

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ШПУНТОВ ЛАРСЕНА НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ОСЕВУЮ НАГРУЗКУ

Кварчински П., маг. техн. наук.
(Serwis Polska sp. z o.o., г. Олешница, Польша)

В статье представлена информация об использовании стального шпунта в качестве постоянного элемента конструкции, работающего на восприятие вертикальной нагрузки, и о методах расчета его несущей способности. Во многих проектах шпунты исполняют сразу несколько функций. Они могут работать как подпорные стены во время устройства котлованов, воспринимая горизонтальные нагрузки (давление грунта), создавать водонепроницаемое крепление котлована и позже, во время последующей эксплуатации объекта, могут формировать внешнюю стену и воспринимать вертикальные нагрузки. Переход от временных подпорных стен к использованию стального шпунта в качестве постоянных стен сокращает сроки строительного-монтажных работ и в целом улучшает экономические показатели.

The article provides an information on using the steel sheet piles as permanent member working under vertical loads and methods of vertical load capacity calculations. On many projects sheet piles might have a multiple role: can serve as retaining wall during excavation phase to support the horizontal pressures, provide watertight containment for the excavation pit and later can also form the permanent outer structural wall and carry the vertical loads. Avoiding the need for a temporary retaining walls, the permanent sheet pile wall maximizes the construction speed and reduces the total costs.

Шпунт Ларсена используется в мировой строительной индустрии уже более 100 лет. Изначально его применение обуславливалось необходимостью удержания от обрушения стенок котлованов, т.е. устойчивость шпунтовой стены в основном рассчитывалась к горизонтальным составляющим нагрузок в грунте.

Как правило, металлические шпунты не ассоциируются у проектировщиков со сваями с большой несущей способностью к вертикальным нагрузкам. Однако в действительности этой несущей способности хватает для использования стального шпунта с этой целью на различных объектах.

Исторически необходимость проверки несущей способности шпунтовых стен на вертикальные нагрузки появилась одновременно с началом использования грунтовых анкеров. Обычно анкера устанавливаются под углом, что в итоге вызывает возникновение вертикальной составляющей силы в шпунтовой стенке.

С начала 80-х годов XX века началось использование шпунтов Ларсена для переноса небольших вертикальных нагрузок на грунт. В таких конструкциях как подземные парковки, причалы, мосты и туннели шпунты выполняют не только функции изделия нагруженного исключительно давлением грунта и воды, но и воспринимают нагрузку от веса строительных конструкций.

В это же время начались исследовательские работы, целью которых была выработка методов безопасного и экономичного проектирования шпунтов, работающих под вертикальной нагрузкой. Проведенные во Франции испытания в период между 1983 и 1986 годами заключались в поиске корреляции между результатами зондирования грунта (*in-situ*) прессиометром Менара, проникающим зондом СРТ, прессиометром самосверлящим РАФ и результатами натуральных статических нагрузок шпунтовой стенки из 4 шпунтов. Благодаря прикрепленному к шпунту экстензометру удалось разделить сопротивление грунта вдоль боковой поверхности шпунтовой сваи от сопротивления грунта под ее острием. В статье М. Бустаманте и Л. Джинеселиего, описывающей эти испытания, предлагается также метод расчета несущей способности шпунтовых стенок на вертикальную нагрузку.

На основе результатов исследований Французской Центральной Лабораторией Мостов и Дорог в Париже (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris*) были разработаны «Технические правила дизайна и проектирования фундаментов гражданского строительства». В Выпуске 62 раздела V („Fascicule 62 Titre V”) данных правил, изложены требования к проектированию свай, – несколько пунктов посвящено осевым нагрузкам на шпунты и их проектиро-

ванию с использованием результатов испытаний (*in-situ*) грунта прессиометром Менара и проникающим зондом СРТ.

