

УДК 69:624

## РУССКИЕ ШПУНТОВЫЕ СТЕНЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ И РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

<sup>1</sup>Субботин А.С., <sup>2</sup>Табаев И.М., <sup>1</sup>Филина М.Е., <sup>1</sup>Тарнушкина В.В.

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, e-mail: mariafilina575@mail.ru;

<sup>2</sup>Центр трансфера технологий и технической политики «Атомстройэкспорт», Москва, Российская Федерация

В данной работе авторы рассмотрели технологию русских шпунтовых стен, применяемую при гидротехнических работах и на этапе нулевого цикла на атомных электростанциях большой мощности. Эта технология охватывает ключевые аспекты использования шпунтовых конструкций для строительства объектов атомной энергетики. Шпунтовые стены выступают эффективным средством для стабилизации грунта и защиты строительных площадок. Авторы проанализировали различные профили и крепежные элементы русских шпунтовых стен, а также привели примеры их практического применения на крупных атомных станциях как в России, так и за рубежом. Кроме того, был проведен анализ опыта использования потребностей и технических характеристик русских шпунтовых стен при выполнении гидротехнических работ во время строительства атомных объектов. Рассмотрены основные технологические решения, связанные с установкой шпунтов, выбором методов погружения свай и их извлечения. Также выделены преимущества русских шпунтовых стен по сравнению с традиционными типами. Правильный выбор и способ монтажа русской шпунтовой стенки могут значительно повысить эффективность гидротехнических работ и обеспечить надежную защиту сооружения на этапе нулевого цикла при высоких нагрузках.

**Ключевые слова:** русская шпунтовая стена, гидротехнические работы, работы нулевого цикла, шпунтовая свая, вибропогружатель

## RUSSIAN SHEET PILE WALLS FOR HYDRAULIC ENGINEERING AND ZERO-CYCLE WORK AT HIGH-CAPACITY NUCLEAR POWER NUCLEAR POWER PLANTS

<sup>1</sup>Subbotin A.S., <sup>2</sup>Tabaev I.M., <sup>1</sup>Filina M.E., <sup>1</sup>Tarnushkina V.V.

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“National Research Moscow State University of Civil Engineering”,  
Moscow, Russian Federation, e-mail: mariafilina575@mail.ru;

<sup>2</sup>The ASE Technology Transfer and Technical Policy Center, Moscow, Russian Federation

In this paper, the authors examined the technology of Russian sheet piling walls used in hydraulic engineering and at the zero cycle stage in high-power nuclear power plants. This technology covers key aspects of the use of sheet pile structures for the construction of nuclear power facilities. Tongue-and-groove walls are an effective tool for soil stabilization and protection of construction sites. The authors analyzed various profiles and fasteners of Russian sheet piling walls, and also gave examples of their practical application at large nuclear power plants both in Russia and abroad. In addition, an analysis of the experience of using the needs and technical characteristics of Russian sheet piling walls during hydraulic engineering work during the construction of nuclear facilities was carried out. The main technological solutions related to the installation of sheet piles, the choice of methods for sinking piles and their extraction are considered. The advantages of Russian tongue-and-groove walls in comparison with traditional types are also highlighted. The correct choice and method of mounting a Russian sheet pile wall can significantly increase the efficiency of hydraulic engineering work and ensure reliable protection of the structure at the zero cycle stage under high loads.

**Keywords:** Russian sheet pile wall, hydraulic engineering works, zero cycle works, sheet pile, vibration loader

### Введение

Повышение экономической эффективности строительства объектов атомной энергетики и гидротехники напрямую связано с внедрением инновационных решений, сокращающих продолжительность наиболее затратных этапов, к которым относится нулевой цикл. Одной из таких пер-

спективных разработок является технология русских шпунтовых стен (РШС), демонстрирующая высокий потенциал в области оптимизации строительных процессов.

Русские шпунтовые стены представляют собой универсальное решение, благодаря которому можно достичь решения в множестве производственно-технических задач.

