

Анализ устойчивости и прочности подводных конструкций

Главный научный сотрудник, д.т.н., проф.
О.М. Финагенов



Подводные конструкции проектируют таким образом, чтобы они удовлетворяли следующим требованиям:

- противостояли всем нагрузкам для основных и особых сочетаний, возможным как при эксплуатации, так и при изготовлении, транспортировании и установке (первая группа предельных состояний);
- обеспечивали соответствующие эксплуатационные характеристики при всех расчетных значениях нагрузок для основных и особых сочетаний (вторая группа предельных состояний);
- не теряли конструктивной целостности из-за местных повреждений при особых нагрузках (особые сочетания нагрузок и воздействий).

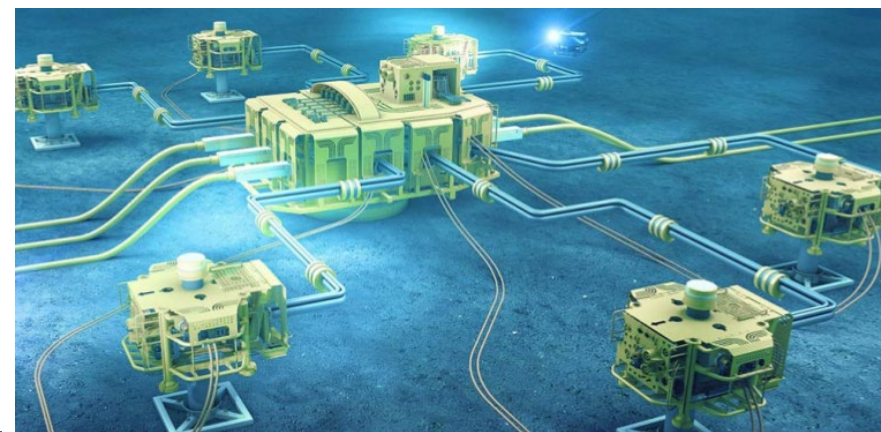


В состав предельных состояний первой группы включают:

- потерю статического равновесия конструкций или их отдельных частей, рассматриваемых как твердое тело (например, опрокидывание);
- отказы отдельных конструктивных элементов, вызванные превышением предельной прочности (в некоторых случаях уменьшенной из-за повторных нагрузок) или предельной деформации элементов;
- преобразование конструкций или их отдельных частей в механизм (полное разрушение или чрезмерная деформация);
- потерю устойчивости отдельными конструктивными элементами;
- неконтролируемое затопление конструкций или их отдельных частей при буксировке.

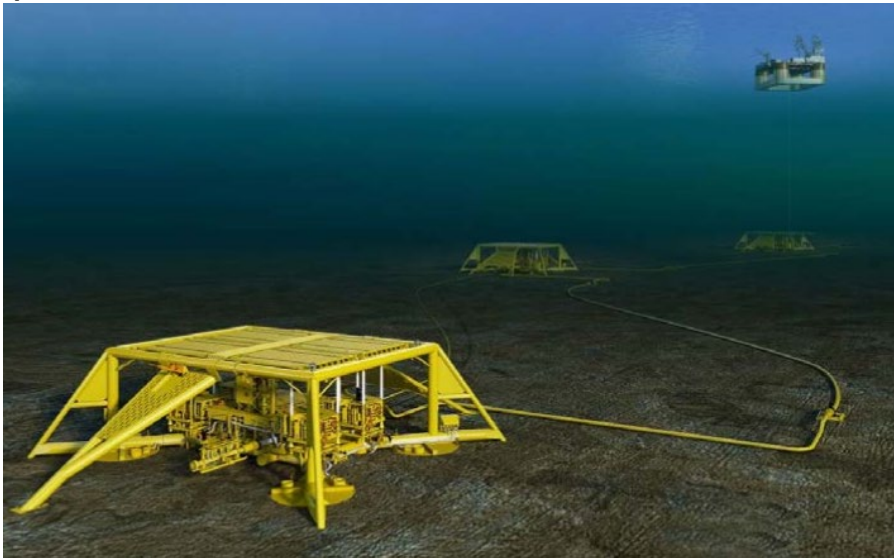
В состав предельных состояний второй группы включают:

- местные повреждения (включая трещины), которые уменьшают долговечность конструкций или оказывают влияние на ее элементы;
- коррозию, которая уменьшает долговечность конструкций, а также оказывает влияние на свойства и геометрические параметры ее элементов;
- деформации, которые оказывают влияние на эффективное использование конструктивных или других элементов;
- чрезмерные вибрации, затрагивающие элементы и/или технологическое оборудование конструкций (особенно при резонансе);
- смещения, которые превышают ограничения для технологического оборудования конструкций.