Из-за малой популярности изучения свойств грунта с использованием прессиометра Менара ниже представляется только метод, основанный на результатах проникающего зонда СРТ. В статье сохранены оригинальные обозначения из „Fascicule 62 Titre V”.

1. Определение сопротивления грунта под острием шпунтовой сваи – Q_{pu}

$$Q_{pu} = \rho_p \times A \times q_u, \quad (1)$$

где ρ_p – коэффициент уменьшения площади поперечного сечения (Таблица 1);

A – площадь поперечного сечения шпунта и грунта между боковыми гранями шпунта (Рисунок 1);

q_u – расчетное удельное сопротивление грунта под острием шпунтовой сваи.

Необходимо подчеркнуть, что во время погружения шпунта грунт между боковыми гранями (внутри «корыта») уплотняется. При этом образуется так называемая «грунтовая пробка», из-за чего Z образные шпунты необходимо погружать в виде сдвоенных панелей. Это указано на Рисунке 1.

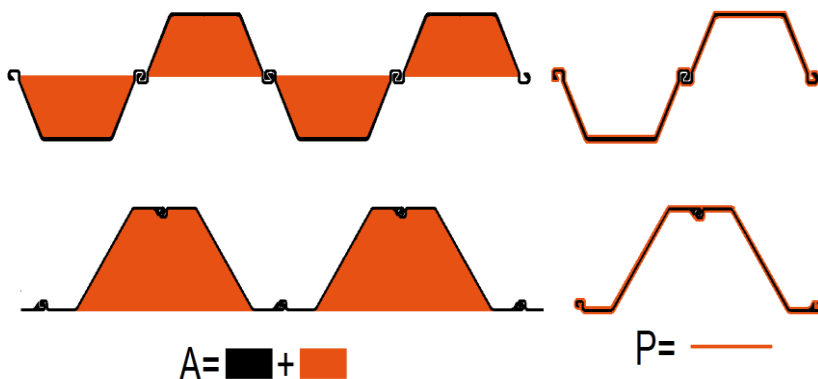


Рис. 1. Площадь поперечного сечения – A и периметр поперечного сечения – P

Коэффициент ρ_p

Связные грунты		Несвязные грунты	
ρ_p	ρ_s	ρ_p	ρ_s
0.50	1.00	0.30	0.50

Величина q_u определяется по формуле:

$$q_u = k_c \times q_{ce} \quad (2)$$

где k_c – коэффициент, который зависит от типа грунта;

q_{ce} – усредненное удельное сопротивление грунта зонду под наконечником (конусом), определяется по формуле:

$$q_{ce} = \frac{1}{b + 3a} \times \int_{D+3a}^{D-b} q_{cc}(z) \times dz \quad (3)$$

где b – наименьшее из значений «а» и «h»;

a – равно половине ширины основания если оно более 1,0м. и принимается равным 0.5м. если ширина фундамента не превышает 1,0 м.;

h – глубина погружения острия шпунта в несущий слой грунта, м.;

D – глубина забивки шпунта, м.;

q_{cc} – откорректированная величина удельного сопротивления грунта под наконечником (конусом) зонда, определенная следующим способом:

- рассчитываем среднюю величину удельного сопротивления грунта под наконечником (конусом) зонда q_{cm} в пределах глубины $b+3a$ (Рисунок 2);

- корректируем график, вырезая из него все величины, превышающие $1,3 q_{cm}$;

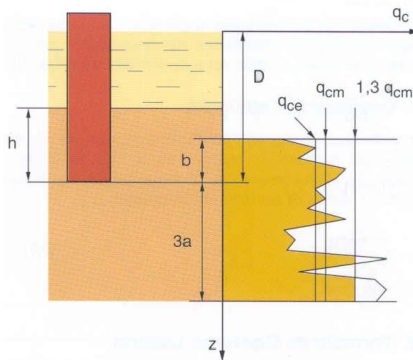


Рис. 2. Графическое представление способа определения средней величины удельного сопротивления грунта под наконечником (конусом) зонда

