



ДУБРОВСКИЙ МИХАИЛ ПАВЛОВИЧ

Доктор технических наук, профессор, академик Транспортной академии Украины и Академии строительства Украины, заведующий кафедрой "Морские и речные порты, водные пути и их техническая эксплуатация" Одесского национального морского университета.

Основные направления научно-производственной деятельности: исследования взаимодействия инженерных сооружений с грунтовой средой (подпорные стенки, свайные конструкции); совершенствование конструкторско-технологических решений и методов проектирования портовых гидротехнических сооружений (причалы, оградительные и берегозащитные сооружения), а также морских сооружений на континентальном шельфе; развитие береговой инфраструктуры водного транспорта; образовательная деятельность в указанных выше направлениях.

Автор более 150 научных работ.

E-mail: doubr@tm.odessa.ua



ПОЙЗНЕР МИХАИЛ БОРИСОВИЧ

Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией исследования конструкций гидротехнических сооружений института "ЧерноморНИИпроект" (Одесса).

Основные направления научно-производственной деятельности: техническая эксплуатация и сейсмостойкость портовых сооружений.



МЕЩЕРЯКОВ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Главный инженер Инженерного центра "Трансзвук" (Одесса), член Украинского общества по механике грунтов, фундаментостроению и геотехнике.

Основные направления научно-производственной деятельности: исследования в области погружения свай вдавливанием.

УДК 624.137

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА СВАЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ОСНОВАНИИ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ

Ключевые слова: свайные сооружения, мониторинг, грунтовые откосы, основания

В практике берегового и портового строительства применяют разнообразные свайные конструкции (причалы, берегоукрепления и т.п.), размещенные в основании оползневых склонов. Во многих случаях для восприятия оползневого давления применяют специальные противооползневые сооружения. В докладе рассматриваются особенности исследования комплексных систем «свайное сооружение – противооползневое устройство – грунтовой склон», основанного на многолетних специальных инструментальных геодетических изысканиях. В качестве модели для исследования рассмотрена комплексная система, функционирующая в морском порту Южный (Украина). Представлен метод анализа свайных конструкций, учитывающий степень физического износа их основных конструктивных элементов. С целью обеспечения устойчивости оползневых склонов при строительстве разработана модульная свайная система для статического задавливания свай.

Данные мониторинга свай, подтвержденные испытаниями статическими нагрузками, позволяют прогнозировать несущую способность свай, обеспечивая требуемое качество свайного основания и возможность интерактивного проектирования.

In the practice of coastal and harbour construction there are a lot of piled structures (quays, shore protections, etc.) located at the base of landslide slope. In many cases to withstand landslide pressure, special landslide protection structures are used. Peculiarities of the study of complex systems "piled structure – landslide protection – soil slope", based on long-years special instrumental geodetic investigations, are considered in the report. As a research model complex system functioning at the sea Port of Yuzhny (Ukraine) is studied. Method to analyze piled structures regarding degree of physical deterioration of their main bearing elements is presented. In order to provide

stability of landslide slopes during construction the modular piling system was developed for piles static pressing-in. Pile monitoring data confirmed by Static Load Testing allows prediction of static bearing capacity of the piles, providing the quality assurance of the piled foundation and provides the procedure of interactive design.

1. Введение

Для обеспечения устойчивости береговых и портовых сооружений, расположенных в основании оползневого склона применяют специальные противооползневые сооружения. Целью рассматриваемых исследований являлось изучение некоторых существенных особенностей таких сложных систем, как «свайное сооружение – противооползневая защита – грунтовый откос». При рассмотрении этих особенностей были применены три подхода:

- полевые инструментальные исследования;
- теоретические исследования для отражения реального технического состояния и степени физического износа конструктивных элементов;
- технологические усовершенствования для обеспечения устойчивости откосов экологически позитивными методами.

2. Полевые исследования сооружений в основании грунтовых склонов

Причалы 1 и 2 в порту Южный расположены в основании грунтовых склонов. Они возведены в виде свайных сооружений на железобетонных призматических сваях. Между причалами и склонами вдоль береговой линии размещены специальные противооползневые сооружения (ПОС) мостового типа на железобетонных сваях сечением 450x450 мм и длиной 21м.

Для обеспечения мониторинга деформаций системы «грунтовые склоны - ПОС - причалы» была разработана и установлена специальная наблюдательная геодезическая сеть (рис. 1). Некоторые основные результаты наблюдений, проведенных в период 1990 – 2007 годов, представлены на диаграммах (рис. 2).

