

# НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗРАБОТОК КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЕКТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ТРУБЧАТОГО СВАРНОГО ШПУНТА

А.А. ЦЕРНАНТ, доктор техн. наук, профессор, Н.А. ЕФРЕМОВ, канд. техн. наук, ОАО «ЦНИИС»;  
В.В. ГОНЧАРОВ, генеральный директор ООО «Трест Запсибгидрострой»

**В статье рассматривается опыт ЦНИИС и «Треста Запсибгидрострой», разработавших на основе творческого сотрудничества и результатов научного сопровождения национальные стандарты, технические условия на изготовление и своды правил по проектированию, возведению и эксплуатации транспортных и портовых гидротехнических сооружений из стального трубчатого сварного шпунта, соответствующие требованиям федеральных законов РФ № 184 «О техническом регулировании» и № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» по условиям эффективности применения строительных конструкций, рациональному расходованию материалов и комплексной безопасности эксплуатации.**

До недавнего времени в России стальной шпунт не производился. Подпорные стены различных сооружений высотой 10-12 м возводили из импортного шпунта либо использовали конструкции с экраняющими и разгружающими элементами. Для возведения таких сооружений требовались значительные дополнительные затраты материалов, труда и энергоресурсов.

Освоение в «Тресте Запсибгидрострой» производства современных эффективных профилей стальных шпунтовых свай, предоставление проектным и строительным подразделениям «Трансстрой» [9] возможности выбора профилей шпунтовых свай, различных по форме, характеристикам стали, доступного их приобретения стало надежным источником повышения стабильности работы строительных организаций и получения ими устойчивой прибыли.

В ЦНИИС работы по исследованию конструкций и технологий производства были начаты в 1975 г. У их истоков стояли доктор техн. наук А.И. Кузнецов, кандидаты техн. наук Г.Д. Хасхачих и Л.Н. Лосев. Сотрудниками института была разработана нормативная документация, созданы методики расчета для проектирования, отработаны ресурсосберегающие технологии производства и методы контроля качества возведения транспортных и портовых гидротехнических сооружений из стального трубчатого сварного шпунта (ШТС). К настоящему времени из 150 тыс. т ШТС, изготовленных «Трестом Запсибгидрострой», возведены подпорные стены морских и речных сооружений, суммарная протяженность которых превышает 30 км, без рекламаций, отступлений от проекта и надежных в эксплуатации.

Широкое внедрение ШТС на объектах транспортного и портового гидротехнического строительства России обусловлено не только совершенством конструкции сварных

шпунтовых трубчатых свай и высоким качеством их изготовления, но и успешным решением ряда специфических проблем на этапах научного сопровождения проектирования, строительства и обеспечения эксплуатационной надежности. В их числе проектные решения, обеспечивающие надежную работу больверка высотой 16-20 м в условиях паводков, ледоходов с льдинами толщиной 1,5-2 м и значительной площади; обеспечение возможности погружения ШТС в вечномерзлые, скальные [10], гравийно-галечниковые, песчаные и глинистые грунты различной консистенции; обеспечение



Фото 1. Подпорная стенка из шпунта трубчатого сварного



Фото 2. Подпорная стенка из шпунта трубчатого сварного с анкеровкой

длительной защиты конструкций от агрессивного воздействия морской и речной воды; изготовление конструкций ШТС (шпунтовых свай, анкерных устройств [11], разгрузочных платформ и других элементов) под ключ с полной заводской готовностью и обеспечением на строительной площадке только их монтажа и сборки, причем без каких-либо трудоемких ручных и водолазных работ.

Опыт научного сопровождения проектирования, строительства и эксплуатации подпорных стен из ШТС показал (фото 1), что сооружения со свободной высотой до 6-8 м целесообразно возводить без анкерных устройств, экономя материальные и трудовые ресурсы.

Подкрановые пути и инженерные сети больверков из ШТС рекомендуется проектировать в соответствии с методиками расчетов, приведенными в сводах правил [7, 8]. Подпорные стены высотой 12-16 м следует усиливать [10], применяя однорядные анкерные устройства (фото 2). Подпорные стены из ШТС с двойной по высоте анкеркой рекомендуются для применения в тех случаях, когда размещение только одного ряда анкеров не обеспечивает надежной работы сооружения.

Опыт ЦНИИС по научному сопровождению проектирования и строительства подпорных стен, морских и речных портовых и берегоукрепительных сооружений, а также результаты расчетов [6, 7] позволяют заключить, что замена в проектах подпорных стен стального шпунта традиционных профилей типа Ларсен-4, Ларсен-5 и Ларсен-5 УМ на шпунт трубчатый сварной по ГОСТ Р 52664-2010, как правило, позволяет существенно упростить конструкцию и выполнить ее без анкерных устройств, анкерных свай и анкерных тяг, плит и метизов.

