

УДК 629.124.74:622.242

В.С. Игнатович, доцент, канд. техн. наук,**А.В. Кузьмина***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
СОВРЕМЕННЫХ САМОПОДЪЕМНЫХ ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК**

На основе анализа режимов эксплуатации самоподъемных плавучих буровых установок сформулированы принципы проектирования современных сооружений и предложены основные направления разработки узлов и конструкций, существенно повышающие надежность.

Самоподъемная плавучая буровая установка (СПБУ) представляет собой уникальное инженерное сооружение, которое сочетает в себе все основные достоинства других конструктивных типов сооружений: мобильность, возможность установки без внешней помощи и обеспечение надежного и устойчивого положения на точке позиционирования. Она сочетает в себе мобильность полупогружной установки с минимальным временем простоев и надежные технологии бурения стационарной платформы. Проектирование этих сооружений усложняется в связи с наличием нескольких различных режимов эксплуатации, отличных от работы судов транспортного флота.

Благодаря такому удачному сочетанию свойств именно СПБУ применялись в течение примерно 30 лет с момента их появления как основное средство для разведочного бурения по всему миру. Этот тип установок рассматривали в качестве подходящего варианта только для краткосрочных работ на небольшой глубине. На этом этапе развития СПБУ принципы проектирования и критерии оценки пригодности основывались на применении установок лишь для указанного направления. Со второй половины 1970-х годов начинается разработка методов и приемов проектирования СПБУ и соответствующих критериев оценки, которые позволили бы использовать установки для выполнения более широкого спектра задач. К ним относятся: эксплуатационное бурение, добыча с учетом размещения жилых блоков, выполнение требований к обслуживанию и конструкции в суровых погодных условиях и глубоководных районах.

При разработке новых принципов проектирования конструкций строители столкнулись с целым рядом проблем, связанных с новыми условиями эксплуатации СПБУ [1].

1. Режим стоянки на точке (рабочий и выживание):

а) при выполнении долгосрочных операций, стоянке на одном месте в течение достаточно длительного периода времени следует уделить большее внимание проблемам морского обрастания, поведению грунта и износоустойчивости элементов конструкции;

б) эксплуатация в суровых погодных условиях требует не только повышенного внимания к конструктивной прочности, устойчивости к опрокидыванию и усталостным нагрузкам, но также, особенно для удаленных районов, вынуждает увеличивать вес перевозимого полезного груза с целью уменьшения зависимости от судов снабжения;

в) при работе на большой глубине исключительно важным критерием становится общая прочность системы, а, следовательно, и определение связанных с ней величин – периода собственных колебаний, динамических нагрузок, допустимых деформаций.

2. Режим постановки на точку бурения (опускания колонн):

а) в этом режиме, чтобы уменьшить предполагаемое время простоя установки в ожидании погодных условий, пригодных для снятия с точки позиционирования, параметры волнения при проектировании должны приниматься с необходимым запасом. Особое внимание на стадии проектирования необходимо уделить расчету колебательных движений корпуса и ударным нагрузкам, возникающим при первом контакте нижней части опорных колонн с грунтом;

б) перед непосредственной постановкой на точку бурения производится проверка надежности грунта в непосредственной близости от точки позиционирования путем небольшого заглубления опор. В связи с первостепенной важностью обеспечения надежного устойчивого положения установки на грунте морского дна, необходимо уделять пристальное внимание расчету режима постановки СПБУ на грунт (например, требуемой производительности средств предварительной нагрузки опор, танков балласта, а также рациональной конструкции нижней части опорных колонн);

в) в районах с суровыми погодными условиями необходимо очень четко отслеживать прогноз погоды, чтобы успеть выполнить все постановочные операции при благоприятных условиях, в связи с этим время выполнения этих операций должно быть возможно меньшим.

3. Режим транспортировки

Переход СПБУ с одной точки бурения на другую производится в условиях действия ветра и волнения. Эксплуатация в глубоководных районах влечет за собой необходимое увеличение длины опор

СПБУ. Последствия этого увеличения для остойчивости установки при транспортировке на плаву, прочности и износостойкости самих опор и отдельных их элементов требуют самого тщательного рассмотрения при проектировании.