Таблица 2

Коэффициент k_c

Разновидность грунта	Класс	Состояние грунта	q_c [МПа]	k_c
Глина, суглинок	А	мягкопластичные	<3.0	0.55
	В	Тугопластичные	3.0-6.0	
	С	Твердые и полутвердые	>6.0	
Песок, гравий, галька	А	Рыхлые	<5.0	0.50
	В	Средней плотности	8.0-15.0	
	С	Плотные	>20.0	

2. Определение сопротивления грунта вдоль боковой поверхности шпунтовой сваи – Q_{su}

$$Q_{su} = \rho_s \times P \times \int_0^h q_s(z) \times dz \quad (4)$$

где ρ_s – коэффициент, уменьшающий площадь поперечного сечения (Таблица 1);

P – периметр поперечного сечения шпунта (Рисунок 1);

$q_s(z)$ – расчетное удельное сопротивление грунта по боковой поверхности на глубине, определяется по формуле:

$$q_s(z) = \min\left(\frac{q_c(z)}{\beta}; q_{s\max}\right) \quad (5)$$

где $q_c(z)$ – удельное сопротивление грунта под наконечником (конусом) зонда СРТ на глубине z (сопротивление погружению зонда СРТ на глубине z);

β – коррекционный параметр (Таблица 3);

$q_{s\max}$ – максимально допустимая величина удельного сопротивления грунта по боковой поверхности (Таблица 3).

Таблица 3

Величины β и $q_{s\max}$

Разновидность грунта	Класс	β	$q_{s\max}$ [кПа]
Глина, суглинок	А	-	15
	В	120	40
	С	150	80
Песок, гравий, галька	А	300	-
	В	300	-
	С	300	120

3. Проверка граничного состояния для определения прочности

$$Q_{\max, ELU} = \frac{Q_u}{\gamma} \geq F_{ELU} \quad (6)$$

где $Q_{\max, ELU}$ – граничная расчетная прочность шпунта по грунту;

γ – коэффициент надежности, для вдавленных свай равен 1,4;

F_{ELU} – сумма расчетных нагрузок;

Q_u – характерная граничная прочность шпунта по грунту, определяется по формуле:

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{su} \quad (7)$$

4. Проверка граничного состояния для определения годности для эксплуатации

$$Q_{\max, ELS} = \frac{Q_C}{\gamma} \geq F_{ELS} \quad (8)$$

Где $Q_{\max, ELS}$ – расчетная прочность ползучести шпунта по грунту;
 γ – коэффициент надежности, для вдавленных свай равен 1,4;
 F_{ELS} – сумма характерных нагрузок;
 Q_C – характерная прочность ползучести шпунта по грунту определена по формуле:

$$Q_C = 0.7 \cdot Q_{pu} + 0.7 \cdot Q_{su} = 0.7 \cdot Q_u \quad (9)$$

5. Комментарий.

Очень важным фактором, влияющим на вертикальную несущую способность шпунта, который не учитывается в „этом документе”, является технология погружения шпунта. Коэффициенты, применяемые в расчетах по методике „Fascicule 62 Titre V”, были определены для шпунтов, погружаемых дизель-молотами. Сваи погружённые вибромолотами обладают меньшей несущей способностью чем сваи погруженные пневматическими или дизель-молотами. С целью определения этой разницы, в 2002 году были проведены пробные статические нагрузки на шпунты, погружённые этими двумя способами. Наибольшая разница показаний достигала 50% в пользу шпунтовых стенок, погруженных пневматическим молотом.

В 2006 году в статье С. Борела, М. Бустаманте и Ф. Рошер-Лакостэ были опубликованы результаты этих испытаний и собраны исторические результаты из 7-и других испытаний шпунтов (трубных и железобетонных свай). Авторы предложили понижать сопротивление грунта под острием сваи и вдоль боковой поверхности шпунта, посчитанной по „Fascicule 62 Titre V”, соответственно на 50% и 30%. Решением, которое может повысить прочность вибропогруженных шпунтов, является добивка последних 2-3-х метров до заданной глубины с помощью пневматических или дизель-молотов.