Основными типами расчетов, необходимых при проектировании оборудования подводных конструкций являются расчеты прочности, гидрогазодинамические и температурные расчеты.

Для отдельных видов оборудования или узлов, входящих в его состав, могут быть необходимы электрические, электромагнитные, гидравлические и прочие расчеты.



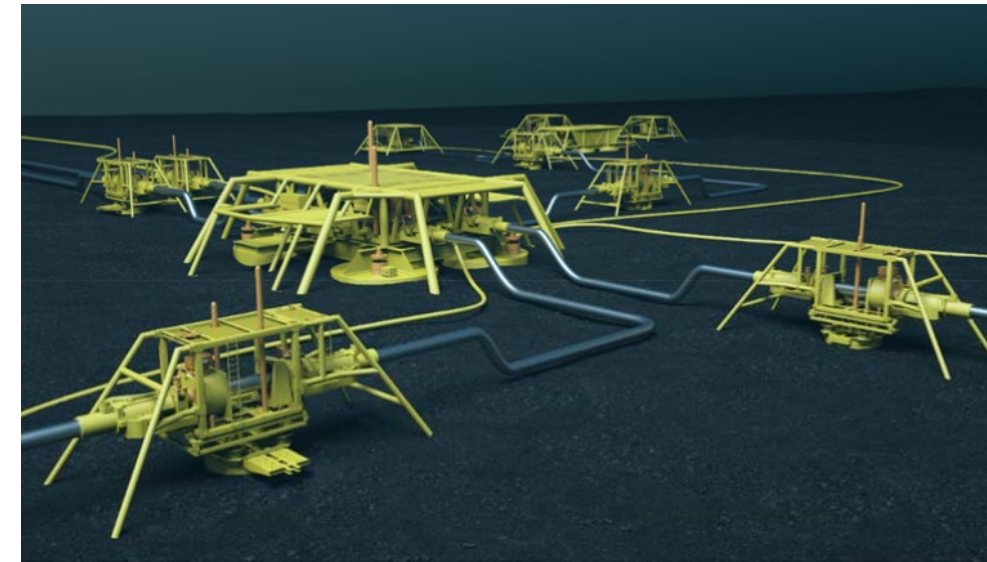
Расчеты прочности подтверждают способность оборудования воспринимать действующие нагрузки без разрушения в течение требуемого срока эксплуатации, а также позволяют оценить реакцию оборудования на различные нагрузки.

При проведении расчетов прочности оборудования систем подводной добычи необходимо учитывать особенности моделирования и оценки состояния различных материалов, таких как металлы, композитные материалы, эластомеры, грунты.



Важную роль в вопросах надежности и безопасности подводных конструкций играет выбор и расчет фундамента, на который они устанавливаются.

При проектировании свайных фундаментов определяется диаметр свай, глубина их погружения, толщина стенки сваи, угол наклона, тип нижнего конца, расстояние между сваями, количество свай и схема их размещения, характер сопряжения с конструкцией, прочность материала, способ установки.



Для обоснования надежности сопряжения конструкции с грунтовым основанием выполняют следующие расчеты и исследования:

- несущей способности грунтового основания;
- прочности материала свай и других элементов конструкции фундамента;
- осадок и перемещений свайного фундамента;
- деформаций свай (перемещений, углов поворота) совместно с грунтовым основанием от действия расчетных нагрузок;
- возможности разжижения несвязных грунтов при динамических нагрузках;
- возможности установки свай на проектную глубину.