Как следует из этих диаграмм, результирующие горизонтальных перемещений (в направлении к морю) грунтовых

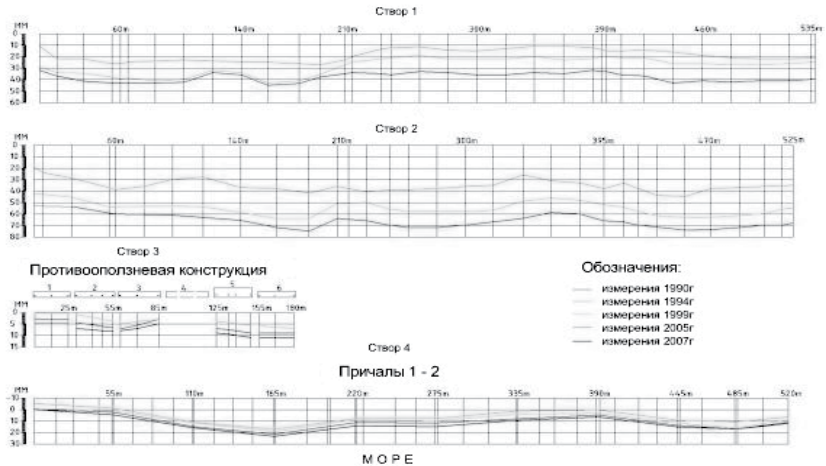


Рис. 2. Графики горизонтальных смещений системы «склоны-противооползневое устройство-причалы»

склонов составляют: для верхней террасы – до 45 мм, для нижней террасы – до 75 мм. Подвижки ПОС достигают 9 мм в горизонтальном направлении в сторону моря и 5 мм в вертикальном направлении (т.е. осадки). Смещения причалов составляют до 23 мм в горизонтальном направлении в сторону моря и до 10 мм в вертикальном направлении (т.е. осадки).

Таким образом, можно заключить, что примененные ПОС свайной конструкции обеспечивают замедление процесса деформирования склонов (достаточно сравнить подвижку склонов, достигающее 75 мм, и смещение противооползневое сооружения величиной 9 мм). Таким образом, полевые исследования и мониторинг свайных сооружений, расположенных в основании грунтовых склонов, обеспечивают объективную оценку примененных конструкторско-технологических решений; они позволяют вовремя определить деформированное состояние системы «грунтовые склоны - ПОС - причалы» и предпринять необходимые меры для прекращения (или локализации) развития деформационного процесса.

3. Учет физического износа при проектировании сооружений на свайном основании

Как показывает опыт, основными характерными повреждениями, которым подвержены железобетонные призматические свайные опоры набережных-эстакад, являются нарушения защитного слоя бетона, а также более глубокие (иногда распространяющиеся на все сечение сваи) растрескивание и вымыв бетона. Следует также отметить часто встречающиеся оголение и коррозию арматуры как в зоне переменного горизонта воды, так и в местах заделки голов свай в верхнее строение причала (характерные фотографии упомянутых повреждений для условий портов Черного и Азовского морей приведены на рис. 3 и 4).

Как представляется, важной и насущной задачей является разработка обоснованной и достоверной инженерной методики учета реальной несущей способности набережных-эстакад, отра-

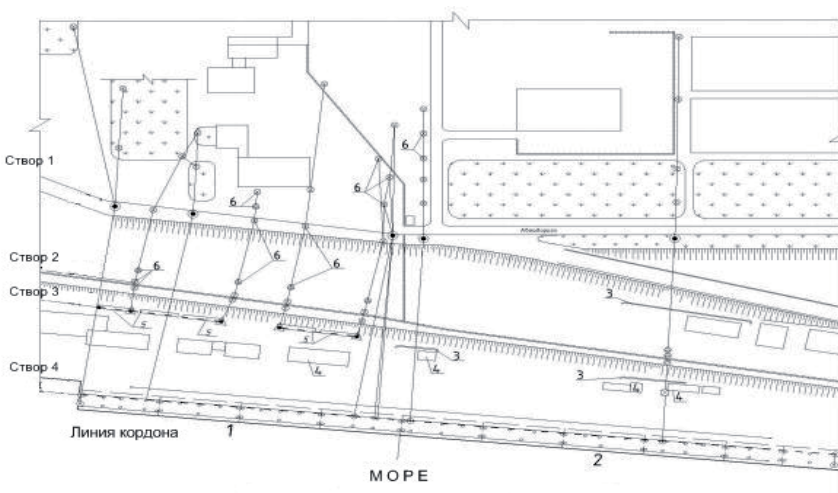


Рис. 1 Схема геодезической наблюдательной сети: 1-причал 1; 2-причал 2; 3-подпорная стенка; 4-склад; 5-противооползневое устройство; 6-наблюдательные и опорные марки

жающей фактическое физическое состояние (т.е. степень физического износа) свайных опор сооружения. Ниже приводятся основные положения такой методики, которая может быть применена в практике технической эксплуатации портовых причальных сооружений для более обоснованного режима такой эксплуатации.