ШТС, изготовленные на заводе «Треста Запсибгидрострой» в г. Сургуте, по несущей способности, моменту инерции, удельному показателю расхода металла превосходят не только горячекатаные шпунты Ларсен-4, Ларсен-5 и Ларсен-5 У производства Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК, РФ) и Днепропетровского металлургического комбината (ДМК, Украина), но и зарубежные их аналоги: Larssen-25 (Hoesch, Германия) и NSP VL (Nippon Steel, Япония) [7].

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики шпунтовых стен из шпунтовых свай типа «Ларсен» и ШТС. Сравнительные показатели эффективности определены в соответствии с действующими методиками, принятыми в мировой практике [9].

Результаты сравнительного анализа характеристик шпунтовых стен, приведенные в табл. 1, позволяют заключить, что по основным показателям эффективности, несущей способности и показателю удельного расхода стали ШТС, изготовленные «Трестом Запсибгидрострой» в г. Сургуте в соответствии с нормативными документами, разработанными в ЦНИИС, превосходят традиционные отечественные и зарубежные аналоги.

Об эффективности и преимуществах применения ШТС на строительстве подпорных стен указывают также

Таблица 1. Сравнительные характеристики шпунтовых стен

Обозначение	Фирма-изготовитель	Ширина профиля, мм	Масса, М, кг/1 м <sup>2</sup> стены	Момент инерции, I <sub>0</sub> , см <sup>4</sup>	Момент сопротивления, W <sub>0</sub> , см <sup>3</sup>	Удельный показатель, K=W <sub>0</sub> /M
Л-4	НТМК	400	190	39400	2200	11,6
Л-5	ДМК	425	238	50943	3000	12,6
Л5-У	НТМК	502	228	76430	3555	15,6
Larssen-604	Hoesch, Германия	600	124,2	30710	1620	13,0
NSP	Nippon Steel, Япония	600	136	32400	1800	13,2
ШТС* Л-4	«Трест Запсибгидрострой», г. Сургут, ХМАО	1156	222,3	127860	4106	16,5
ШТС* Л-5		1186	275	117308	4240	15,4
ШТС* ШК-1		1118	224,7	126374	3925	17,5
ШТС* УТ		96	244,1	137100	4080	15,6
ШТС* FL-511		1240	200,1	113568	3912	16,0

Примечание: \* – для ШТС на основе труб  $\varnothing$  720 мм со стенками  $\delta=10$  мм

сравнительные расчеты трудоемкости, выполненные на основе ресурсных методов, в соответствии с методиками ГЭСН 81 – 05-01-2000.

В среднем трудоемкость возведения подпорных стен транспортных, гидротехнических и берегозащитных сооружений из ШТС «Треста Запсибгидрострой» при однотипных инженерно-геологических условиях оказывается в 1,3-1,5 раза меньше, чем из шпунтовых свай традиционных профилей или горячекатаных шпунтовых свай типа «Ларсен».

В технической литературе и нормативных документах [7, 8, 9] подпорные стены из шпунтовых свай рассчитывают на горизонтальные нагрузки от грунта, воздействия воды, льда, судов и технологического оборудования. Боковое давление грунта и технологические нагрузки принято относить к активным воздействиям, а отпор грунта в забитой части шпунтовых свай принимать как пассивное давление.

В расчетных схемах систему «шпунтовая свая – грунтовое основание» принято считать многократно статически неопределимой. Многочисленные программы расчетов подпорных стен позволяют определить глубину забивки шпунтовых свай, размеры анкерных устройств, оценить местную устойчивость



Фото: 3. Объездная дорога г. Ханты-Мансийска с подпорными стенами с использованием ШТС



Фото 4. Набережная административного центра в Красногорском районе Московской области, построенная с использованием шпунта трубчатого сварного

и минимальную глубину забивки шпунтовых свай. Расчеты на прочность дают возможность определить изгибающие моменты и усилия в шпунтовых сваях при заданной глубине их забивки и выбрать тип шпунтовой сваи по сортаменту. Специфическими для подпорных стен из ШТС являются расчеты по определению диаметра и толщины стенок стальной трубы, а также расчеты замковых соединений и предельных в них усилий, в том числе на прочность, разрыв и проницаемость.