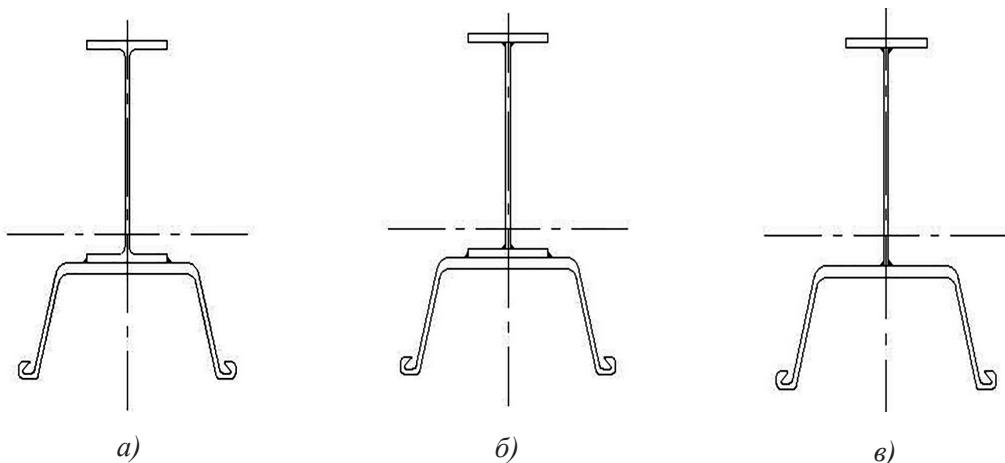


Рис. 1. Варианты усиления базового шпунтового корытного профиля:  
а) прокатной двутавровой балкой [2]; б) сварной двутавровой балкой [2];  
в) сварной тавровой балкой [2]

Примечание: составлен авторами на основе источника [1, с. 4]

Благодаря сложному профилю поперечного сечения стальные сваи шпунта могут выдерживать значительные статические и динамические нагрузки. Шпунтовые стены решают задачу удержания грунта и ограничения фильтрации при минимальной площади строительного контура. При глубине котлованов более 20 м и высоком уровне подземных вод такие конструкции позволяют исключить массивные бетонные ограждения и снизить объем земляных работ. Это делает технологию особенно востребованной в строительстве не только гидротехнических объектов, но и объектов атомной отрасли, например, при устройстве котлованов. Однако в отдельных случаях жесткости шпунта недостаточно и требуется применение дополнительных усиливающих конструкций, таких как анкерное крепление в массив грунта и распорные пространственные каркасы, что, в свою очередь, связано с дополнительным расходом материалов, необходимостью проведения сложных технологических операций, использования специальной техники.

Решение данной проблемы стало возможным вследствие развития технологии шпунтовых стен и появления стального шпунта комбинированного профиля, имеющего название «Русские шпунтовые стены» (РШС).

Особенностью данной технологии является усиление шпунтовой сваи за счет присоединения к ней продольного усиливающего элемента, чаще в виде двутавровой балки (рис. 1). Номенклатура шпунтовых свай и проката усиливающего элемента позволяют подобрать варианты конструкций

под различные гидрогеологические, физико-механические условия при проектировании сооружений.

**Цель исследования** – выявление оптимальных технологий установки и эксплуатации РШС в условиях специфических требований атомной энергетики.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования является РШС как действенная конструкция, применяемая в современном строительстве. РШС представляет собой шпунтовую сваю корытного типа, усиленную балкой таврового или двутаврового сечения.

Данная конструкция сплошной стены соединяется при помощи сварки.

В конструкции шпунтовых стен, в зависимости от требуемого усиления базового профиля, могут использоваться следующие варианты конструкции (рис. 2):

а – РШС с одной промежуточной шпунтовой сваей;

б – РШС с тремя промежуточными шпунтовыми сваями;

в – двухсторонние РШС.

Шпунтовые стенки служат для создания прочного ограждения котлованов и гидротехнических объектов, обеспечивая стабильность грунта и исключение сдвига по ослабленным слоям. Конструкция воспринимает давление грунта и гидростатические нагрузки, обеспечивая устойчивость контура без массивных бетонных укреплений. Применение РШС рационально при больших глубинах и сложных инженерно-геологических условиях, где традиционные шпунтовые системы теряют жесткость и герметичность [3].