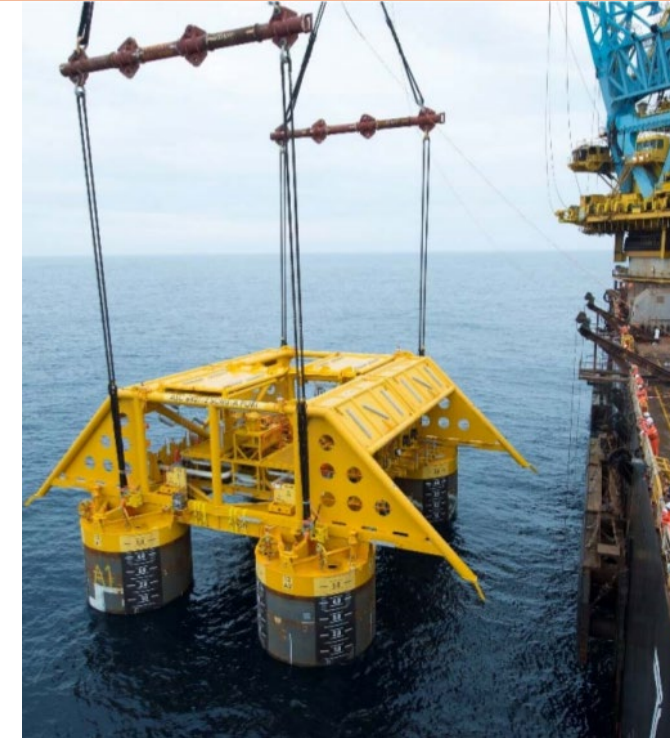
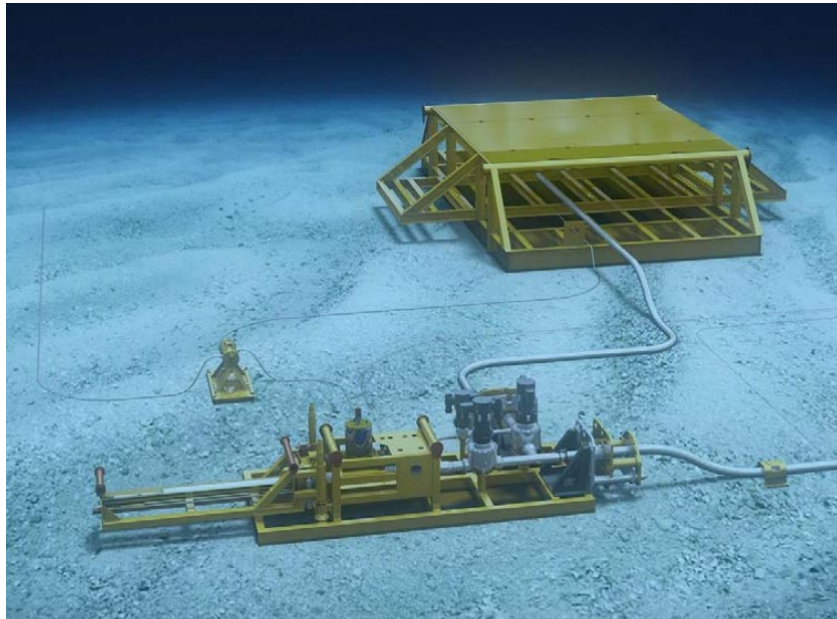


При проектировании свайных фундаментов также учитываются совместные деформации грунтового основания и подводной конструкции по условию

$$S < S_u, \quad (1)$$

где S – совместная деформация сваи, свайного фундамента и конструкции (осадка, перемещение, угол поворота, относительная разность осадок свай, свайного фундамента и т. п.);

S_u – предельное значение совместной деформации основания сваи, свайного фундамента и конструкции, устанавливаемое по правилам технической эксплуатации технологического оборудования.

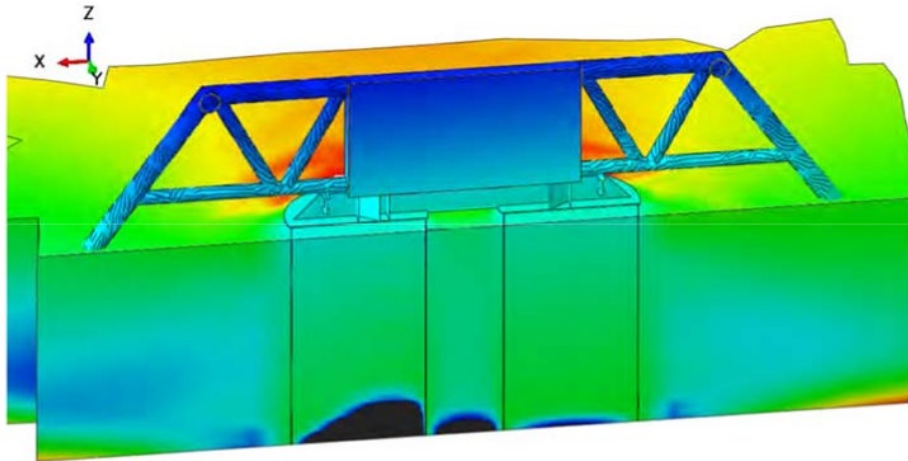


При проектировании свайных фундаментов оценивается возможность забивки свай на проектную глубину с учетом характеристик грунтов, применяемых свай и используемого сваебойного оборудования. При назначении толщин стенки свай и длин секций свайных фундаментов учитываются напряжения, возникающие в процессе забивки свай от статических и динамических нагрузок.



