющего прочностным расчётам. Приведены методы монтажа для разных профилей шпунта, а также методика проектирования берегоукрепительных конструкций. Приведён состав композиционного материала и его ключевые достоинства.

Ключевые слова: шпунт, берегоукрепительные конструкции, композиционный материал, абразия.

**THE USE OF COMPOSITE MATERIALS IN THE MANUFACTURE OF SHEET PILES
TO STRENGTHEN THE COASTLINE****Ilya A. Kushnir**¹, Studente-mail: ilikushnirus@gmail.com**Vladimir N. Vlasov**¹, Senior Lecturere-mail: vn_vlasov@mail.ru

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

Abstract. In this article, the use of sheet piling in strengthening the coastline is considered. The optimal tongue-and-groove design and the search for a material satisfying the strength calculations are presented. Installation methods for different sheet pile profiles are given, as well as a method for designing shore-strengthening structures. The composition of the composite material and its key advantages are given.

Keywords: sheet piling, Larsen sheet piling, shore protection structures, composite material, sheet piling SHK-150, abrasives.

На современном этапе научно-технического развития, повышается интерес к шпунтовым ограждениям, возрастает спрос на композитные профили. Шпунт, как строительный материал, применяется во многих сферах строительства: укрепление

береговой линии, строительство котлованов, строительство водоочистных сооружений, а также атомных электростанций. В данной работе продемонстрировано использование композитного шпунта с металлическими профилями.

Цели исследования:

- поиск оптимальной конструкции шпунта;
- поиск материала, удовлетворяющего прочностным расчётам;
- методы монтажа;
- разработка методики проектирования берегоукрепления.

При эксплуатации водного объекта, либо наполнении водохранилища запасами воды, происходит постоянный и непрерывный процесс – берегоразрушение или абразия.



Рисунок 1 – Абразия побережья Горьковского водохранилища, спортивно-оздоровительный лагерь «Водник»

Различают следующие виды абразии берегов:

- механическая абразия - происходит под действием гидравлического удара прибойного потока;
- химическая абразия - разрушение пород может происходить под воздействием химических свойств морской воды, содержащей раствор солей;
- термическая абразия - процесс разрушения берегов, сложенных мёрзлыми породами или льдом.

Причины разрушения берегов делятся на две категории: факторы антропогенной деятельности (человеческой деятельности) и естественные факторы.

К факторам антропогенной деятельности относятся:

- дноуглубительные работы, чаще всего в навигационных целях;
- очистка растительности;
- мелиорация земель;
- работы, связанные с регулированием речного стока.

К естественным факторам относятся:

- ветровой поток;
- приливы;
- штормы;
- прибрежные течения;
- склоновые процессы — это сочетание наземных процессов, таких как просачивание воды в почву и осадки, а также подмывание подошвы скал волнами.

Методы борьбы подразделяются на активные и пассивные группы:

1. активные – возведение таких сооружений, которые используют энергию волн для защиты побережья (буны и волноломы, задача которых заключается в гашении ударной силы волны - волноломы и удержании энергии потока - буны);