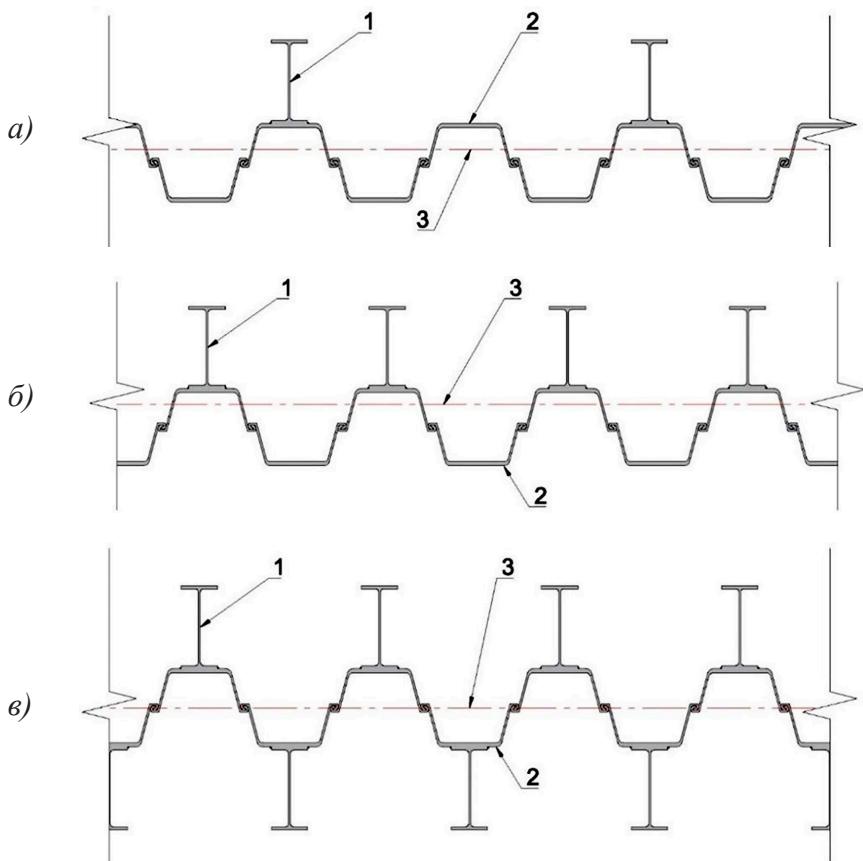


Рис. 2. Виды русских шпунтовых стен:  
 1 – усиливающая балка; 2 – шпунтовая свая; 3 – нейтральная ось стенки  
 Примечание: составлен авторами на основе источника [1, с. 4]

Балка РШС повышает изгибную жесткость шпунтовой сваи и снижает амплитуду деформаций под действием неравномерных нагрузок. При статическом расчете учитывается совместная работа балки и грунта по схеме защемленного элемента, воспринимающего поперечные усилия и изгибающие моменты. При необходимости в систему вводятся анкеры или распорные пояса, перераспределяющие нагрузку и ограничивающие прогиб стенки.

Сваи РШС производят как на заводах металлоконструкций, так и в полевых условиях при развернутых сборочных линиях. Заводской вариант обеспечивает стабильную геометрию профиля и точность замковых соединений, что критично при устройстве водонепроницаемых контуров. На строительных площадках преимущество заключается в оперативной подгонке длины и конфигурации элементов без потери качества сварных швов [4].

Усиливающая балка изготавливается из горячекатаного [1, с. 5–18] или сварно-

го профиля в соответствии с нормативами национальных стандартов. Конфигурация подбирается по расчетной схеме на основании требуемого момента инерции и допускаемых напряжений. Сварные конструкции [2] применяются при больших пролетах и повышенных изгибных нагрузках, что характерно для котлованов реакторных и турбинных блоков.

Для проведения настоящего исследования необходимо: проанализировать опыт применения, потребность, технические и технологические характеристики РШС.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На сегодняшний день технология РШС активно применяется в атомной отрасли. Успешно реализованы гидротехнические сооружения на строительной площадке АЭС «Руппур», ведутся работы по устройству ограждения объединенного котлована насосных станций на площадке АЭС «Бушер».