В документе „Fascicule 62 Titre V” не указывается никаких рекомендаций по проведению пробных статических нагрузок. При проведении таких проб нельзя забывать, что проверяемые шпунты не должны быть соединены в замках с другими шпунтами. Это делается специально, с целью исключения влияния трения в замках. Поэтому рекомендуется погружать отдельные испытываемые шпунты в непосредственной близости от строительных конструкций. Второй возможностью является извлечение соседних шпунтов проверяемого шпунта на время испытания, и повторная их забивка после проведения пробных нагрузок, хотя такой метод ослабляет грунт вокруг шпунта.

Примеры проектов в Польше. Сравнение расчетов с пробными нагрузками

На территории Польши построено несколько проектов с использованием шпунта в качестве фундамента:

– Ж/Д виадук в г.Левине Бжеским – благодаря шпунту и готовым сборным элементам движение поездов было закрыто только на 48 часов (рис. 3);



Рис. 3. Ж/Д виадук, г.Левин Бжески

– Ж/Д виадук в г.Сважендзе на линии Варшава – Берлин – в этом проекте плита моста была надвинута на устои моста, выполненные из шпунта (рис. 4);

– автодорожный виадук в г.Варшаве на дороге S8 – виадук построен на двойном ряде шпунтов с обеих сторон, опорные стены также выполнены из шпунта;

– автодорожный виадук в г.Келцы на дороге S74 – над дорогой S74 построен круговой перекрёсток. При этом интегрированный виадук построен на двойном ряде шпунтов с обеих сторон, опорные стены также выполнены из шпунта (рис. 5);

– причалы пешеходного моста над входом в порт в г.Новой Соли (рис. 6).

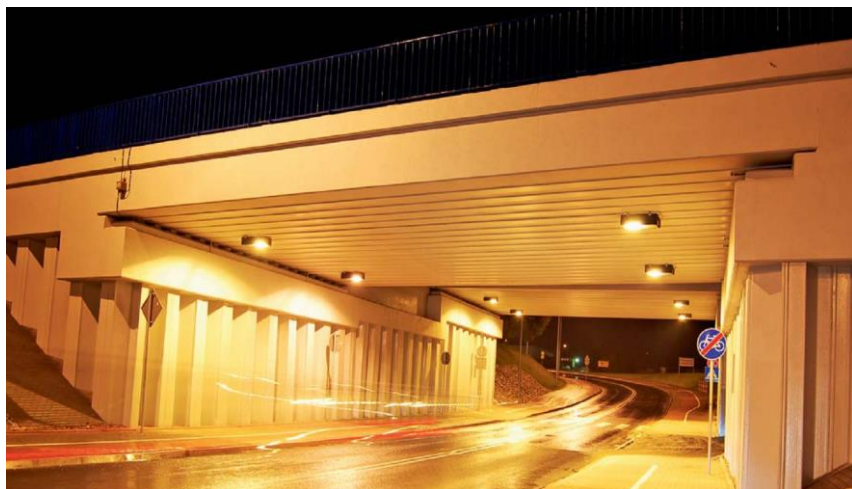


Рис. 4. Ж/Д виадук, г.Сважендз



Рис. 5. Автодорожный виадук, г.Келце



Рис. 6 – Причалы пешеходного моста, г.Нова Суть

Самым интересным проектом является виадук шириной 17,5м., построенный в г.Жешове на трассе №4 (рис. 7). Тендер на строительство данного объекта включал также и проектные работы. Наиболее оптимальное предложение сделала компания Skanska, которая воспользовалась идеей компании Aarsleff, чтобы построить интегрированный мост, основанием которого будет служить шпунт Ларсена. Технологию строительства этого объекта представляет Рисунок 8. **Мост был построен за 11 месяцев.**

Интегрированные мосты – это очень популярное в мире решение. Благодаря жёсткому соединению плиты моста со шпунтовой стеной повышается прочность всей конструкции и появляется возможность уменьшить толщину пролётного строения, исключить устройство опор скольжения и деформационных швов, уменьшается объём и стоимость строительных материалов, сокращаются сроки строительства.



