

УДК 629.124.74

**В.С. Игнатович, доцент, канд. техн. наук,**

**А.В. Кузьмина, ст. преп.,**

**В.А. Сметаненко, магистр**

*Севастопольский национальный технический университет*

*ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053*

*E-mail: au.lopatnyova@mail.ru*

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ, УЧАСТВУЮЩЕГО В ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Изучены возможности усовершенствования функционального модуля верхнего строения центральной технологической платформы, входящей в комплекс сооружений по добыче углеводородов, с целью оптимизации конструкции, уменьшения ее массы, снижения трудоёмкости и стоимости при сохранении прочности.*

**Ключевые слова:** *центральная технологическая платформа, функциональный модуль верхнего строения, блок-модуль, метод конечных элементов.*

### **Введение**

Одним из важных объектов комплекса сооружений при обустройстве месторождения является центральная технологическая платформа (ЦТП), обеспечивающая сбор, очистку и передачу добытой нефти для дальнейшей транспортировки. ЦТП является в техническом плане наиболее сложным и ответственным сооружением, насыщенным разнообразным оборудованием, опасным по масштабам воздействия на окружающую среду в случае аварийных ситуаций.

*Целью статьи* является рассмотрение возможности усовершенствования конструкции функционального модуля верхнего строения ЦТП для упрощения проектирования и строительства, а также уменьшения массы и стоимости изготовления при сохранении необходимой прочности.

### **Изложение основного материала**

Для исследования конструкции верхнего строения ЦТП рассмотрен объект обустройства месторождения им. В.В. Филановского, расположенный в северной части Каспийского моря (рисунок 1) [1].

Анализ патентов и заявок на изобретения показывает, что наиболее интересным решением является разделение платформы на два модуля: опорный и функциональный (верхнее строение).

Большинство верхних строений ЦТП представляет собой пространственную ферменную конструкцию с рядами главных продольных и поперечных раскосных ферм, поперечные сечения элементов которых представляют собой трубу, короб и двутавр. Пространственная конструкция имеет большое количество палуб. Для глубоководных сооружений верхнее строение опирается на опорный блок, представляющий единую ферменную конструкцию. На мелководных месторождениях, таких как месторождение им. В.В. Филановского, опорный блок выполнен в виде двух блоков; конструкция верхнего строения представляет собой массивный многоярусный мост на двух опорах (рисунок 1). Такие конструкции верхнего строения имеют значительные недостатки: необоснованное утяжеление и сложность несущих конструкций, что увеличивает трудоёмкость и стоимость проектирования, изготовления и монтажа. Следует иметь в виду чрезвычайно высокую насыщенность ферменной конструкции верхнего строения крупным и мелким оборудованием и системами их обслуживания.

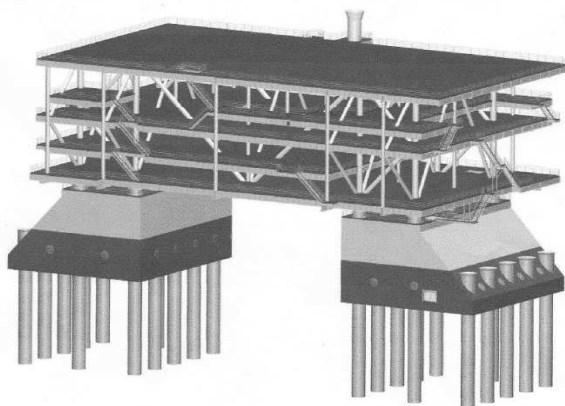


Рисунок 1 –Схема ЦТП для месторождения им. В.В. Филановского

На рисунке 2 представлена трехмерная модель верхнего строения ЦТП.

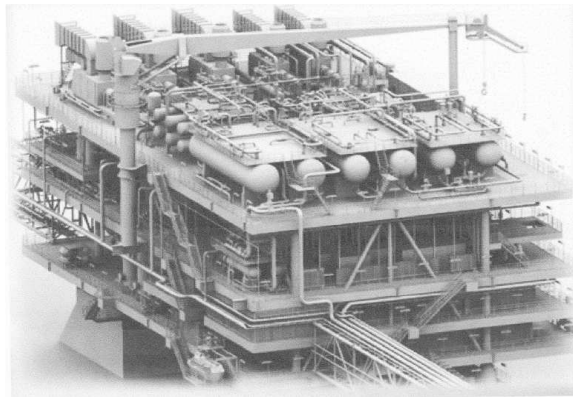


Рисунок 2 – Трехмерная модель верхнего строения ЦТП

К числу основных недостатков верхнего строения относятся:

1. Нерациональная конструкция пространственного каркаса, имеющего неэффективную схему соединения элементов, включающую многократные пересечения раскосов между собой и палубами и, как следствие, возникновение в этих узлах дополнительных изгибающих моментов, что нарушает работу раскосов только на растяжение-сжатие.
2. Низкая унификация элементов и узлов соединений в связи с наличием балок различной высоты в одном направлении, большим количеством коротких элементов.
3. Нетехнологичность расположения палуб, платформ и переборок.
4. Необоснованное применение большого разнообразия марок сталей.
5. Отсутствие рациональной разбивки каркаса на строительные районы и зональные блоки, а отсюда – невозможность применения блочно-модульного метода постройки и монтажа верхнего строения (рисунок 3).

Поскольку вес металлоконструкций верхнего строения составляет около 50% от веса конструкций и сухого веса оборудования и систем, то актуальна задача минимизации веса конструкции. С этой целью необходимо решить следующие задачи: оптимизировать конструкцию каркаса для обеспечения приемлемого соотношения несущей способности и веса, используя более совершенные методы расчёта; включить ограждающие конструкции в схему несущих связей для обеспечения ими местной прочности вышележащих палуб; свести к минимуму количество платформ и палуб, снизить их вес, уменьшить объем неиспользованных пространств; разместить, по возможности, на палубах опорных блоков наиболее тяжелые цистерны и ёмкости.

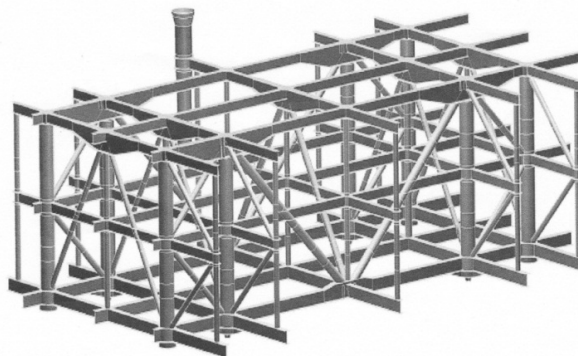


Рисунок 3 – Каркас верхнего строения ЦТП. Общий изометрический вид

Предполагается: вместо каркасных ограждений использовать гофрированные стальные листы; проектировать фундаменты минимального веса; в местах установки оборудования, не требующего осмотра, не предусматривать палубы; устанавливать площадки подвешного типа и использовать вертикальные трапы. Предлагаемое верхнее строение по сравнению с прототипом будет иметь меньший вес. Поскольку разработка новой конструкции производилась при ограниченном объёме данных, предлагается упрощённая схема расчётов, а именно: определить количество, средний вес блок-модулей, несущую способность элементов прототипа; рассчитать сечения несущих элементов на нагрузки прототипа, исходя из новых задач; сконструировать типовой блок-модуль и проверить его прочность на монтажные и транспортные нагрузки; выполнить оценочный расчет общей прочности верхнего строения в целом на эксплуатационные нагрузки.

В начале проектирования необходимо сконструировать принципиально новое верхнее строение и его типовой элемент – модуль, а также определить требования к нему [2]. Верхнее строение следует в первую очередь рассматривать как мостовую конструкцию, и только потом, как часть гидротехнического сооружения, что существенно влияет на выбор схемы решетки. Конструкция должна обеспечивать несущим элементам возможность играть роль рамного каркаса при монтаже, а в составе моста обеспечивать достаточную общую прочность. Элементы модуля должны быть максимально унифицированы. Задача размещения в готовом каркасе супермодуля решается путём монтажа оборудования единым блоком. Однако на ЦТП сложность и скученность оборудования и трубопроводов не позволяет выполнить это рационально, что усложняет конструкцию.

Поскольку каркас блок-модуля указанного типа воспринимает только местные нагрузки и в основном при монтаже, не участвуя в общей прочности, то такое техническое решение лишь увеличивает металлоёмкость верхнего строения и для ЦТП является неприемлемым. Необходимо исключить моноблочное верхнее строение, состоящее из плоскостных секций, а также следует разделить каждую несущую балку, лежащую в плоскости строительных осей, на две независимые. Таким образом, каждый отдельный блок-модуль при стыковке в единое целое своим каркасом образует верхнее строение.

В условиях изготовления верхнего строения на нескольких заводах, транспортировки через шлюзы каналов задача блочно-модульной постройки до полной готовности блок-модулей на различных заводах становится актуальной. Конструктивная схема верхнего строения существующих ЦТП не позволяет монтаж корпуса и оборудования блочно-модульным методом, поэтому сначала монтируется каркас, а затем палубы, причем отдельных модулей, монтируемых в каркас, не предусматривается. Результатом такого проектирования является секционный метод постройки со всеми его недостатками. В этом случае монтаж внутренних конструкций и оборудования необходимо осуществлять по палубно в пространство готового каркаса, что усложняет технологию строительства и увеличивает сроки. Кроме того, в результате невозможности демонтажа отдельных единиц оборудования целиком, модернизация ЦТП в будущем существенно затруднена.

При определении количества блок-модулей для прототипа необходимо выполнить разбивку существующей конструкции верхнего строения на строительные районы и зональные блоки, количество которых может составлять 60–70. В исходном варианте шаг преимущественно составлял 10 м в продольном направлении, 6 м в поперечном направлении. В измененной конструкции шаг горизонтальной сетки приняли кратной величине 0,6 м, т.е. обычной шпации. Размеры по осям главных балок внутри модуля составляет 12,6 м, расстояние между смежными балками 1,2 м, габариты модулей 13,8 м.

Выбранный шаг позволяет транспортировать модули как внутренними водными путями, так и в стандартных транспортных контейнерах. Изменение сетки позволяет более удобно разместить оборудование, трассы и трубопроводы и уменьшить количество блок-модулей до 15-ти трёх типоразмеров при возможности расположения помещений одновременно в двух уровнях в одном блок-модуле. Расчеты на основе нового расположения оборудования показывают, что для сборки верхнего строения, необходимо и достаточно иметь укрупненные модули 3-х типоразмеров, 5-ти грузоподъемностей и разбивку верхнего строения на две независимые конструкции, вместо 5-ти палуб сформировать по 2 палубы с размещением на крыше модулей (3-й палубы) оборудования с 5-й палубы прототипа. Такая компоновка позволит облегчить доступ к оборудованию, его демонтаж, ремонт и модернизацию, увеличит безопасность, уменьшит единичный подъемный вес его каждой части.

Каркас всех блок-модулей предполагается выполнить типовым. Однако, при необходимости в отдельные блок-модули могут быть внесены изменения, связанные с особенностями размещаемого в них оборудования (рисунок 4). Такая схема позволяет разнообразно компоновать блок-модули друг с другом, а значит уменьшить трудоемкость их проектирования и изготовления. Сконструированный блок-модуль проверяется на местную прочность при установке наиболее тяжелого оборудования. Общая прочность верхнего строения проверяется по методу конечных элементов (МКЭ) в стержневой идеализации на нагрузки от оборудования и собственного веса конструкций в рабочем режиме [3].

При оценке общей прочности принято допущение, что нагрузки к палубам в местах расположения оборудования приложены равномерно по длине горизонтальных элементов или сосредоточены в узлах каркаса без учета возвышения над палубами. Расчет по МКЭ в стержневой идеализации показал уровень прогибов, нормальных, касательных и эквивалентных напряжений в характерных наиболее нагруженных узлах и раскосах. Прочность балок оценивалась по прогибам, которые лежат в пределах допустимых величин. В качестве раскосов поперечных ферм применялись трубы  $\varnothing 168 \times 12$ , а в сечениях главных продольных ферм  $\varnothing 377 \times 16$ .

На последующем этапе расчетов по МКЭ верхнее строение моделировалось в пластинчатой идеализации со всеми несущими узлами, причем сечения раскосов были увеличены в запас до размеров труб продольных ферм  $\varnothing 377 \times 25(16)$  и пиллерсов и поперечных раскосов до  $\varnothing 299 \times 10$ . Размеры сетки конечных элементов варьировались от 25-50 до 150-300 мм реального масштаба, что позволило более точно оценить распределение напряжений в геометрически сложных и наиболее нагруженных узлах.