Все перечисленные проблемы можно устранять по отдельности. Однако, многие из них, а значит, и их возможные решения, связаны друг с другом, поэтому определенное решение одной из проблем может усугубить другую. К примеру, применив менее прочную сталь для решения проблемы износа элементов конструкции опор, мы тем самым за счет возрастания массы увеличим результирующий опрокидывающий момент и ухудшим остойчивость установки. На рисунке 1 в виде схемы изображены существующие взаимосвязи между различными элементами конструкции СПБУ для различных режимов работы.

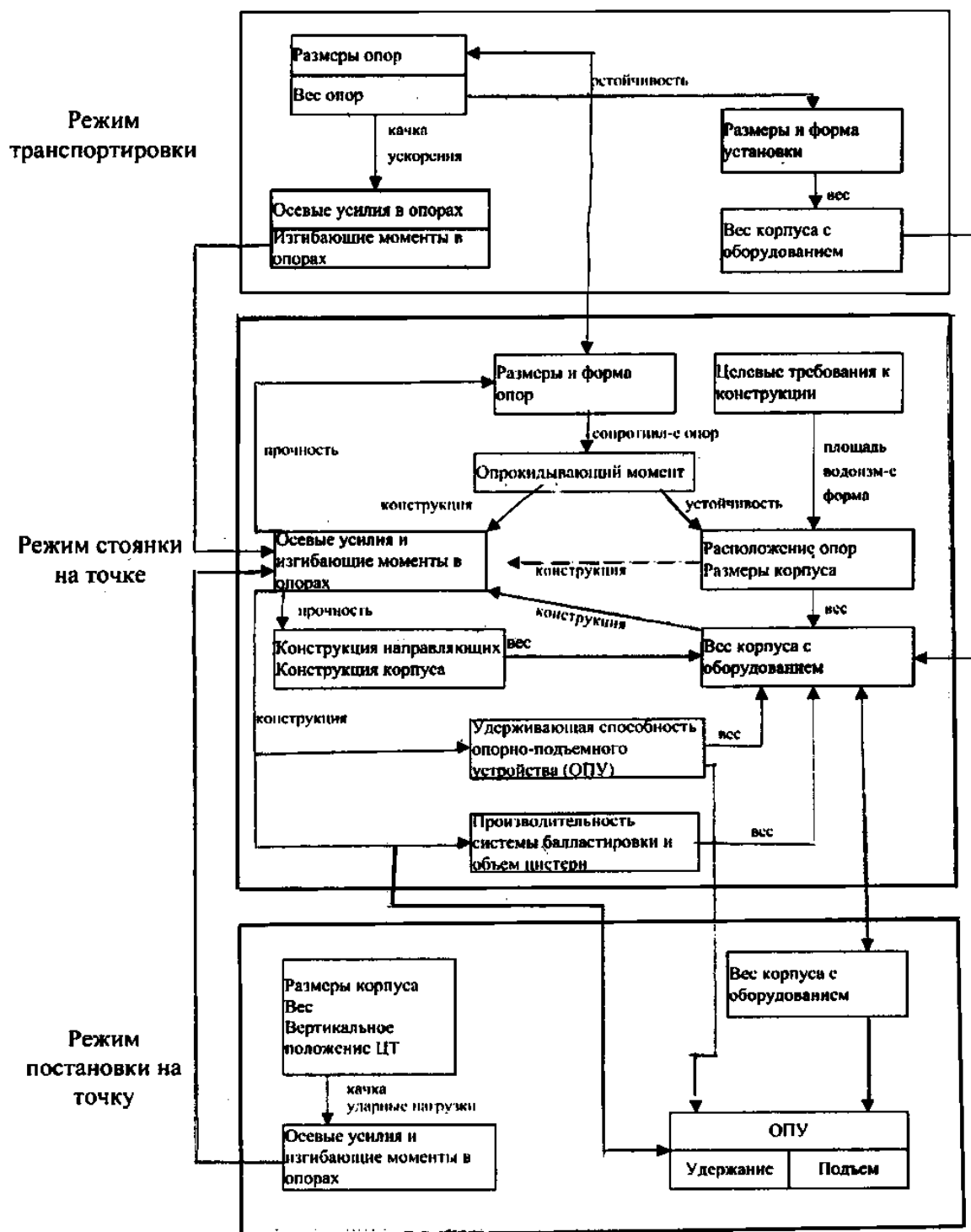


Рисунок 1 – Взаимосвязи элементов конструкции СПБУ для различных режимов работы

Целью статьи является исследование основных принципов проектирования СПБУ и определение оптимальных научно-технических и конструктивных решений, которые имели бы универсальный характер и учитывали указанное выше взаимное влияние различных элементов на надежность сооружения. Такая сбалансированность должна быть достигнута не только с технической и эксплуатационной стороны, но и с точки зрения экономической выгоды – для обеспечения должного уровня конкурентоспособности полученной конструкции.

При проектировании новых СПБУ такими ключевыми решениями могут быть следующие [2]:

- применение элементов опор таких геометрических форм, которые максимально снижали бы сопротивление среды;
- применение сталей высокой прочности для уменьшения размеров и веса различных элементов;
- применение опорных колонн решетчатой конструкции вместо опор закрытого типа (рисунок 2);
- уменьшение количества опорных колонн;
- отказ от принципа "независимых" опор путем внедрения конструкции крупного мата, жестко связующего нижние части опор установки, улучшая тем самым распределение внутренних усилий в опорах;