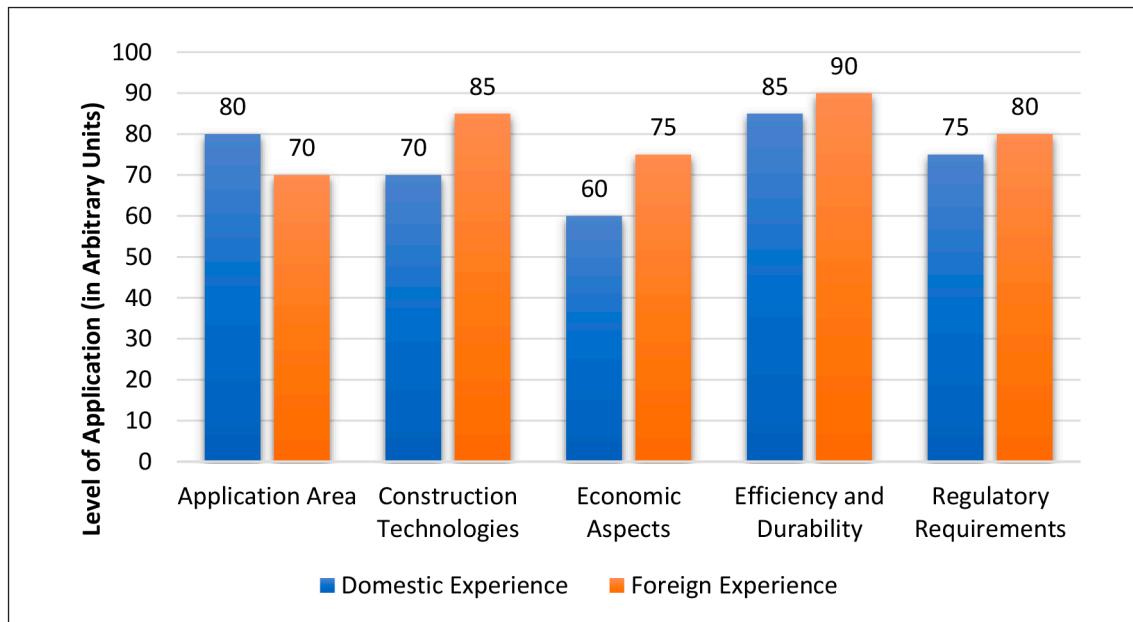


Рис. 3. Сравнительный анализ применения российской шпунтовой стенки  
Примечание: составлен авторами на основе полученных данных в ходе исследования

В настоящее время рассматривается возможность применения данной технологии при возведении комплекса гидротехнических сооружений для стоянки плавучих энергоблоков (МПЭБ) в рамках строительства морского терминала порта Певек. Опыт использования технологии РШС продемонстрировал, что результаты работ соответствуют проектной документации, а также подтвердил практическую осуществимость требований проекта на строительной площадке. Сравнительный анализ применения РШС на отечественных и зарубежных объектах представлен на рис. 3.

Несмотря на то, что за рубежом РШС используются реже, особенности производства и монтажа занимают лидирующую позицию, так как они выигрывают по стоимости и доступности материалов, а также долговечности конструкции [5, с. 1–2].

Существующие строящиеся и перспективные проекты АЭС предусматривают строительство зданий и сооружений в котлованах, имеющих значительное заглубление, устраиваемых, как правило, в обводненных грунтах береговой зоны какого-либо водоема. Сама технология выработки электроэнергии турбогенераторными установками с большим потреблением воды на охлаждение конденсационных установок и водоподготовку для обеспечения технологического процесса зачастую предусматривает размещение АЭС в непосредственной близости к водному объекту и строитель-

ство гидротехнических сооружений, в том числе водозаборных сооружений. В настоящее время для решения подобных задач используется «классический» стальной или полимерный шпунт корытного типа. Исходя из технических параметров данных элементов при возведении из них ограждающих конструкций, как правило, используются дополнительные усиливающие элементы для восприятия или перераспределения нагрузок, такие как распорные каркасы или анкеры. Применение РШС позволит значительно упростить конструктив и технологию возведения шпунтовых стен котлованов и гидротехнических сооружений, параллельно снизив материалоемкость, трудозатраты и время строительства [6].