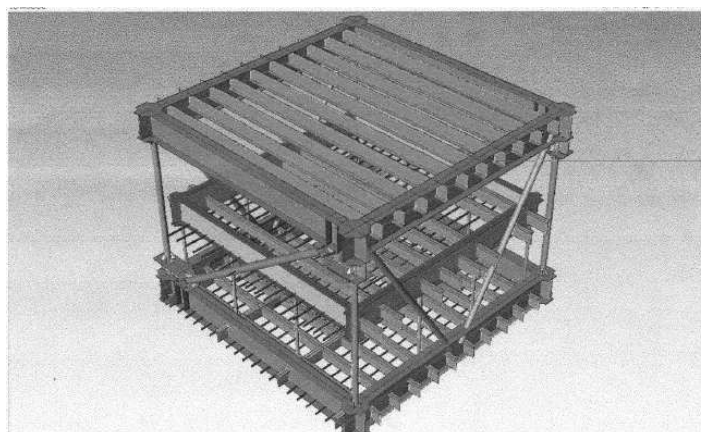


Рисунок 4 – Трехмерная модель объемной секции блок-модуля

Анализируя результаты расчета по МКЭ, необходимо отметить преимущества проведения расчетов в пластинчатой идеализации. Расчет стержневой модели не позволяет в должной мере определить распределение напряжений в наиболее нагруженных узлах, приводит к завышению веса конструкций и подходит для оценки на начальном этапе проектирования.

Действительно, расчет модели в стержневой идеализации показал, что необходимо значительное увеличение сечений раскосов в наиболее нагруженных узлах, но при этом невозможно определить места расположения наиболее нагруженного участка. Расчет в пластинчатой идеализации показал достаточность принятого диаметра раскоса при увеличенной толщине стенки. Таким образом, из конструкции верхнего строения удалось исключить сварные раскосы большого диаметра, ограничившись горячекатаными бесшовными трубами меньшего диаметра, сократив количество сортамента. При расчетах использовалось инженерное ПО – Lira.

**Выводы.** В заключение следует отметить, что на месторождениях на шельфе эксплуатируются сооружения более сложные и насыщенные оборудованием и системами, чем ПБУ, при проектировании и строительстве которых применение блок-модулей существенно затруднено. Поэтому приведенные выше рекомендации на примере ЦТП могут существенно упростить конструкцию, технологию изготовления и монтажа оборудования при сохранении необходимой прочности и внедрить блочно-модульный метод постройки верхнего строения. Дальнейшие исследования связаны с оценкой экономической эффективности вариантов конструкций.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Адамянц П.П. Проектирование обустройства морских нефтегазовых месторождений / П.П. Адамянц, Ч.С. Гусейнов, В.К. Иванец. — М.: РГУ нефти и газа им.И.М. Губкина, ООО ЦентрЛитНефтеГаз, 2005. — 496 с.
2. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа / Т. Доусон. — Л.: Судостроение, 1986. — 288 с.
3. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. — СПб.: РМРС, 2012. — 480 с.

*Поступила в редакцию 24.01.2014 г.*

#### **Ігнатівч В.С., Кузьміна А.В., Сметаненко В.А. Удосконалення конструкції технічного споруди, які беруть участь у експлуатації морського родовища**

Вивчені можливості удосконалення функціонального модуля верхньої будови центральної технологічної платформи, що входить в комплекс споруд з видобутку вуглеводнів, з метою оптимізації конструкції, зменшення її маси, зниження трудомісткості і вартості при збереженні міцності.

**Ключові слова:** центральна технологічна платформа, функціональний модуль верхньої будови, блок-модуль, метод кінцевих елементів.

#### **Ignatovich V.S., Kuzmina A.V., Smetanenko V.A. Improving the design of technical installations involved in the operation of offshore fields**

Studied ways to improve the function module topsides central technology platform, part of the complex of structures for the production of hydrocarbons, in order to optimize the design, reduce its weight, reducing the complexity and cost while maintaining strength.

**Keywords:** central technology platform topsides function module, a block module, finite element method.