Методика основана на подходе, учитывающем перераспределение нагрузок на основные несущие элементы сооружения и, соответственно, усилий в конструкции набережной-эстакады при изменении первоначальных (паспортных) характеристик свай вследствие их наступившего физического износа.

Введем следующие обозначения:

n - количество поперечных свайных рядов в пределах одной секции причала;

k - количество свай в одном поперечном свайном ряду;

N - суммарная поперечная (нормальная к линии кордона причала) нагрузка на секцию;

J - паспортная жесткость (момент инерции, площадь поперечного сечения) одной сваи (без учета ее физического износа);

J_i - реальная жесткость (момент инерции, площадь поперечного сечения) i -ого свайного ряда (с учетом его физического износа);

K_N^i - коэффициент перераспределения жесткости i -ого поперечного свайного ряда с учетом его физического износа;

R_N^i - коэффициент перераспределения нагрузки на i -ый поперечный свайный ряд с учетом его физического износа.

Тогда нагрузка на i -ый поперечный свайный ряд рассматриваемой секции причала без учета физического износа:

$$N_i^0 = N/n; \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (1)$$

а нагрузка на i -ый поперечный свайный ряд рассматриваемой секции причала с учетом физического износа:

$$N_i = N \times K_N^i; \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (2)$$

при этом

$$K_N^i = J_i / [\sum J_i]; \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (3)$$

где

$$J_i = (S_i^1 + S_i^2 + \dots + S_i^k)J \quad (4)$$

S_i^k - степень физического износа поперечного сечения k -ой сваи в i -ом ряду рассматриваемой секции причала (т.е. процент площади поперечного сечения, остающийся в работе); $0 \leq S_i^k \leq 1$.

Таким образом, коэффициент перераспределения нагрузки на i -ый поперечный свайный ряд с учетом его физического износа может быть определен как

$$R_N^i = N_i / N_i^0. \quad (5)$$

При расчете, уточняющем распределение усилий в основных элементах набережной-эстакады (в сваях и в верхнем строении) с учетом физического износа свайных опор, нагрузку на каждый поперечный свайный ряд следует откорректировать (перераспределить) в соответствии с формулой (2), а жесткости свай при этом задавать с учетом степени физического износа, определяемого по результатам визуального и инструментального обследований.

Применение разработанных подходов к свайным конструкциям причалов в основании грунтовых склонов украинской береговой зоны свидетельствует о следующем:

- по сравнению с первоначальными проектными усилиями в основных несущих элементах сооружения учет реальной степени физического износа свайных опор привел к заметному перераспределению усилий;
- в свайных рядах с минимальным физическим износом изгибающие моменты в сечениях с наибольшими значениями усилий возросли на 6-27% (наибольшее возрастание усилия приходится на кордонный ряд свай); усилия в элементах верхнего строения возросли при этом на 7%;
- в свайных рядах с максимальным физическим износом изгибающие моменты в сечениях с наибольшими значениями усилий сократились на 2-52% (самые значительные уменьшения усилий приходится на ряды с наиболее изношенными сваями);
- за счет перераспределения усилий между свайными опорами разница в изгибающих моментах в сечениях с наибольшими значениями усилий для поперечных рядов с минимальным и максимальным физическим износом составляет 1,2-2,2 раза (наибольшая разница зафиксирована, естественно, для наиболее изношенных свайных рядов); усилия в элементах верхнего строения отличаются при этом в 1,3 раза.

4. Модульная сваедавливающая система

Модульная координационная сваедавливающая систе-



Рис. 3.4 Железобетонные призматические сваи набережной-эстакады, претерпевшие значительный физический износ