Основными требованиями к конструкциям, применяемым на АЭС, являются требования к надежности и унификации конструкций при различных условиях работы. Применяемые строительные решения должны позволять реализовать их в различных климатических, гидрогеологических (физико-химических) условиях. При этом должна быть реализована концепция унификации технологических решений (используемая техника, персонал, оснастка, трудоемкость и т.п.) [5, с. 1–2].

Технические характеристики РШС полностью соответствуют требованиям существующих проектов АЭС, так как составными элементами РШС являются типовые профили стали, изготавливаемые по стандартам,

прошедшим отраслевой контроль. При этом физико-механические свойства свай РШС значительно выше, чем у систем, применяемых для решения аналогичных задач.

По сравнению с классическими видами шпунта РШС имеют ряд дополнительных возможностей, увеличивающих прочность и устойчивость готовых конструкций, в том числе устройство скальных болтов.

*Примечание: Скальные болты применяются в условиях устройства стен из РШС на скальном основании или при недостаточной мощности глинистых или песчаных грунтов, для необходимого пассивного отпора, залегающих на скальных породах. После погружения РШС до упора в скалу выполняется бурение скважин и погружение стальных стержней, воспринимающих нагрузки на стенку и передающие их на основание.*

Технологические особенности системы РШС полностью соответствуют общестроительным работам, выполняемым при строительстве АЭС. При погружении и выдергивании свай РШС применяется аналогичная техника, используемая для погружения других типов свай.

Рассмотрим основные технологические решения, применяемые для русских шпунтовых стен:

– *Основные способы погружения РШС*

Погружение свай русских шпунтовых стен выполняется тремя способами: забивкой, выбropогружением и задавливанием. Выбор технологии определяется типом грунта, глубиной заложения и требованиями к сохранности профиля. Основная цель – достижение проектной отметки без деформации шпунта и нарушения замковых соединений.

Выбropогружение обеспечивает наименьшее динамическое воздействие на конструкцию и прилегающий грунт [7]. Колебания снижают сопротивление трения, ускоряя заглубление и уменьшая риск изгиба профиля. Метод применяется при песчаных, супесчаных и слабосвязных грунтах, где требуемая глубина достигается без добивки. Контроль параметров вибрации и частоты позволяет исключить повреждение замков и перегрев металла [8].

Забивка используется при высокопластичных и связных грунтах, где выбropогружение теряет эффективность из-за вязкости массива. При снижении скорости внедрения ниже 10 см в минуту переходят на ударное воздействие одиночным молотом. Ударная добивка применяется также для достижения конечной отметки после выбropогружения, если шпунт остановился на плотном слое или в зоне включений.

Задавливание применяется в районах плотной городской застройки и на площадках с повышенными требованиями к вибрационной безопасности. Метод исключает динамическое воздействие на грунт и соседние конструкции, но требует мощного гидравлического оборудования и высокой точности позиционирования шпунта.

Комбинированная схема – выбropогружение с последующей добивкой молотом – используется при неоднородной структуре грунта [9, с. 41–42]. Она обеспечивает достижение проектной глубины без потери геометрии и позволяет контролировать состояние шпунта на каждом этапе. Выбор метода фиксируется в технологической карте, где задаются параметры погружения, усилия и контроль допуска по отклонению вертикали.

Использование вибрации для погружения РШС основано на снижении сопротивления как связных, так и несвязных грунтов при внедрении погружаемой сваи под воздействием колебаний определенной частоты, направляемых вдоль оси шпунтовой сваи.

– *Выбор типа выбropогружателя*

Тип выбropогружателя определяют исходя из массы шпунта, глубины погружения, характеристик грунта и требуемого режима вибрации. Основной критерий – соотношение между вынуждающей силой выбropогружателя и сопротивлением грунта. Недостаточная амплитуда приводит к залипанию шпунта, избыточная – к разрушению замков и нарушению структуры прилегающего массива.