Рис. 7. Автодорожный виадук, Жешов

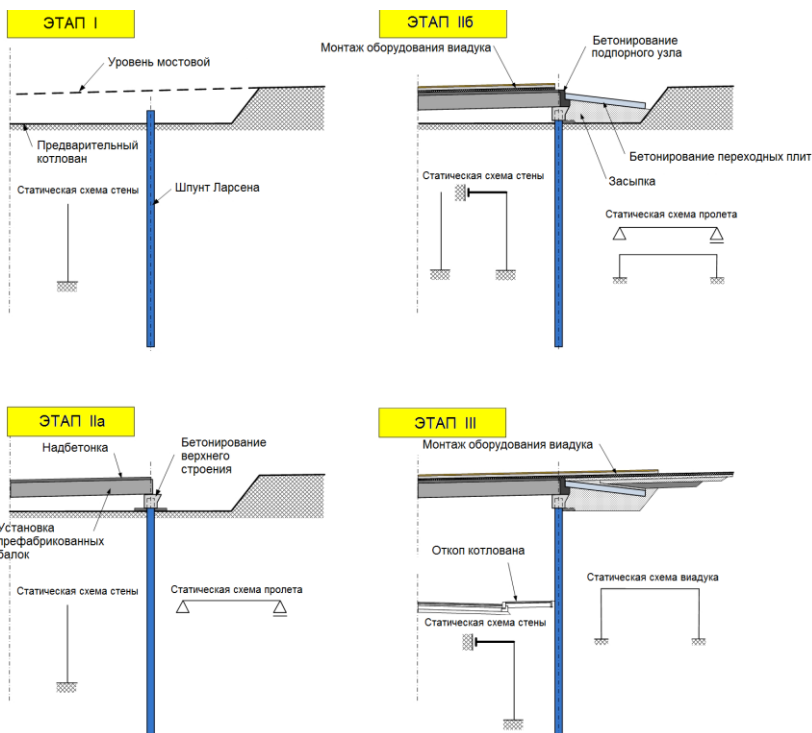


Рис. 8. Этапы автодорожного виадука, Жешов

За расчет вертикальной несущей способности шпунта, погружение и проведение пробных статических нагрузок отвечала компания Aarsleff. Расчеты были сделаны по „Fascicule 62 Titre V” используя результаты зондирования СРТ из места забивки шпунта. Грунтовые условия и диаграммы зондирования отображены на рис. 9. Прочность одиночного шпунта длиной 18.5 м определена на уровне $0.9 \cdot N_t = 430 \text{ кН}$ при нагрузках 320 кН.

Для проведения пробных нагрузок вблизи основной стены погрузили дополнительную одиночную шпунтину. После выемки грунта (Этап III на рис. 8), используя плиту виадука как противовес, было проведено пробное нагружение шпунтины (рис. 10). В результате оказалось, что прочность шпунта ниже расчётной, но выше требуемых нагрузок. Скорее всего причиной такого результата ис-

питаний было использование подмыва водой при погружении первых нескольких метров шпунта.