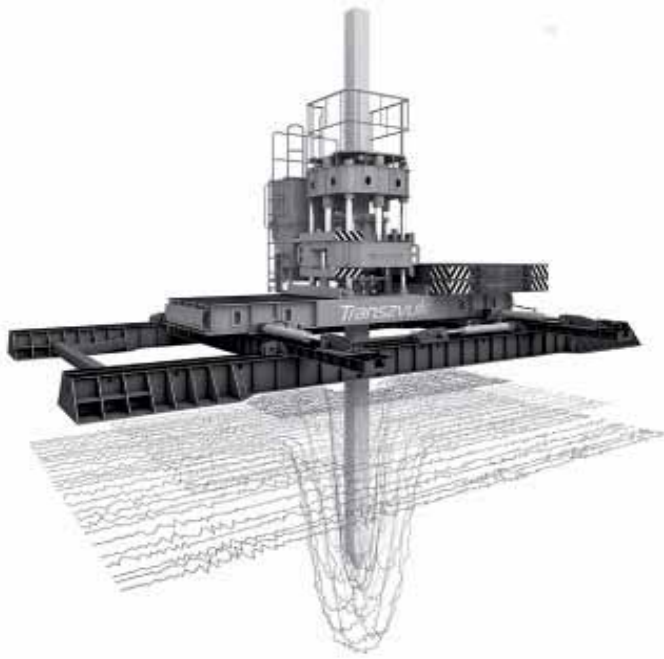


Рис. 5 Модульна координаційна система МКС

ма (рис. 5) - концептуальне обладнання для вдавлювання будівельних елементів (свай, труби, шпунт), виключаюче динамічне і вібраційне вплив на основу, сусідні будівлі і конструкції екологічно безпечне, безшумне і компактне, розвиваюче високе зусилля вдавлювання (табл. 1,2). Система застосовується при будівництві свайних фундаментів цивільних і промислових будівель, споруд, а також для стабілізації схилів і зміцнення фундаментів історичних будівель. Технологія поточного вдавлювання будівельних елементів з використанням сваєдавлюючої системи забезпечує високу продуктивність і оперативний контроль несучої здатності кожної погрузуваної сваї.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики системи

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Автоматичне переміщення | двухкоординатне |
| Управління | дистанційне |
| Швидкість переміщення | 2,1 м/хв |
| Продуктивність | 40 свай в зміну (4 в год) |
| Точність позиціонування | 10 мм |

Система містить в своїй конструкції сваєдавлюючу або шпунтовочну машину і координаційний модуль для поточних робіт.

В роботі сваєдавлюючої машини реалізований принцип бокового клинового захоплення будівельного елемента і його поетапного занурення в автоматичному режимі. Завдяки конструкції бокового захоплення довжина занурюваного будівельного елемента не обмежена. Вдавлювання свай на проектну позначку здійснюється без необхідності підготовки котлована, завдяки застосуванню інвентарної металевий сваї, (L=10м) що дозволяє мінімізувати земляні роботи, а також роботи пов'язані з підготовкою і збиранням будівельної площадки. Сваєдавлюючі машини екологічно безпечні, працюють безшумно, виключа-

ють динамічне і вібраційне вплив на ґрунт основи. Роботи по вдавлюванню свай і шпунта можуть виконуватися точним або поточним методом, з використанням модульної системи переміщення.

Таблиця 2. Технічні характеристики сваєдавлюючої машини СО-500

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Ном. зусилля вдавлювання | 2 000 кН (200 тс) |
| Макс. зусилля вдавлювання | 2 300 кН (230 тс) |
| Швидкість вдавлювання | 1,5 - 3,5 м/хв |
| Макс. поперечне перерізка сваї | 500 мм |
| Вага установки | 14 000 кг |
| Габаритні розміри | 6 м × 1,6 м × 3,05 м |

5. Моніторинг і випробування свай

Сваєдавлююча машина може бути використана як стенд для проведення контрольних випробувань свай. [1] (рис. 6) Машина здатна ступінчасто, за заданою програмою, передавати зусилля на випробувану сваю до 2000 кН. Переміщення сваї під навантаженням фіксується відносно нерухокої реперної системи. За результатами контрольних випробувань визначається допустима навантаження на фундамент.

В процесі виконання робіт ведеться неперервний моніторинг зусилля вдавлювання кожної сваї в реальному часі і просторових координатах. Дані моніторингу, підтвержені результатами контрольних випробувань дозволяють гарантувати несучу здатність кожної сваї, а також якість свайного фундаменту в цілому, що дозволяє здійснювати інтерактивну корекцію проекту.