Минимальное значение вынуждающей силы выбropогружателя ( $F_0$ , кН) рассчитывается по формуле, обеспечивающей преодоление сопротивления грунта и веса системы:

$$F_0 \geq \left[ \frac{(1,4N - 2,8G)}{Kc} \right], \quad (1)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка на сваю, кН;

$G$  – полный вес вибrosистемы, включая выбropогружатель, наголовник и основной элемент РШС, кН;

$Kc$  – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение трения грунта о боковую поверхность сваи в результате вибрационного воздействия, определяемый по [10, с. 187].

На основе полученного значения  $F_0$  производится предварительный подбор выбropогружателя. Ключевым критерием является выбор агрегата минимально достаточной мощности, у которого статический

момент дебалансов ( $K_d$ ,  $\text{kг} \times \text{м}$ ), соответствует условию

$$\frac{K_d^3 \times M_s \times A_n}{100}, \quad (2)$$

где  $M_s$  – общая масса вибrosистемы, включая динамическую массу вибропогружателя, зажимов и погружаемого элемента, кг;

$A_n$  – требуемая амплитуда колебаний вибrosистемы без контакта с грунтом, соответственно без учета сопротивления грунта.

На завершающем этапе подбора вибропогружателя необходимо учитывать следующие практические рекомендации:

– при одинаковой вынуждающей силе  $F_0$  более высокую производительность и эффективность погружения демонстрируют вибропогружатели с увеличенным статическим моментом дебалансов  $K_d$ ;

– наибольшей универсальностью и адаптивностью к изменяющимся грунтовым условиям обладают вибропогружатели с возможностью регулировки параметров в процессе работы [10, с. 188].

Для подтверждения корректности выбранной технологии погружения РШС рекомендуется провести не менее шести испытательных погружений.

В случае встречи с плотными прослойками грунта, которые затрудняют достижения проектной отметки и увеличивают сроки работ, применяются дополнительные методы, облегчающие погружение, а именно устройство лидерных скважин и подмыв грунта [9, с. 42]. Устройство лидерных скважин заключается в предварительном бурении скважины меньшего диаметра, которая направляет сваю и позволяет уменьшить лобовое сопротивление [11].

Подмыв грунта является технологией, при которой вода, нагнетаемая под высоким давлением, разрыхляет грунт основания грунта РШС, что приводит к значительному снижению как лобового сопротивления, так и сил трения боковой поверхности шпунта [12, с. 41–42].

Подмыв прекращают при достижении глубины 1–1,5 м до проектной отметки погружения. Чтобы ускорить процесс, тяжелые грунты предварительно разрыхляют, подавая воду через трубу, заглубленную на 3,5–4,5 м.

При значительной глубине погружения РШС рекомендуется комбинировать подмыв с подачей сжатого воздуха, который нагнетается в зону подмыва через специальные воздухопроводящие трубы.

В особо сложных геологических условиях производства работ применяют предварительное устройство лидерных скважин. При этом способе погружения необходимо

следить за изменением плотности грунта после извлечения лидерной сваи.

– *Описание методики погружения РШС*

РШС погружается с использованием кондуктора, обеспечивающего заданное положение шпунтинг в процессе забивки. Конструкция кондуктора подбирается с учетом типа шпунта, технологии погружения и характеристики площадки.

Работы выполняются захватками длиной от 10 до 30 м, определяемой производительностью оборудования и гидрогеологическими условиями. Для снижения трения в замках применяются заглушки или бентонитовые смеси, уменьшающие сопротивление и риск деформации замковых элементов.

Первая шпунтина и анкерная свая задают геометрию всей стенки, поэтому контроль вертикальности выполняется в двух плоскостях с использованием уровней или геодезических приборов. Проверка повторяется через каждые две шпунтины. Положение замков относительно оси стенки фиксируется шаблонами, перемещающимися по направляющим кондуктора. Нарушение ориентации приводит к отклонениям ряда и образованию веерности.