Не анализируя здесь преимущества и особенности расчетных программ, отметим, что при высоте подпорной стены 3÷5 м несущая способность подпорных стен из шпунтовых свай типа «Ларсен» становится недостаточной для обеспечения устойчивости и надежной работы сооружения. Как правило, в таких случаях проектировщикам приходится разрабатывать более сложные конструкции подпорных стен на основе применения анкерных устройств [11], разгрузочных свай и плит, которые в 1,5-2 раза повышают их стоимость.

Подпорные стены из ШТС-720-10, изготовленные по ГОСТ Р 52644-2006 «Шпунт трубчатый сварной. Технические условия», автотранспортной развязки в г. Ханты-Мансийске (фото 3) имеют свободную высоту 10 м и выполнены без анкерных систем. С 2007 года этот путепровод находится в постоянной эксплуатации без каких-либо претензий от эксплуатирующих и природоохранных организаций в условиях прохождения автомобильной дороги через государственный заповедник – природный парк «Самаровский чугас».

При разработке конструкций ШТС в ЦНИИС и изготовлении их в «Тресте Запсибгидрострой» особое внимание уделяли вопросам прочности сооружений и обеспечения условий безопасной эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла, который исчисляется не менее чем полувеком. Поэтому при проектировании подпорных стен из ШТС определяют коррозионную стойкость и изменения несущей способности конструкции в связи с процессами коррозии [7, 8, 9].

Анализ опыта строительства показывает, что сооружения из ШТС имеют высокую коррозионную стойкость и технико-экономические преимущества по сравнению со шпунтовыми сваями Ларсен-4, Ларсен-5, Ларсен-5 УМ, а также Larssen-Hoesch. Аналитически установлено и на объектах строительства проверено, что у подпорных

стен из ШТС медленнее проходят процессы коррозии и ослабления, чем у шпунтовых свай горячекатаного типа.

В табл. 2 приведены результаты сравнительного анализа коррозионной стойкости подпорных стен из шпунтовых свай типа Ларсен-5, ШТС и Larssen-Hoesch для этапа окончания строительства и по истечении 25 лет эксплуатации в расчетах принято, что средняя интенсивность коррозионного износа составляет 0,1 мм в год.

Таблица 2. Сравнительный анализ коррозионной стойкости горячекатаных шпунтовых свай и ШТС

Тип шпунта	Параметры							
	начальные				остаточные			
	$\varnothing_{нр}$ , мм	$\delta_{нр}$ , мм	$W$ , см <sup>3</sup>	$H^*$ , кг/м <sup>2</sup>	$\varnothing_{кр}$ , мм	$\delta_{кр}$ , мм	$W_{кр}$ , см <sup>3</sup>	$K$
Ларсен-5	-	21	3000	238,0	-	18,5	2605	89,8
ШТС 630x10 Л-5	630	10	3040	231	625	7,5	2220	76,5
ШТС 720x8Л-5	720	8	2939	203	715	5,5	1992	68,7
ШТС 820x10 Л-5	820	10	4201	233	815	7,5	3113	107,3
ШТС 1020x10 Л-5	1020	10	5524	232	1015	7,5	4127	142,3
Larssen-Hoesch	-	14,3	3150	215	-	12,6	2735	94,3

Примечание:  $H^*$  – удельный расход стали кг/м<sup>2</sup>

По результатам расчетов и натурных измерений установлено (табл. 2), что подпорные стены из шпунтовых свай Ларсен-5 и Larssen-Hoesch по истечении 25 лет эксплуатации будут иметь остаточный ресурс, соответственно, на 10,2% и 5,3% меньше начального проектного. Для обеспечения безопасных условий эксплуатации сооружения из шпунтовых свай Ларсен-5 и Larssen-Hoesch при проектировании должны иметь соответствующий запас на коррозионный износ или требуется предусмотреть затраты на их ремонт и восстановление несущей способности в эксплуатационный период.

Из табл. 2 следует, что при увеличении в ШТС диаметра труб с 720 мм до 820 мм и 1020 мм в подпорных стенах будет сохранена не только несущая способность, но и запас, соответственно,  $K=1,7$  и  $K=1,42$ .

Результаты расчетов эффективности от снижения коррозионного износа при замене шпунтовых свай типа «Ларсен» на ШТС приведены в табл. 3.