При проектировании фундаментов конструкций гравитационного типа выполняются следующие расчеты:

- устойчивости (несущей способности) системы «конструкция – основание»;
- вертикальных и горизонтальных перемещений и кренов конструкций;
- напряжений, передаваемых от грунтового основания на днище конструкции (результаты этих расчетов используются при проектировании элементов подземного контура);
- недопущения отрыва подошвы конструкции от грунтового основания;
- размывов грунтов дна вблизи конструкции с разработкой соответствующих мероприятий;
- разжижения примыкающего к подошве конструкции песчаного слоя грунта при динамических нагрузках с разработкой соответствующих мероприятий.



Эти требования достигаются благодаря следующим мероприятиям и условиям:

- обеспечение достаточной площади опирания подошвы конструкции;
- обеспечение достаточной вертикальной нагрузки, передаваемой от конструкции на грунтовое основание;
- обеспечение требуемого коэффициента трения подошвы конструкции по контакту с грунтовым основанием;
- устройство вокруг конструкции пригрузки (например, в виде слоя камня с необходимой толщиной и гранулометрическим составом) для предотвращения размывов и повышения устойчивости;
- дренирование основания;
- подбор конструкционных материалов требуемой прочности для всех элементов подземного контура и др.



Для исключения опрокидывания конструкций при больших эксцентриситетах в приложении нагрузок относительно центра их подошвы при проектировании обеспечивается отсутствие отрыва части подошвы от основания. Критерий предельного эксцентриситета вычисляют по формуле

$$e \leq e_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где e – эксцентриситет приложения равнодействующей силы от нагрузок (за исключением бокового давления грунта), действующих на конструкцию;

$e_{\text{пр}}$ – предельно допустимое значение эксцентриситета равнодействующей силы от нагрузок относительно центра тяжести площади подошвы конструкции; допускается принимать $e_{\text{пр}} = b/6$, где b – размер подошвы конструкции в направлении приложения сдвигающей силы.



Целью расчетов несущей способности системы «конструкция – основание» является определение коэффициента устойчивости k_s , показывающего во сколько раз должны измениться те или иные условия, чтобы эти изменения стали причиной перехода системы в предельное состояние. В качестве таких изменяющихся условий могут использоваться величины удерживающих сил или моментов, а также внешних сил (или моментов). Минимально допустимую величину коэффициента устойчивости определяют следующим образом

$$\gamma_{lc} F \leq R / \gamma_n, \quad (3)$$

где γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый согласно СП 58.13330;

F – расчетное значение обобщенного силового воздействия (сила, момент, напряжение), деформации или другого параметра, по которому производится оценка предельного состояния и определенное с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f ;

R – расчетное значение обобщенной несущей способности, деформации или другого параметра (при расчетах по первой группе предельных состояний – расчетное значение; при расчетах по второй группе предельных состояний – нормативное значение), устанавливаемого нормами проектирования, определенное с учетом коэффициентов надежности по материалу γ_m или грунту γ_g и условий работы γ_c ;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,25 – при расчетах по первой группе предельных состояний, 1,00 – при расчетах по второй группе предельных состояний.

При назначении коэффициентов сочетания нагрузок учитывается совместимость тех или иных нагрузок, в особенности для кратковременных ситуаций в период изготовления, транспортирования и установки подводных конструкций или их отдельных частей.



Необходимость устройства защиты дна вблизи подводных конструкций от размыва под воздействием волн и течений следует определять в соответствии с рекомендациями СП 38.13330.

Выбранную конструкцию защиты от размыва дна вблизи основания конструкции проверяют и дорабатывают на основе физического моделирования в лабораторных условиях. При проведении экспериментальных исследований защиты от размыва дна вблизи конструкции обеспечивают воспроизведение нерегулярного волнения с заданным спектром, а также правильный учет масштабных явлений.

Экспериментальные исследования защиты от размывов проводятся для всех этапов ее возведения с целью определения возможных деформаций при соответствующих расчетных условиях.

Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации подводных конструкций разрабатываются критерии состояния защиты дна от размывов и требования по проведению периодических обследований ее состояния, а также своевременных ремонтных работ для поддержания ее работоспособного состояния.



Нормативная литература

- СП 369.1325800.2017 Платформы морские стационарные. Правила проектирования.
- СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения.
- СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85.
- СП 38.13330.2018 (с изменением № 1 от 2021). Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