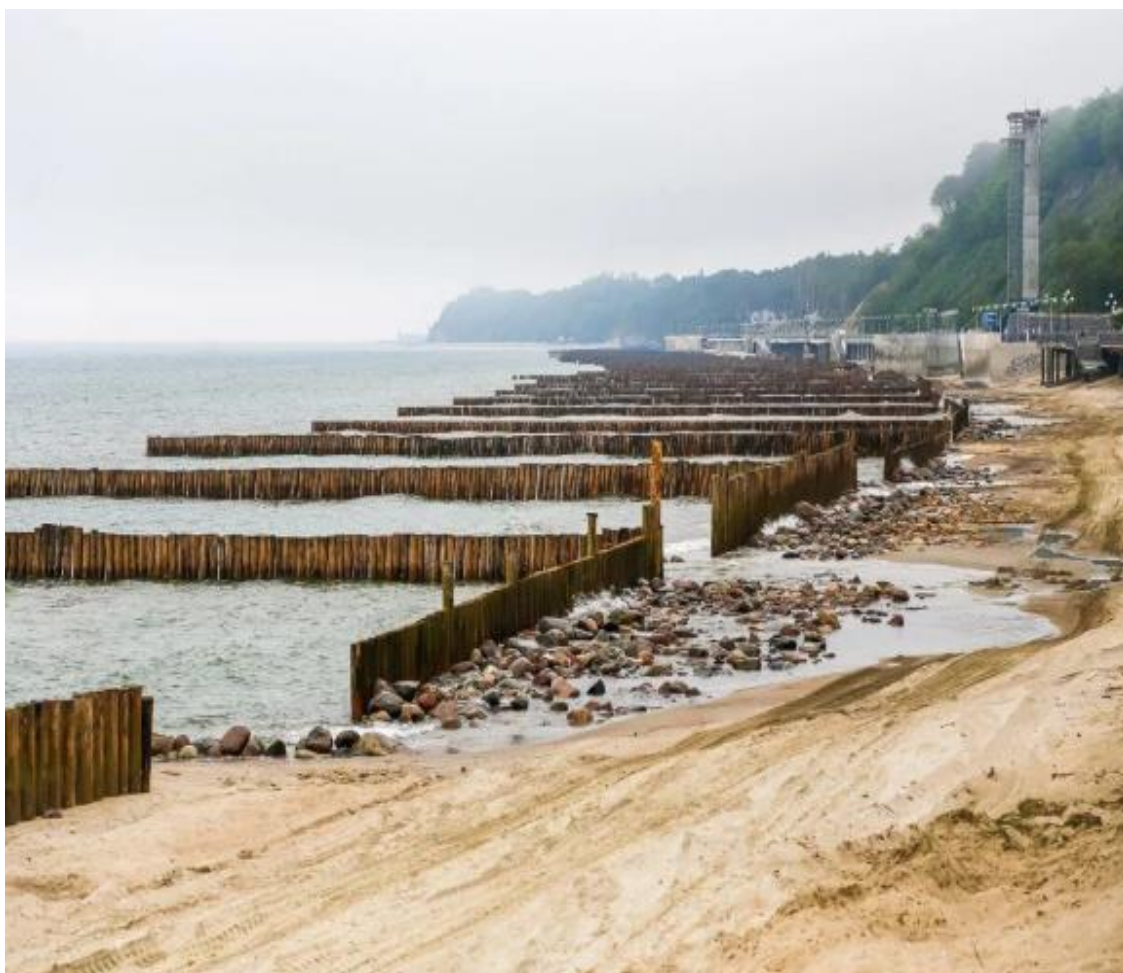


Рисунок 2 – Каскад бунов

2. пассивные – возведение таких сооружений, которые воспринимают на себя воздействие волн (откосы, волноотбойные стены, защитные дамбы).



Рисунок 3 – Волноотбойная стена

В связи большим объёмом работ, сложностью и высокой стоимостью активные методы в основном применяются в акватории портов и берегов водоёмов, примыкающих или расположенных на территории больших городов.

Среди пассивных методов, по оптимальным технико-экономическим показателям, наибольшее распространение получил метод укрепления волноотбойной стены, изготовленной из металлического шпунта.

Шпунт — это свая, с уникальным замковым соединением, позволяющим при забивке соединяться в единую и крепкую конструкцию. Чаще всего форма шпунта U-образная (корытная), Z-образная (зетовая), трубчатая [2].



Рисунок 4 – Шпунт металлического профиля

Основные принципы конструирования береговых укреплений:

1. сопряжение берегового укрепления с его основанием должно быть надёжно защищено от размыва стоковыми течениями и волновыми скоростями;
2. конструкции, воспринимающие давление грунта (особенно тонкостенные), возводимые на ползучих грунтах, должны учитывать изменение несущей способности во времени;
3. конструкции упорного пояса, опоясок, откосных покрытий и подпорных стен набережных должны быть грунтонепроницаемыми и не допускать выноса грунта стоковыми течениями;
4. береговые укрепления должны предусматривать дренирующие системы, обеспечивающие прямую гидравлическую связь потока подземных вод с водоёмом;
5. конструкции береговых укреплений, особенно упорного пояса и опояски, должны обеспечивать устойчивость и прочность сооружения при ледовых нагрузках [7].

