УДК 624.131

© А. К. Зайцев, канд. техн. наук, доцент

© Д. С. Мурашова, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: ak_zaytsev@mail.ru, dianamurashova@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-1-64-67

© A. K. Zaytsev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© D. S. Murashova, undergraduate

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: ak_zaytsev@mail.ru, dianamurashova@yandex.ru

УКРЕПЛЕНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕКИ СМОЛЕНКИ С ПОМОЩЬЮ КОМПОЗИТНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ

STRENGTHENING THE RIVERBANKS OF THE SMOLENKA RIVER WITH THE COMPOSITE PILE SHEETING

Река Смоленка — один из рукавов Невы — протекает по территории Санкт-Петербурга в районе Васильевского острова. По данным обследований видно, что существует общая тенденция размыва береговой линии. Берегоукрепление на основной части реки отсутствует, а в местах, где оно есть, находится в аварийном состоянии. Рассмотрены три варианта реконструкции берега р. Смоленки с помощью заанкеренного шпунтового ограждения. Представлены результаты численного моделирования и технико-экономическое сравнение применения стального и композитного шпунтов в качестве берегоукрепляющей конструкции р. Смоленки.

Ключевые слова: берегоукрепление, шпунтовое ограждение, композитный шпунт, композитные материалы.

The Smolenka River, one of the branches of the Neva River, flows through the territory of St. Petersburg in the Vasiliyevsky Island area. According to survey data, there is a general tendency observed, namely, that is erosion of riverbanks. There is no riverbank revetment along the main part of the river, and in places where there is some riverbank revetment, it is in an emergency condition. In this article, three variants of reconstruction of the Smolenka River banks by constructing an anchor sheet pile screen are considered. The results of numerical modeling and technical and economic comparison of the use of steel and composite sheet piles for reconstruction design of the Smolenka River banks are presented.

Keywords: riverbank revetment, sheet pile screen, composite sheet pile, composite materials.

Общие данные

Река Смоленка — один из многочисленных мелких рукавов дельты р. Невы, протекает в центральной части дельты по территории Санкт-Петербурга, основное направление течения — с востока на запад.

Река Смоленка отходит от р. Малой Невы с левого берега, в 600 м ниже Тучкова моста, в настоящее время впадает непосредственно в Невскую губу Финского залива, разделяя Васильевский остров и остров Декабристов. Длина реки составляет 4,2 км, ширина (в естественных берегах) колеблется от 16 до 30 м, в канализованной части равна 60–70 м, глубина реки изменяется от 1,5 до 3,0 м.

В 2008 году было проведено обследование р. Смоленки. Ширина реки по обследованию со-

ставляет 20–30 м, глубина 1,5–2,8 м, скорость течения 0,1 м/с. Берега реки Смоленки естественные, крутые, высотой 2,5–3,0 м, местами до 3,5 м. Берега покрыты кустарником, редкими деревьями¹. В некоторых местах вдоль реки обнаружены старые бетонные и деревянные укрепления.

Предпосылки к реконструкции

По результатам визуально-инструментального обследования 2008 года и визуального обследования 2017 года можно сделать вывод, что наблюдается общая тенденция размыва береговой линии при поднятии уровня воды в реке Смоленке при сгонно-нагонных явлениях. Берегоукрепление на основной части реки отсутствует.

¹ Технический отчет по инженерно-гидрологическим изысканиям для разработки рабочего проекта берегоукрепления реки Смоленки. ООО «Проектводстрой», 2008.

ет, а в местах, где оно есть, находится в аварийном состоянии.

С целью восстановления береговой линии реки и предотвращения дальнейшего разрушения берегов возникает необходимость реконструкции существующих и устройства новых береговых укреплений.

В данной статье будут рассмотрены три возможных варианта реконструкции берега реки Смоленки в виде заанкеренного шпунтового ограждения.

Далее представлены рассматриваемые варианты берегоукреплений.

Вариант № 1 представляет собой шпунтовое ограждение, выполненное из стального шпунта марки Ларсен 4 с железобетонным шапочным брусом и стальной анкерной тягой.

Вариант № 2 представляет собой шпунтовое ограждение, выполненное из композитного шпунта марки ШК-150, разработанного ЗАО «Пултрузионные технологии», с железобетонным шапочным брусом и стальной анкерной тягой.