Веерность возникает из-за одностороннего выбора зазоров в замках. Компенсация достигается смещением оси погружающего механизма на 5 % ширины шпунта в сторону, противоположную отклонению. Точная величина устанавливается опытным путем при начальной забивке. Небольшие отклонения устраняются оттяжкой шпунтинга в процессе погружения. При приближении к предельному отклонению по вертикали (1 %) применяются шпунтины с клиновидными замковыми элементами, выправляющими траекторию движения [13, с. 100].

Если смещение всей стены остается в пределах допуска, коррекция выполняется при установке последующих шпунтингов с использованием оттяжек. При превышении допустимых значений шпунт извлекается и погружается заново. Невозможность извлечения требует согласования решений с проектной организацией. Минимальный отказ шпунта при забивке должен составлять не менее 0,5 см, но не ниже значения, установленного производителем оборудования. Несоблюдение отказа приводит к повышенной нагрузке на замки и их разрушению [14].

Добивка шпунта при попадании на препятствие запрещена. Замедление движения и характерный удар свидетельствует о контакте с твердым включением. Приложение ударных импульсов не устраивает препятствие, а вызывает разрыв замков или повреждение профиля.

При слабых основаниях возможен самопроизвольный уход ранее погруженных шпунтины ниже проектной отметки. Для фиксации отметки погруженные элементы соединяются сваркой. Если шпунтина не достигает требуемой глубины, применяется оборудование повышенной мощности – гидромолоты или молоты с увеличенной массой ударной части. Подмыв допускается при согласовании технологии и обеспечении стабильности соседних элементов.

– *Описание технологии извлечения РШС*

Извлечение РШС выполняется после завершения удерживающих или ограждающих функций шпунтовой стенки. Основная цель – повторное использование шпунта и восстановление естественного состояния грунта. Работы проводят механизированным способом с применением вибрационного, ударного или комбинированного оборудования, обеспечивающего передачу вытягивающего усилия через захват к шпунтине [15].

Выбор оборудования зависит от глубины погружения, характеристик грунта и состояния шпунтовых замков. В песчаных и слабосвязанных грунтах используют вибровытаскиватели, создающие чередующиеся динамические усилия, снижающие трение между стенками шпунта и грунтом. В плотных глинистых и сильно сцепленных основаниях применяют ударно-вибрационные системы или установки с гидравлическим приводом, способные развивать постоянное тяговое усилие с регулируемой амплитудой колебаний. Оптимальный вариант – комбинированная схема с подмывом, обеспечивающая снижение сопротивления грунта и уменьшение нагрузок на оборудование.

Начальная стадия извлечения направлена на срыв шпунта с места и разрушение сцепления с грунтом. Для этого шпунт осаживается вниз вибромашиной на 3–5 см при ослабленном тросе. При недостаточном эффекте допускается кратковременная осадка молотом. После потери сцепления выполняется плавное выдергивание с постоянным вибровоздействием.

Скорость подъема ограничивается характеристиками грунта. В песчаных слоях допускается не более 3 м/мин, в глинистых – не более 1 м/мин. Превышение скорости вызывает рост динамических нагрузок, разрушение замков и деформацию профиля шпунта. Контроль усилий и параметров подъема выполняется непрерывно, отклонения корректируются изменением амплитуды вибрации и режима тяги.

Работы выполняются участками, в последовательности, исключающей потерю устойчивости прилегающих грунтов. Извлечение ведут в обратном порядке отно-

сительно погружения, начиная с последующей забитой шпунтины. В зонах с разнородными грунтами допускается частичное оставление шпунта, если его удаление приводит к обрушению откоса или деформации соседних конструкций.

При заедании шпунтины применяются кратковременные реверсивные колебания или чередование тяговых и ударных импульсов. Попытки извлечения без снятия сопротивления грунта приводят к деформации профиля. Поврежденные элементы не подлежат повторному использованию. При систематическом заклинивании анализируют фактическое состояние основания и корректируют технологический режим извлечения.

Завершающий этап включает промывку и осмотр шпунтов, оценку состояния замковых соединений и геометрии профиля. Наличие остаточных изгибов или вмятин служит основанием для сортировки и частичного списания материалов. Повторное применение шпунта допускается только после дефектоскопии и восстановления профиля методом правки или наплавки.