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 ШК-150 производятся в Московской области согласно ТУ 2247-001-92530792-2012 [4].

Чтобы разобраться с тем, что такое ультракомпозитный материал, а также композитный материал, стоит сказать, что любой композит состоит из матрицы с наполнителем, например, железобетон (металлические прутья и строительный бетон). Ультракомпозит изготавливается методом пултрузии, в отличие от экструзии, где главным фактором является высокое давление, в пултрузии ключевой фактор - тянущие усилия, то есть производство композитных стеклопластиковых профилей, а также на основе модифицированных матриц. В состав ультракомпозита входят полиэфирные смолы, непосредственно данная добавка позволяет значительно уменьшить эффект коррозии металла.

В данной работе рассмотрено два шпунта профиля Ларсена 4, 5-УМ и ШК-150. Стоит отметить достоинства и недостатки данных профилей.

В отличие от шпунта ШК-150, шпунт Ларсена 4 имеет ряд преимуществ, таких как:

- более высокая несущая способность, обоснованная тем, что в состав материала входит металл (арматура);
- достаточно упрощённый монтаж свай;
- вибрационная стойкость, то есть устойчивость к нагрузкам на изгиб;
- конструкция может использоваться повторно.

Несмотря на то, что Шпунт Ларсена 4 имеет ряд достоинств, шпунт также имеет группу недостатков:

- профиль шпунта узок, что обуславливает значительно большие закупки материала;
- монтаж конструкции занимает большее количество времени;
- стоимость гораздо выше, по сравнению с ШК-150 (стоимость шпунта Ларсена 4 = 145.000 рублей за тонну, цена шпунта ШК-150 = 85.000 рублей за тонну).

К недостаткам шпунта ШК-150 можно отнести:

- низкий допустимый изгибающий момент ($=98\text{кН}\cdot\text{м}$), что является главным недостатком при расчётах на прочность (Таблица 1);
- используя динамическую забивку, особенно в твёрдых пластах грунта, конструкция может разрушиться;
- распространённые методы погружения шпунта не используются, что затрудняет применение материала; используется вибропогружение, то есть вибромолот.



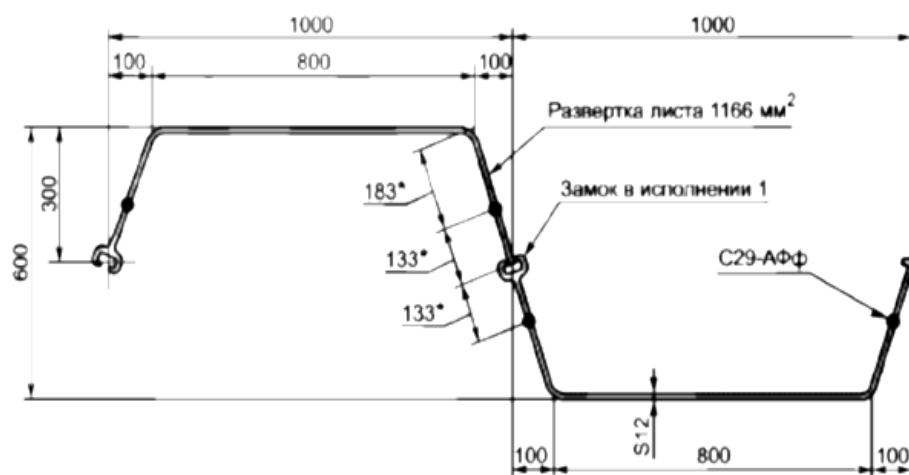


Рисунок 5 – Геометрические размеры шпунта ШК [1]