- внедрение устройств закрепления "фиксации" опор, обеспечивающих жесткое соединение между опорами корпусом СПБУ.

Рассмотрим *основные концептуальные решения для СПБУ*, конструкция которых основывается на новых принципах проектирования.

1. Применение системы закрепления (фиксации) опор в корпусе СПБУ.

За счет устройств закрепления опор обеспечивается жесткое соединение каждой из опор с корпусом установки [3].

В традиционной конструкции СПБУ взаимодействие между опорой и корпусом осуществляется посредством следующих элементов:

а) подъемного устройства, выполняющего подъем, спуск опор или корпуса и восприятие вертикальных реакций во время буксировки, тестовых операций заглубления и в экстремальных условиях;

б) направляющих понтона и портала, обеспечивающих вертикальное положение опоры при прохождении ее внутри корпуса во время спуска-подъема и передачу изгибающих моментов опор в корпус горизонтальной парой сил, создаваемой направляющими понтона и портала в режиме транспортировки, подъема, предварительного заглубления и в экстремальных условиях. На рисунке 3, а изображена схема распределения указанных усилий.

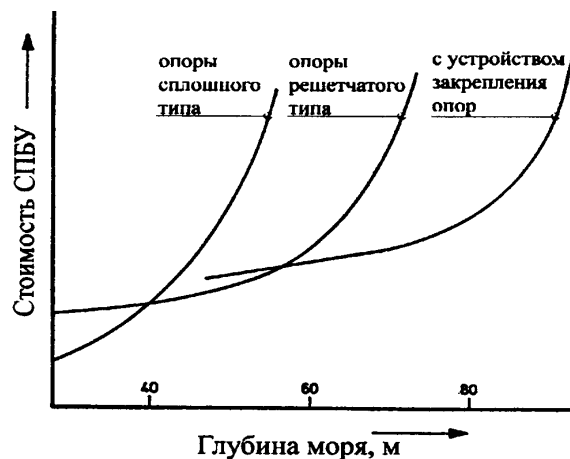


Рисунок 2 – Положение точки самоокупаемости для СПБУ с различной конструкцией опорных колонн (для суровых условий эксплуатации)

С применением устройств закрепления опор дополнительные функции распределяются следующим образом. На рисунке 3, б изображены устройства закрепления (фиксации) опор в режимах транспортировки и стоянки на точке, которые обеспечивают жесткое, исключая зазоры, механическое соединение опор с корпусом и передачу изгибающего момента опор на корпус посредством вертикальной пары растягивающих и сжимающих сил, создаваемых на противоположных стойках опоры.