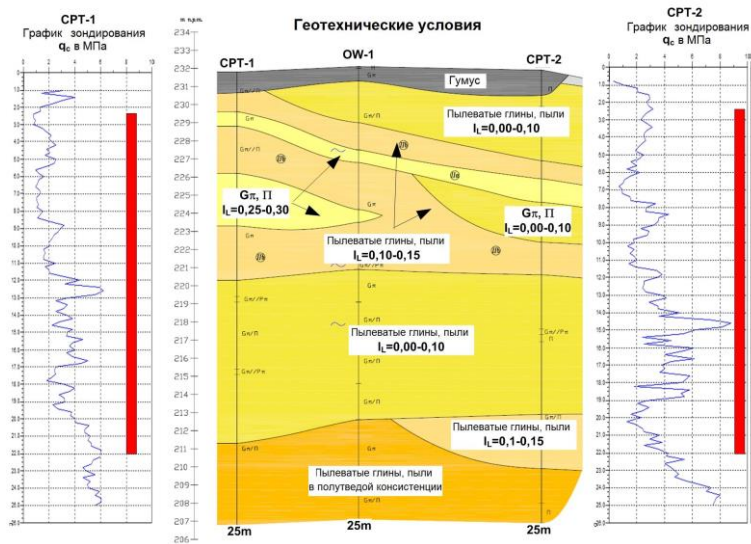


Рис. 9. Грунтовые условия и результаты зондирования СРТ

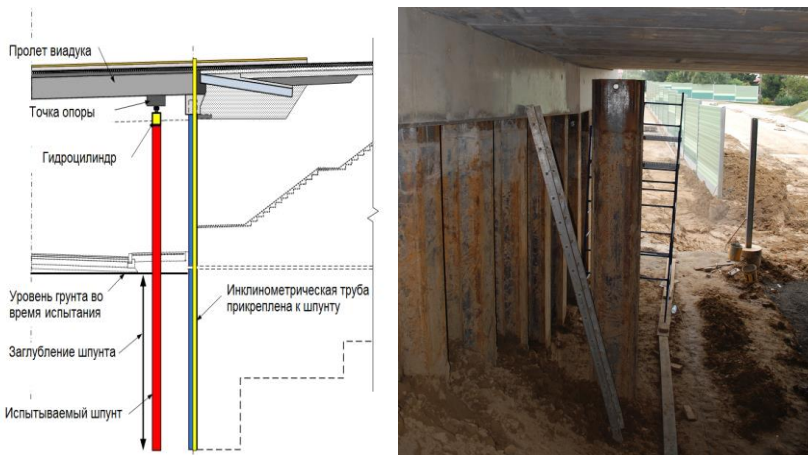


Рис. 10. Схема проведения пробных нагрузок.

Успехи этого и других проектов позволяют надеяться, что использование металлических шпунтов в виде основ строительных конструкции станет более популярным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borel S., Bustamante M., Rocher-Lacoste F. The comparative bearing capacity of vibratory and impact driven piles / TRANSVIB 2006. Gonin, Holeyman et Rocher-Lacoste (ed.) 2006, Editions du LCPC, Paris
2. Bustamante M., Gianceselli L. Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load / Proceedings of the 4th International Conference on Piling and Deep Foundations -Stresa (Italy), 7 – 12 April 1991
3. Maksim P., Tomaka W., Sobala D. Grodzice stalowe w podporach zintegrowanego wiaduktu drogowego / Inżynier budownictwa – 02.2011
4. Kwarciński P. Nośność pionowa grodzic / Geoinżynieria: drogi, mosty, tunele – 2008. – Т.3 – С. 38-40
5. Regles techniques de conception des fondations des ouvrages de genie civil – Fascicule 62 titre V – Paris 1993

УДК 625.154+624.131:138

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.

Клебанюк Д.Н., Пойта П.С., д-р техн. наук, профессор,
Шведовский П.В., канд. техн. наук, профессор
(Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Беларусь)

Ограниченность свободных территорий в городских условиях приводит к необходимости освоения весьма сложных в инженерно-геологическом отношении строительных площадок.

Практикой отечественного и зарубежного опыта [1-4], доказано, что наиболее рациональным способом подготовки таких площадок является уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками.