

УДК 644.042.1

КЛАССИФИКАЦИЯ УЗЛОВ СОЕДИНЕНИЯ ОПОРНОГО БЛОКА ОСНОВАНИЯ С ТРУБЧАТЫМИ СВАЯМИ

CLASSIFICATION OF KNOTS OF CONNECTION OF THE BASIC BLOCK OF THE BASIS WITH TUBULAR PILES

А.В.Митрофанов (Национальная академия природоохранного и курортного строительства, аспирант).

Аннотация: Статья посвящена вопросу эволюции узлов закрепления опорных блоков морских платформ. Рассмотрены конструктивные решения, включая металлические шпильки в уровне палубных конструкций, бетонированию пространств на всю высоту опорного блока и «юбочное» закрепление свай.

Ключевые слова: узел, опорный блок, свая.

Annotation: The article focuses on the evolution of securing the support units of blocks offshore platforms. We consider constructive solutions, including metal studs in the level of the deck construction, concreting of the spaces on the entire height of the jacket and the "skirt" consolidate piles. Keywords: site, reference block piles.

Keywords: node, support block, piles.

Закрепление опорного блока к морскому дну состоит из двух операций: погружение свай в морское дно до проектной отметки и соединение свай с элементами блока. Погружение свай зависит от геологических условий в месте установки основания и определяется расчетом. Соединение свай с элементами опорного блока зависит от технической обеспеченности изготовителя и может иметь различное конструктивное исполнение. Причем, это исполнение определяет как конструктивную форму основания, так и влияет на его экономичность.

По способу исполнения соединительные узлы можно квалифицировать на: сварные, механические, с бетонным соединяющим элементом и пластическим деформированием металла свай.

Соединения при помощи сварки выполняют в уровне палубы. Это наиболее простой тип соединительных узлов, не требующий специального оборудования и новых навыков при производстве работ. Наибольшее распространение получили сварные соединения двух типов: с передаточным звеном в виде пальца и с помощью соединительных вкладышей.

Первое узловое соединение представляет собой систему металлических пальцев, установленных перпендикулярно осям сваи и опорной стойки и соединенных с последней через приваренные накладки.

Расчет соединения выполняется на полную продольную нагрузку, передаваемую от стойки к свае, причем, прочность каждого соединительного элемента определяется отдельно: металла накладки прочностью на смятие, металла пальца прочностью на изгиб $/16/$ сварного соединения прочностью на срез.

Другим соединением на сварке является узел, выполненный с помощью соединительных вкладышей, устанавливаемых в межтрубном пространстве стойки и сваи. Для его выполнения верхний торец опорной стойки предварительно обрабатывают по фигурному шаблону, имеющему форму синусоиды. После забивки сваи в межтрубное пространство вставляют соединительные вкладыши, совмещая их оси с осями впадин синусоидального выреза. Далее выполняют обварку видимой границы соединения между вкладышем и свайей, вкладышем и опорной стойкой. Расчет соединения ведется на максимальные нагрузки, передаваемые на сваи, и включает определение площади прикрепляющих швов.

Главным недостатком сварных соединений является неэффективная схема закрепления опорного блока, вызывающая повышенный расход металла из-за необходимости вывода сваи на уровень палубы.

Сварные соединения и в настоящее время широко используются в отечественной практике для закрепления МССП. Первый тип при закреплении оснований небольшой глубины до 35 м./7/, а второй для предварительного закрепления глубоководного основания или при комбинированном его закреплении.

Механические соединения предназначены для установки в придонной части основания. По способу замыкания их можно подразделить на узлы с байонетным элементом, рычагами и подпружиненными защелками.

Бабаевым Н.Х., Кулиевым И.П. и др. предложен механический соединительный узел с байонетным элементом на уровне дна, который соединяет нижнюю часть бурозаливной сваи с её верхней частью, выходящий на уровень палубы. Узел использован при сезонном закреплении разведочных оснований «Азов-1», «Азов-У» для глубин до 12 м и показал хорошие результаты. Применение его на больших глубинах не практиковалось из-за низкой прочности и необходимости применения бурозаливных свай.

К механическим узлам с рычажными соединяющими элементами можно отнести разработанное Сотрудниками Киевского инженерно-строительного института Жербиным М.М., Ниловым А.А., Попроцким П.И. и др. устройство для крепления блока морской конструкции, примененное в проектных разработках института ВНИПИшельф /10/. Особенностью устройства является узел соединения опорной стойки со сваями при помощи шарнирно-ползунковых рычагов, расположенных ниже водной поверхности. Рассмотренное устройство уменьшает расход металла и снижает продолжительность работ в море.

К недостаткам следует отнести низкую несущую способность сваи по грунту и сложность выполнения работ на диафрагме.

В качестве примера соединения с металлической подпружиненной защелкой можно привести разработанное Берникером Я.С., Рыжаковым Н.Н., Ажермачевым Г.А. и др. устройство для фиксации опорного блока морского основания юбочными сваями / 9 /. Здесь свая оборудована фланцем и упорами, раскрывающимися под действием пружин в момент опускания фланца на торец направляющей.

Устройство по фиксации морского основания относительно просто в изготовлении и имеет небольшую массу. Недостатки: малая несущая способность, необходимость высокой точности забивки сваи, наличие зазора между фланцем сваи и направляющей.

За рубежом также ведутся большие исследования по разработке и созданию новых узловых соединений механического типа. Предлагаются разнообразные соединения с подпружиненными защелками / 13,14/ или клиновидными вставками./ 6,12 / . В большинстве, это технически сложные устройства, пока не применяемые на практике.

Несмотря на большое разнообразие предложенных вариантов механических узлов соединения, пока сколько-нибудь значительного

распространения в практике они не получили. Число оснований с чисто механическим соединением не превышает десятых долей процента от общего количества МССП. Главными сдерживающими факторами их практического использования являются: требуемая высокая точность забивки свай, сложность изготовления некоторых узлов и отсутствие длительных исследований по определению их прочности и работоспособности.

Долговечное, высокопрочное соединение между стойкой и сваей можно получить, используя пластическую деформацию металла сваи. В этом случае стойку выполняют толстостенной с поперечными пазами на внутренней поверхности. После погружения сваи, в её полости, на уровне расположения поперечных пазов стойки, повторяя её внутренний профиль. Последний способ использован /5 / при выполнении исследований прочности соединения “Hydra Lok”. Испытания выполнялись на трубах $\frac{1}{4}$ натуральных размеров при экспериментальном закреплении морского основания.

Соединение относительно тонкостенных труб выполняют совместным деформированием сваи и стойки с помощью гидравлических горизонтально расположенных пуансонов / 11 /.

Рассмотренный тип соединения позволяет создать высокопрочные соединительные узлы, обладающие малой металлоемкостью и повышенной эксплуатационной надежностью. Однако оборудование для их изготовления пока несовершенно и имеет высокую стоимость.

Наиболее широкое распространение при закреплении МССП получили узлы соединения, выполняемые с помощью бетонного соединительного элемента, расположенного в межтрубном пространстве.

Самым простым из данного типа соединения являются гладкоствольные узлы. Гладкоствольный узел включает опорную стойку или направляющую, через которую забивается трубчатая свая с последующим заполнением межтрубного пространства мелкозернистым бетоном. Для удержания жидкого бетона в межтрубном пространстве применяются различные пакерные устройства / 3,4/.

Пакерное устройство рассчитывается на нагрузку от веса жидкого бетона в межтрубном пространстве. После схватывания бетона нагрузка на пакерный узел падает, и в большинстве случаев он не включается в работу при передаче нагрузки на сваю или стоку.

Следовательно, в дальнейшем будем рассматривать работу всех узлов данного типа без учета влияния пакерного устройства на несущую способность узла.

Расчет гладкоствольных узлов производится на определение предельной величины сдвигающей силы между затвердевшим бетоном и внутренней поверхностью стойки, с одной стороны, и затвердевшим бетоном и внешней поверхностью сваи, с другой стороны. Поэтому на прочность соединения в значительной степени влияют как прочностные и деформативные характеристики мелкозернистого бетона, находящегося в межтрубном пространстве, так и качество поверхности металла, контактирующего с бетоном.

Мелкозернистый бетон расположен в морской воде, которая для него является агрессивной средой /2/. Ему также свойственен процесс усадки, вызывающий частичное или полное отслоение бетона от поверхности труб. Что касается металлических поверхностей, то на них имеются участки, покрытые окалиной и продуктами коррозии, снижающие сцепление между бетоном и металлом. Возможны случаи попадания бурового раствора, солянки и других нефтепродуктов на внешнюю поверхность сваи, создающие пленку из грязи или масла. Кроме того после установки опорного блока в море работы по забивке свай и соединению их с опорным блоком могут продолжаться в течение нескольких месяцев. За это время происходит обрастание металлических поверхностей морскими водорослями и микроорганизмами, в том числе, и на внутренней поверхности опорной стойки. После цементации межтрубного пространства водоросли погибают и уменьшаются в размерах. Это ведет к образованию зазора между металлом труб и бетоном и может способствовать отказу узла. Большое влияние на прочность соединения оказывает перемещение опорного блока под действием волн и течения, во время твердения бетона. В /17/ приведены данные обследования узлов соединения МССП после 12-ти летней эксплуатации. Имеются узлы со слабой адгезией металла к бетону, а на некоторых участках соединения бетон полностью отсутствует.

Учитывая вышеизложенное, видно, что наличие большого количества объективных факторов может существенно влиять на прочность соединительного узла. Поэтому длина гладкоствольных соединений принимается весьма приближенно, часто по аналогии с существующими решениями, многие из которых также назначались умозрительно.

Несмотря на недостатки, гладкоствольные соединения вследствие относительной простоты изготовления, улучшения конструктивной формы основания, некоторого снижения металлоемкости получили наибольшее распространение при закреплении оснований, как через опорные стойки, так и через направляющие.

В настоящее время во многих странах с развитой морской нефтедобычей ведутся поиски по совершенствованию таких соединений с целью повышения надежности работы и снижения его длины.

Одним из способов увеличения прочности является повышение шероховатости металлических поверхностей контактирующих с бетоном. Для этого применялись разные способы: поверхности подвергались искусственному корродированию с очисткой продуктов коррозии ; напылению песка по слою эпоксидной смолы /18/; созданию шероховатости с помощью электросварочной дуги . В последнем случае иногда применялась наплавка валика на поверхности сваи и стойки.

Другим решением улучшения данного типа соединения является узел, разработанный Ханиным Р.Е., Кисиным Б.Ф. и др. /15 /. Он включает опорные стойки, имеющие местное утолщение, образуемое двумя коническими и одной цилиндрической вставки, и сваю с заглушенным верхним торцом, погружаемую ниже верхней вставки.

В этом решении нагрузка от сваи на опорную стойку передается не только за счет сцепления между бетоном и поверхностью сваи, но и за счет сжатия бетона, расположенного между плитой оголовка сваи и верхним коническим утолщением опорной стойки.

Рассматриваемое решение ново. Оно позволяет за счет прочности бетона выше оголовка сваи выполнить передаточное звено с гарантированной несущей способностью на сжатие.

Недостатками являются: выполнение опорных стоек переменного сечения; необходимость изменять узел при работе его на растяжение; сложность применения таких узлов для юбочных свай.

Лехно А.М., Булавинцевым Ю.Е., Ажермачевым Г.А. разработан гладкоствольный узел соединения. Гладкоствольный узел усилен скобами, продольно расположенными в межтрубном пространстве. Авторы разработки считают, что при действии

сжимающих нагрузок на стойку будет возникать сжатие и в прикрепленных к ней скобах, а сопутствующий этому эффект распора сильнее прижмет бетон к поверхностям металлических труб / 1/. По рассмотренному решению отсутствуют какие-либо данные, подтверждающие эффективность влияния эффекта распора на увеличение несущей способности узла. Однако размещение металлических скоб в бетоне, несомненно, увеличивает несущую способность соединения, так как увеличивается площадь контакта бетона с элементами стойки и сваи.

К недостаткам соединения следует отнести: отсутствие данных по определению его несущей способности, сложность выполнения пакерного устройства и цементации насухо.

Классификационный анализ показывает:

1. Существует достаточно большое количество разнообразных узлов соединения элементов опорного блока со сваями.
2. Наибольшее распространение в практике получили узлы с бетонным соединяющим элементом.
3. Применяемые в настоящее время узлы этого типа не совершенны, требуют конструктивной доработки и исследований особенностей их работы.

В связи с изложенным, в дальнейшем рассматриваются узлы с бетонным соединяющим элементом, методы исследования их несущей способности, методика конструирования и расчета.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.с. 1126664 СССР, Е 02 В 17/00 опора для морских платформ // Лехно А.М., Булавинцев Ю.Е. и др. (СССР) // Открытия. Изобретения. - 1984. - №44. - С89.
2. Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде. - М.; Стройиздат, 1976. - 127 с.
3. Заявка 1497469 Великобритания Е02 В 17/00 Уплотнительный стык и устройство для управления потоком жидкости // Изобретения в СССР и за рубежом. - 1978. - №6. - С.29.
4. Заявка 1497470 Великобритания Е 02 В 17/00 Способ заполнения подводных конструкций раствором и устройство для его осуществления. Изобретения в СССР и за рубежом. - 1978. - №6. - С.29.
5. Заявка 1563740 Великобритания Е 02 В 17/00 Крепления сооружений к подводным трубчатым металлическим сваям. // Изобретения в СССР и за рубежом. - 1981. - №12. - С.15.
6. Заявка 1598920 Великобритания Е 02 В 17/00 Анкеровка конструкций // Изобретения в СССР и за рубежом. - 1982. - №6. - С.23.
7. Кулиев И.П. Основные вопросы строительства нефтяных скважин в море. - Баку: Азернефтнешр. 1958. - 371 с.
8. Кулик И.П. Основные вопросы строительных нефтяных скважин в море. - Баку: Азернефтнешр. 1958. - 371 С.

9. Морская ледостойкая платформа, предназначенная для бурения эксплуатационных скважин в условиях Северо-Керченского месторождения.-Симферополь. «Спецморнефтегазпроект».-1984.- №0001681.
Новые конструктивно-технологические решения стальных морских платформ для бурения и добычи нефти и газа в условиях Черного и Азовского морей, обеспечивающие снижение металлоемкости и общей массы сооружения. - Киевский инженерно-строительный институт.1984.-№81043304.
10. Патент 3555831 США E 02 В 17/00. Конструкция составной платформы и метод её установки // Изобретения в СССР и за рубежом.- 1976.
11. Патент 4102143 США E02 В 17/00. Приспособление заанкеривания сооружения // Изобретения в СССР и за рубежом.-1979.-№4.-С.41.
12. Патент 4322182 США E 02 В 17/00. Способ и средства подводного заглубления свай // Изобретения в СССР и за рубежом.-1982.
13. Патент 4405263 США А 02 В17/00. Подводные устройства с дистанционно управляемыми замками // Изобретения в СССР и за рубежом.-1983.
14. Узлы сопряжения стальных свай-оболочек с конструкцией блока при устройстве стационарных платформ на континентальном шельфе /М.Н.Пинк, Колесов А.А., Ханин Р.Е., Кисин Б.Ф. – М.: ГПИ «Фундаментпроект».-15626. 48 с.
15. Ширинов В.А. Исследование прочности узлов морских нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений. Дис.канд.техн.наук М.; МИСИ им. В.В.Куйбышева.- 1983.- 278 с.
16. Autopay of early North Sea platform provides surprises//Ocean Industry.- 1979.- №8. –P.56...58.
17. Billington C.J., Tebbttt I.E. The basis for new design formulae for grouted jacket to pile connections / The 12 annual Offshore Technology Conference in Houston.-1980.- p.449...458.-ОТС.-3788.