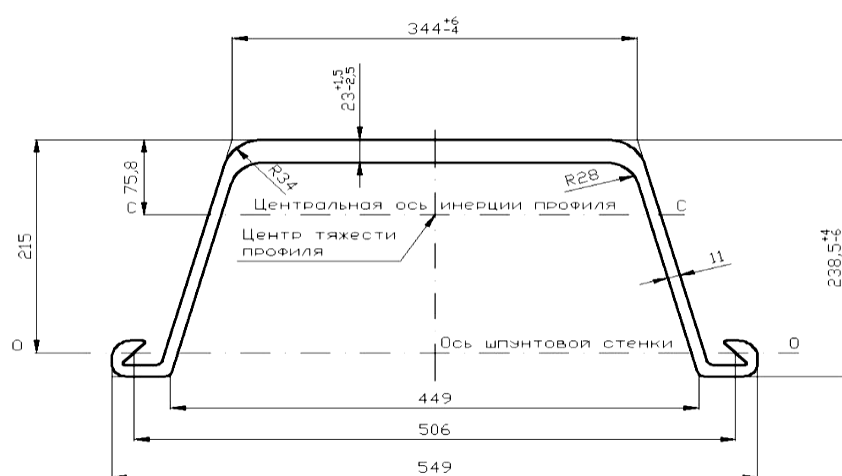


Рисунок 6 – Геометрические размеры шпунта Ларсена



Рисунок 7 – Применение шпунта Ларсена 4

Таблица 1. Техничко-экономические характеристики шпунта Ларсена Л5-УМ и ШК-150 [5]

Характеристика	Единицы измерения	Л5-УМ	ШК-150
Масса 1 м ²	кг	227,5	21,3
Прочность на растяжение	МПа	320,0	640,0
Прочность на сжатие	МПа	390,0	300,0
Момент сопротивления	см ³ /м	3555,0	126,0
Допустимый изгибающий момент	кН*м	906,5	98,0
Логистические расходы	руб/м ² /км	0,65	0,06
Стоимость защиты от коррозии	руб/м ²	1700,0	0,0

Ультракoмпозитные шпунты могут применяться в несвязных грунтах, состоящих главным образом из гравия, песка, песчанистого ила, а также в связных, состоящих из глины и ила. Данный материал не подвержен коррозии, гниению и воздействию морской воды, огнеупорен и устойчив к сезонному перепаду температур (несущая способность = 200 кН при температуре от -60°C до +50°C. Способность ультракoмпозитного материала противостоять агрессивной среде значительно выше, чем у стали и бетона [4].

Забивку шпунта ШК-150 можно осуществлять с помощью вибропогружателя, копра, а также при небольшой глубине погружения, с помощью ковша экскаватора, путём вдавливания в грунт. Так же можно осуществить забивку шпунта со специализированных плавательных средств или понтонов.

Исходя из вышесказанного, можно с уверенностью сказать, что при изготовлении шпунта в состав обязательно должна входить арматура из стали, что будет обеспечивать прочность конструкции, то есть ударную нагрузку (волна), вдобавок к арматуре имеет место добавить полиэфирные и композитные смолы, что будет увеличивать способность материала к коррозии, позволит обходиться меньшими затратами и облегчением монтажа.

Конструкция замкового соединения должна обеспечивать герметичность и возможность проектировать объёмные, внушающие по размерам, берегоукрепительные конструкции (Рисунок 8).

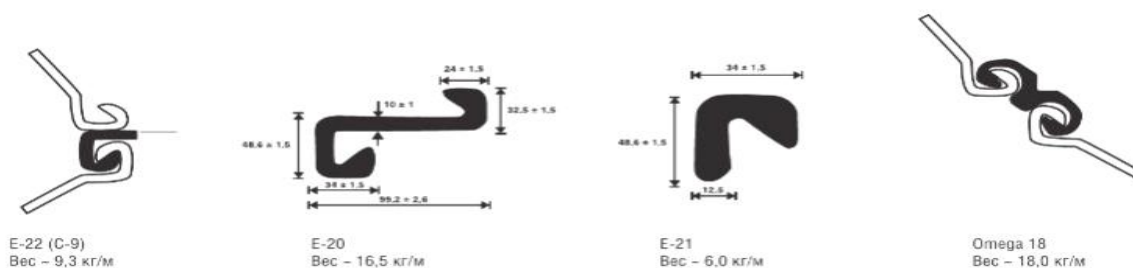


Рисунок 8 – Формы замкового соединения [6]