6. Координаційна система ковзання

Концепція модульної координаційної системи ковзання [2, 3] забезпечує високоточне двохкоординатне переміщення сваєдавлюючої машини по потенційно небезпечному ґрунтовому масиву без необхід-



Рис. 6 Контрольні випробування свай

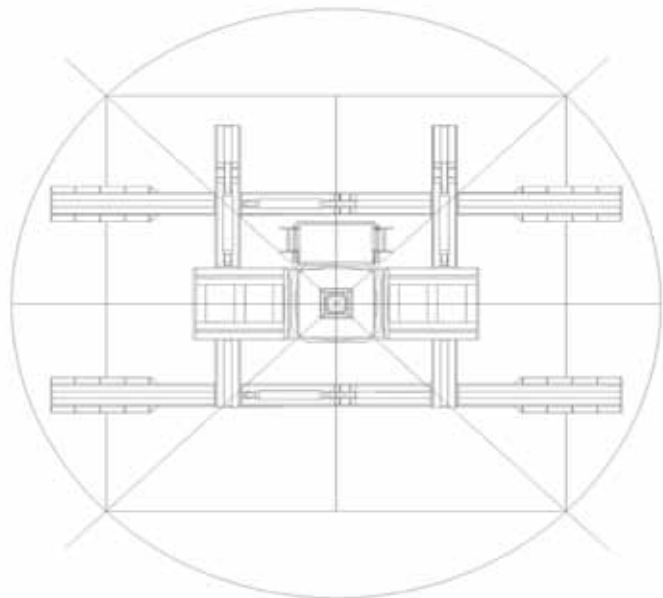


Рис. 7 Координаційна система скользяння

мости переанкеровки. Каждый модуль представляет собой рамную конструкцию, (рис. 7) образующую внутреннее пространство, координатные оси которого совпадают с осями свайного ряда и привязаны к основным горизонтальным координатным осям возводимого сооружения, либо к изолиниям укрепляемого склона. Модули системы выполнены в соответствии с единой модульной системой, применяемой в проектировании и строительстве гражданских зданий. [4]. Модули могут соединяться между собой в продольном, либо в поперечном направлении, образуя непрерывную координатную сетку (рис. 8) на плоскости свайного поля.

Высокая производительность достигается благодаря равномерной и непрерывной работе оборудования и максимальному совмещению технологических процессов во времени и пространстве, а также экономии материальных и энергетических затрат на производство работ связанных с вспомогательными операциями и времени затрачиваемого на переанкеровку сваевдавливательной машины. Перемещение по свайному полю по координатным осям исключает отклонение свай в плане и открывает возможность применения автоматической системы позиционирования сваевдавливательной машины.

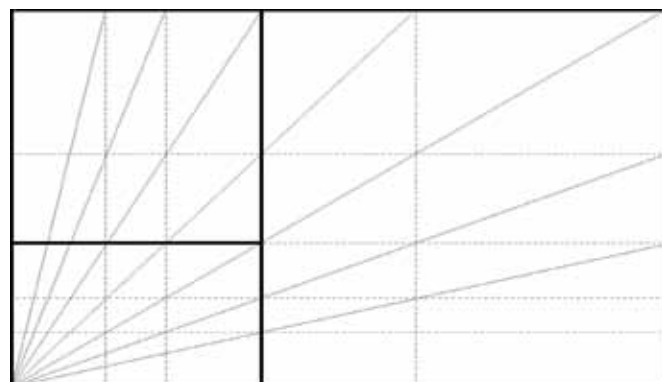


Рис. 8 Координаційна сетка на основі «золотого» прямокутника

Привязка модульной сетки к основным координатным осям сооружения, а также контроль вертикальности сваи осуществляется с применением лазерной системы слежения.

Основные технологические преимущества системы:

- высокая производительность, точность позиционирования, интерактивный контроль качества работ;
- безопасность для соседних зданий – отсутствие вибродинамического воздействия на основание;
- качество – высокая точность позиционирования (± 10 мм) мониторинг и оперативный контроль несущей способности каждой погружаемой сваи;
- снижение объема и стоимости земляных работ – возможность погружения свай на проектную отметку без необходимости устройства котлована;
- высокий темп строительства - независимость от погодных условий (осадков) и близкого расположения уровня грунтовых вод;
- бесшумность, отсутствие выбросов, экологическая безопасность;
- эстетика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на винахід, №77005, Україна, «Машина для вдавлення, випробування та витягування паль» Мещеряков Н. Г., Вакулин А. А., Приоритет 25.03.2004 г. Бюл. изобр. № 10 за 16.10.2006 г.
2. Патент на винахід, №13317, Україна, «Система для вдавлення паль», Мещеряков Н. Г., Вакулин А. А., Приоритет 28.10.2005 г. Бюл. изобр. № 3 за 15.03.2006 г.
3. Патент на изобретение, №59646, Российская Федерация, «Система для вдавливания свай» Мещеряков Н. Г., Вакулин А. А., Приоритет 30.01.2006 г. Бюл. изобр. № 36 за 27.12.2006 г.
4. ГОСТ 28984-91 Модульная координация размеров в строительстве.