Вариант № 3 представляет собой шпунтовое ограждение, выполненное из композитного шпунта марки GP-5, разработанного ОАО «Знаменский композитный завод» с железобетонным шапочным брусом и стальной анкерной тягой.

Из анализа инженерно-геологических условий длина шпунта для всех трех вариантов принята 6 м.

Анкерная тяга принимается из расчета на восприятие усилия на растяжение, передающееся на одну тягу.

Был выполнен расчет по подбору диаметра анкерной тяги, в ПК Plaxis получено усилие в анкерной тяге, приходящееся на один метр вдоль шпунта. Принимаем диаметр тяги 20 мм.

Балка шапочного бруса работает по схеме многопролетной неразрезной балки, в которой опорами будут служить точки крепления анкерных тяг. При расчете принят железобетонный шапочный брус сечением 600×400 мм, возможны изменения сечения бруса при разработке проекта.

Технические характеристики шпунтовых ограждений

1. Металлический шпунт Ларсен Л4

Шпунт Ларсена 4 по своим характеристикам является одним из самых качественных шпунтов, производимых в Российской Федерации,

а также наиболее часто применяемым в отечественной строительной практике.

Главным преимуществом металлического шпунта Ларсен 4 является его несущая способность и распространенность на рынке отечественных материалов. К недостаткам относятся большой вес и необходимость в проведении антикоррозийных мероприятий.

2. Композитный шпунт ШК-150

В 2012 году российская компания ЗАО «Пултрузионные технологии» на базе последних разработок мировой композитной промышленности разработала и запустила в производство совершенно новую серию шпунтовых свай из композитного материала, получивших название ШК-150.

3. Композитный шпунт GP-5

В Калининградской области в п. Знаменск существует научно-производственная компания «Знаменский композитный завод», которая производит композитные шпунты профилей GP-5,6,7. Композитный шпунт создается на основе полиэфирных и композитных смол, благодаря чему он обладает хорошей несущей способностью, меньшим весом материала, устойчивостью к коррозии.

В табл. 1 представлено сравнение технических характеристик шпунтовых ограждений.

Таблица 1

Технические характеристики шпунтовых ограждений

Характеристики	Л4	ШК-150	GP-5
Модуль упругости материала, МПа	210 000	62 000	39 600
Допустимый изгибающий момент, тм	64	51,3	40,7
Момент сопротивления W, см ³	405	210	213,9
Вес 1 м ² , кг	185	22	17,0

Инженерно-геологические условия

В 2008 году ООО «ИГЛ Проект» были выполнены инженерно-геологические изыскания. Согласно плану производства работ было пробурено девять скважин и проведено статическое зондирование грунтов в четырех точках.

В геологическом строении участка до глубины 35,0 м принимают участие современные техно-

генные, аллювиальные и озерно-морские отложения, верхнечетвертичные озерно-ледниковые и моренные образования.

По результатам изысканий получено, что обследуемый участок характеризуется наличием грунтовых вод с напорной и безнапорной динамикой. В соответствии с ГОСТ 9.602–2005 грунты характеризуются средней коррозионной агрессивностью по отношению к стальным конструкциям и бетону W4.

Обследуемый участок обладает рядом негативных факторов, осложняющих строительство: наличие горизонта насыпных грунтов; неоднородность насыпных грунтов; наличие в разрезе под насыпными грунтами слабых сильносжимаемых грунтов; тиксотропные и плавучие свойства грунтов, залегающих под насыпным грунтом².

Конструктивная схема реконструкции реки Смоленки представлена на рисунке.

² Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям для проекта реконструкции берегоукрепительных сооружений на р. Смоленка. ООО «ИГЛ Проект», 2008.

Конструктивная схема реконструкции реки Смоленки

Численное моделирование реконструкции береговой линии реки Смоленки

Для трех вариантов конструкций заанкеренного шпунтового ограждения выполнены расчеты в программно-расчетном комплексе Plaxis 2D.

Plaxis 2D — программа, предназначенная для расчетов фундаментных конструкций, котлованов, шельфовых конструкций. Программный комплекс является признанным в мире расчетным инструментом для решения геотехнических задач.

В качестве расчетной модели при конечно-элементном (КЭ) расчете использовалась модель упрочняющегося грунта — HardeningSoilModel.

Длина шпунтового ограждения для трех вариантов — 6 м. Анкерная тяга принята стальной с диаметром 20 мм, шаг анкеров — 1,2 м, дополнительно предусмотрено укрепление откоса.