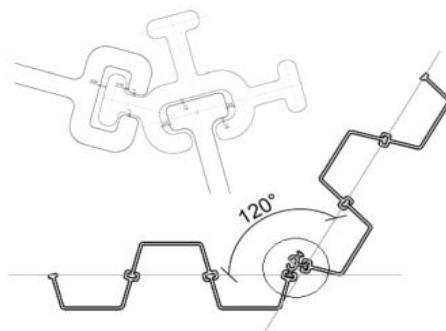


Рисунок 9 – Замковое соединение [3]

Представленный вид замкового соединения отличителен тем, что с помощью дополнительного элемента возможно проектировать шпунтовые стены различных форм и, соответственно, размеров (рисунок 9).

Сравнив шпунт Ларсена 4 и профиля ШК-150, очевидно, что материал при производстве такого шпунта должен отвечать всем прочностным расчётам, так как конструкция, в первую очередь, испытывает ударную нагрузку волны.

При расчётах размеров конструкции, важно учитывать уровень грунтовых вод, особенно в период половодья, то есть повышение уровня вод в водоёмах в приход климатической весны (суточная температура выше 0°C).

Замковое соединение должно обеспечивать возможность монтажа конструкции любой оптимальной формы и заданных размеров. Соединение должно быть герметично, а стык не должен деформироваться при погружении шпунта.

Укрепление береговой линии шпунтом — это сложный процесс, при котором важно учесть множество факторов, такие как геологические и гидрологические исследования, подготовка площадки, непосредственная установка шпунтов с помощью вибропогружателя, укрепление ограждения, путём засыпки пазух гравием или песком. Композитный материал состоит из стальной арматуры и полиэфирных смол - оптимальный вариант шпунта. Для применения целесообразно применять шпунт Ларсена, изготовленный из композиционных материалов, используя в качестве арматуры стальной профиль круглого сечения диаметром 3-4 миллиметра.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 53629— 2009. ШПУНТ И ШПУНТ-СВАИ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ. Технические условия : Издание официальное. - Российская Федерация, Москва : «СТАНДАРТИНФОРМ», 2010. - 21с.
2. ГОСТ Р 57942-2017. ШПУНТ КОМПОЗИТНЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ : Издание официальное. - Российская Федерация, Москва : «СТАНДАРТИНФОРМ», 2017. - 23с.
3. Шипелев, И.Л. ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШПУНТА ЛАРСЕНА ИЗ ПВХ ВЗАМЕН МЕТАЛЛИЧЕСКОГО АНАЛОГА: НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, статья / И. Л. Шипелев, Я. Ю. Захарова, Я. И. Кандыбко, - Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2019. - 191-194с.
4. Ляхова, Л.Г. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШПУНТА ИЗ УЛЬТРАКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, статья / Л.Г. Ляхова, А.А. Иодчик, Е.Л. Маркова - Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2016. - 423-426с.
5. Дюкина А.П. ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ АЭС. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ШПУНТОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВА МЕТАЛЛИЧЕСКИМ, статья / А.П. Дюкина, И.С. Соболев - Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. - 154-156с.
6. Металлические шпунты Ларсен. – URL: https://shpunt-larssen.ru/wp-content/uploads/2018/05/metall_shpunti_Larssen.pdf/ (Дата обращения: 20.04.2025)
7. Беляева Г.В. РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕРЕГОВЫХ УКРЕПЛЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ ВОДОЁМАХ, РУКОВОДСТВО / Под редакцией В.И. Киселёва, редактор В.Г.Беляева - РСФСР, Российская Советская Федеративная Социалистическая Республика : Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР Гипрокоммунстрой, 1984. - 110с.