Таблица 3. Коррозионный износ шпунтовых свай «Ларсен» и ШТС

Тип шпунта	Расход стали, кг / м <sup>2</sup> стены	Момент сопротивления, $W$ , см <sup>3</sup>	Относительный коррозионный износ*1,0
Ларсен-5	238	2962	1,0
ШТС 530x10	222	2906	≈ 1,0
ШТС 820x10	229,8	5046	0,6

Примечание: \* – отношение моментов сопротивления  $W_{л-5}/W_{штс}$

Результаты расчетов (табл. 3) показывают, что шпунтовые сваи Ларсен-5 и ШТС 530x10, имея практически равный расход стали (кг/м<sup>2</sup>) и моменты сопротивления ( $W$ , см<sup>3</sup>) при одинаковых условиях эксплуатации и равной скорости коррозионного износа (мм/год), будут иметь примерно равный срок эксплуатации. Замена шпунтовых свай Ларсен-5 на ШТС 820x10 сохраняет примерное равенство в расходе стали на 1 м<sup>2</sup> подпорной стены, но примерно на 70%, или 4,2 мм, увеличивает запас на коррозионный износ, повышая срок эксплуатации сооружения. Замена шпунтовых свай «Ларсен» в проекте набережной АОЦ МО на р. Москва (фото 4) на ШТС производства «Треста Запсибгидрострой» без увеличения расхода металла обеспечила запас по коррозионной стойкости сооружения.

**Выводы и рекомендации:**

1. Разработка конструкций и проектов реализации сооружений из трубчатого сварного шпунта показала эффективность и перспективность творческого сотрудничества ЦНИИС (научно-исследовательского института) и треста «Запсибгидрострой» (строительной организации), а также научного сопровождения при проектировании, возведении и эксплуатации подпорных стен транспортных сооружений из ШТС.

2. Разработаны конструкции ШТС, обеспечивающие производство сортамента шпунтов трубчатых сварных с более чем 360 вариантами профилей трубчатых сварных шпунтов, моментами сопротивления  $W_0 > 25$  тыс. см<sup>3</sup>, шагом профилей в шпунтовой стене  $V = 2834$  мм и удельным расходом стали  $M = 146$  кг/м<sup>2</sup>.

3. На основании результатов исследований разработаны национальные стандарты, технические условия на производство шпунтовых свай и своды правил для проектирования подпорных стен транспортных и портовых гидротехнических сооружений из ШТС с оптимальными профилями и соотношениями в них геометрических размеров труб и замковых соединений, массы, прочности и несущей способности (кНм/м), по ряду параметров превосходящих зарубежные аналоги.

**Библиографический список**

- ГОСТ Р 52664-2006. Шпунт трубчатый сварной. Технические условия.
- ГОСТ Р 52664-2010. Шпунт трубчатый сварной. Технические условия (переработан и дополнен, заменяет ГОСТ Р 52664-2006).
- Технические условия 0925-003-01393674-95. Профиль шпунтовый трубчатый сварной.
- Технические условия 0925-003-01393674-95 с изменениями № 3. Профиль шпунтовый трубчатый сварной.
- Технические условия 0925-005-01393674-99. Профиль шпунтовый трубчатый сварной с замками из проката общего назначения.
- Технические условия 5264-003-13512256-09. Шпунт трубчатый сварной.
- Свод правил. Проектирование и строительство причальных и берегоукрепительных сооружений из трубчатого сварного шпунта. Принят Минрегионразвития РФ к публикации.
- Свод правил. Проектирование и возведение подпорных стен и водопропускных сооружений автомобильных дорог из трубчатого сварного шпунта, причальных и берегоукрепительных сооружений из трубчатого сварного шпунта. Принят Минрегионразвития РФ к публикации.
- СТО – ГК «Транстрой» – 010-2007. Стандарт организации. Шпунт трубчатый сварной. Правила производства работ на строительстве шпунтовых стен. Издание официальное. Москва, ООО «Транстройиздат», 2007.
- Технические условия 5264-011-01393674-2011. Шпунт трубчатый сварной подпорных стен и набережных на скальных грунтах.
- Технические условия 5264-012-01393674-2011. Анкерные устройства для шпунта трубчатого сварного.
- СТО – ГК «Транстрой» – 019-2007. Стандарт организации. Шпунт типа «Ларсен». Применение в транспортном строительстве. Издание официальное. Москва, ООО «Транстройиздат», 2007.

# Строительный комплекс

## Большого Урала

14-я специализированная выставка с международным участием.  
Современное строительство. Оборудование, материалы, технологии, услуги.

11 - 13 октября 2011



Новое место проведения:  
МВЦ  
«Екатеринбург-ЭКСПО»

Поддержка:



Организатор:  
УРАЛЬСКИЕ ВЫСТАВКИ  
Тел. +7 (343) 310-03-30  
www.uv66.ru