В качестве опорного слоя шпунтового ограждения для трех вариантов принят ИГЭ-3 — супесь пластичная.

Уровень воды в р. Смоленке принят в соответствии с данными обследования.

Таблица 2

Физико-механические характеристики грунтов, используемые при численном моделировании

№	Наименование грунта	γ , кН/м ³	e	c , кПа	ϕ , град	E , МПа
2	Песок пылеватый	17,0	0,5	2	26	11,0
2б	Песок крупный	18,0	0,6	1	30	20,0
3	Супесь пластичная	19,5	0,78	5	21	8,0
3а	Супесь пластичная	19,5	0,78	3	18	8,6
4	Суглинок пылеватый	19,0	0,88	7	14	6,4
4а	Суглинок пылеватый	19,7	0,73	13	18	8,0
6	Суглинок пылеватый	18,3	0,86	14	8	5,6
6а	Суглинок пылеватый	18,9	0,93	16	13	8,5
8	Супесь пластичная	22,1	0,38	22	27	12,0
8а	Супесь твердая	22,8	0,32	36	32	18,0

Таблица 3

**Результаты численного моделирования
шпунтового ограждения**

Характеристики	Л4	ШК-150	GP-5
Максимальное горизонтальное перемещение шпунта, см	0,2	0,2	0,3
Максимальное вертикальное перемещение шпунта, см	0,5	0,7	0,8
Максимальный момент, кНм	34	32	30
Поперечная сила, кН	92	86	81

Расчет был проведен по инженерно-геологическому разрезу, изображенному на рисунке. Физико-механические характеристики грунтов, используемые при численном моделировании, представлены в табл. 2.

Результаты численного моделирования трех вариантов шпунтового ограждения сведены в табл. 3.

Экономическое сравнение применения композитного шпунта по сравнению со стальным для берегоукрепления реки Смоленки представлено в табл. 4. Расчет выполнен на 10 м.

Выводы

В результате численного моделирования в Plaxis 2D доказано, что для берегоукрепления реки Смоленки возможно использовать и металлический, и композитный шпунты, которые подходят по действию максимального момента и максимальной перерезывающей силы.

Во всех вариантах рассматривалось заанкеренное шпунтовое ограждение длиной 6 м с устройством железобетонного шапочно бруса и стальной анкерной тяги.

При использовании металлического шпунта Ларсен Л4 для увеличения его долговечности необходимо провести антикоррозионные мероприятия, что приводит к удорожанию проекта. При использовании композитного шпунта вместо стального общая экономия составит 35–40 %.

С учетом экономической целесообразности и технической возможности, подтвержденной расчетом, за окончательный вариант рекомендуется принимать устройство композитного шпунтового ограждения ШК-150.

Таблица 4

**Экономическое сравнение применения
композитного шпунта по сравнению
со стальным**

Виды шпунтов	Л4	ШК-150	GP-5
Кол-во шпунтовых свай в 10 м, шт.	25	17	20
Вес, т	11,1	1,5	1,0
Стоимость материала, тыс. руб.	505,0	380,0	435,0
Стоимость погружения 1 шпунта длиной 6 м, тыс. руб.	4,5	5,5	5,5
Общая стоимость погружения, тыс. руб.	112,5	93,5	110,0
Стоимость антикоррозийной обработки 1 шпунта длиной 6 м, тыс. руб.	2,0	—	—
Общая стоимость антикоррозийной обработки, тыс. руб.	50,0	—	—
Итого	667,5	473,5	545,0

Библиографический список

1. Мангушев Р. А., Ильичев В. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: АСВ, 2014.
2. Даревский В. Э., Романов А. М. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набережные, берегоукрепления, подпорные стены, защита от оползней). М.: Мастер, 2011. 595 с.

References

1. Mangushev R. A., Il'ichev V. A. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya* [Geo-engineering reference book. Bases, foundations, and subsurface structures]. Moscow, ASV Publ., 2014.
2. Darevskiy V. Eh., Romanov A. M. *Proektirovanie sooruzheniy, obespechivayushchikh ustoychivost' gruntovykh massivov (naberezhnye, beregoukreplenie, podpornye steny, zashchita ot opolzney)* [Design of construction facilities providing stability of soil massifs (embankments, bank protection, retaining walls, protection against landslides)]. Moscow, Master Publ., 2011, 595 p.