### Заключение

Рассмотренная в статье технология возведения подпорных сооружений с применением свай РШС является развитием широко распространенной в строительстве технологией шпунтовых ограждений. Технология и организация работ по возведению сооружений из РШС аналогична используемым для «классических» типов шпунта и не требует применения специальных механизмов и методов работ.

Также преимуществом применения РШС является удешевление шпунтовых ограждающих конструкций за счет отказа от дорогостоящих замков-коннекторов, земляных и бетонных работ. Конструктив РШС использует только цельные стандартные шпунты, что позволяет ограничиться от патентных рисков, связанных с замками-коннекторами. За счет использования РШС можно обойтись без распоров при возведении котлованов, что позволяет эффективнее работать внутри самого котлована, так как распоры не будут мешать строительной технике.

Существующая нормативная база позволяет использовать данную технологию как в гражданском, так и в промышленном строительстве, в том числе на объектах использования атомной энергии.

### Список литературы

- ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные. М.: Стандартинформ 2017, Стандартинформ 2019, 50 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158293> (дата обращения: 20.12.2025).

2. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. М.: Минстрой России, 2017. 151 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054190> (дата обращения: 12.12.2025).
3. ГОСТ Р 53629-2009. Шпунт и шпунт-сваи из стальных холодногнутых профилей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 21 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200073529> (дата обращения: 20.12.2025).
4. Панкратьев Е.Г. Новый российский шпунт: крепче, легче и удобнее // Гидротехника. 2024. № 4 (77). С. 76–78. URL: <https://hydroteh.ru/jour/issue/view/57/showToc> (дата обращения: 22.12.2025).
5. Соболь И.С., Глебов А.П. Исследование эффективности применения шпунтовых свай при строительстве атомных электростанций // Достижения науки и образования. 2019. № 8–3 (49). С. 115–117. EDN: GFSXWJ.
6. Ашастин А.В. Отечественный шпунт для гидротехнического строительства // Гидротехника. 2022. № 3 (68). С. 80–81. URL: <https://hydroteh.ru/jour/issue/view/40/showToc> (дата обращения: 22.12.2025). DOI: 10.55326/22278400\_2022\_3\_80.
7. Юдина А.Ф., Верстов В.В. Контроль и снижение уровня динамических воздействий при вибропогружении шпунта в грунт // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 1. С. 31–34. URL: <https://ofmg.ru/journal/2017/1/> (дата обращения: 22.12.2025).
8. Аладин А.М., Акинфиев А.А. Экспериментальное исследование эффективности погружения шпунта гидравлического вибропогружателя // Гидравлика. 2018. № 6. URL: <https://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER6/Aladin.pdf> (дата обращения: 22.12.2025).
9. СП 80.13330.2016 «Гидротехнические сооружения речные». Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87. М.: Минстрой России, 2017. 54 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456033398> (дата обращения: 22.12.2025).
10. СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. М.: Минстрой России, 2017. 239 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054188> (дата обращения: 23.12.2025).
11. Верстов В.В., Гайдо А.Н., Егорова Н.А. Технология устройства свайных фундаментов заводского излучения // Молодой ученый. 2018. № 20 (206). С. 138–141. URL: <https://moluch.ru/archive/206/50524/> (дата обращения: 23.12.2025). EDN: XNMCQP.
12. Корчагин Е.А. Выполнение работ с балочно-шпунтовыми системами (БШС) и шпунтом Л5-УМ в гидротехническом строительстве: методическое пособие. 2025. С. 41–42.
13. СП 381.1325800.2018. Подпорные конструкции. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2018. 161 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552498317> (дата обращения: 22.12.2025).
14. Мангушев Р.А., Фадеев А.Б. Учет расчетных параметров шпунтовых стенок профиля Ларсена при проектировании ограждений котлованов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Т. 13. № 4. С. 114–120. DOI: 10.22337/2587-9618-2017-13-4-114-120.
15. Гайдо А.Н., Капустин М.А. Статический способ извлечения стального шпунта из грунта // Экономика строительства. 2025. № 1. С. 454–458. URL: <https://econom-journal.ru/upload/iblock/9b6/2d105bv47ocssy72s6fql6uhnxzy7t86/№1%202025%20ЭС.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.