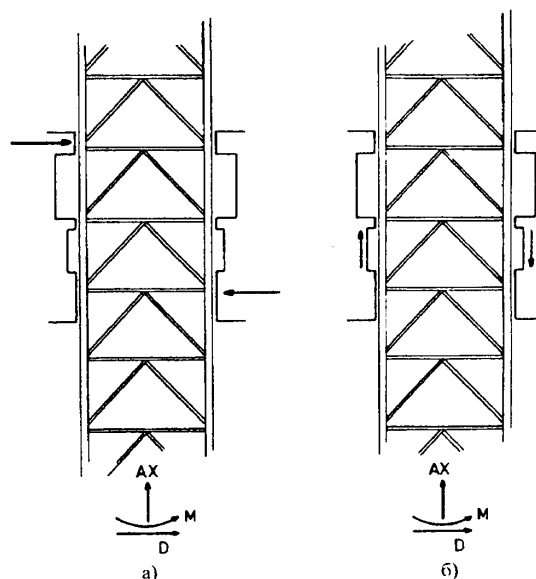


Рисунок 3 – Распределение усилий в соединении опора-корпус:
а) без устройств закрепления опор; б) с задействованными устройствами закрепления

Анализ особенностей применения устройств закрепления опор позволяет сделать вывод о положительном эффекте, который может быть достигнут в свете перечисленных выше проблем, связанных с эксплуатацией СПБУ в суровых условиях. С использованием устройств закрепления опор могут быть решены следующие задачи:

а) в режиме стоянки на точке: повышается усталостная прочность за счет значительного снижения касательных напряжений в районе направляющих понтона и портала, снижение динамических нагрузок; уменьшаются отклонения от исходного положения за счет увеличения общей жесткости системы; снижаются динамические нагрузки за счет увеличения общей жесткости системы;

б) в режиме транспортировки – существенно уменьшены ударные нагрузки и износ элементов за счет жесткого, без зазоров, соединения опоры с корпусом; повышена усталостная прочность за счет значительного снижения узловых напряжений в раскосах.

В качестве недостатков применения системы фиксации опор можно отметить увеличение времени, необходимого для введения и вывода системы из эксплуатации. Этому следует уделить особое внимание при проектировании и расчетах требуемого времени на постановку СПБУ на точку и снятия с нее.

2. Стремление к повышению общей жесткости системы, минимизация периода собственных колебаний установки.

Применение устройств фиксации опор в корпусе СПБУ позволяет повысить жесткость опор, не увеличивая при этом их веса.

Положительными эффектами в режиме стоянки на точке становятся: повышение усталостной прочности за счет улучшения поведения элементов конструкции в условиях динамических нагрузки и уменьшение горизонтальных смещений понтона СПБУ, этот аспект является крайне важным для случаев, когда СПБУ работает вблизи других, стоящих на морском дне платформ.

3. Минимизация гидродинамических нагрузок [4].

Гидродинамические нагрузки являются основным расчетным параметром при проектировании СПБУ. Их определение напрямую отражается на выборе размещения основных элементов опор, опорно-подъемного устройства, направляющих, системы фиксации и самого корпуса.

В связи с этим, на протяжении всего процесса проектирования, должна быть использована любая возможность, позволяющая снизить эти нагрузки. Относительного их уменьшения можно добиться за счет: использования благоприятных в отношении сопротивления геометрических форм для всех элементов опор; применения рациональной схемы расположения раскосов опоры Х-формы; установки системы фиксации опор, которая позволяет уменьшить размеры связей.

К положительным эффектам такого подхода можно отнести: а) в режиме стояния на точке – улучшенная устойчивость к опрокидыванию за счет изменения расстояния между опорами, уменьшения размеров и облегчения корпуса; повышенная конструкционная и усталостная прочность только за счет снижения нагрузок; уменьшение веса конструкций за счет снижения нагрузок; б) в режиме транспортировки – снижение нагрузок в соединениях корпуса за счет уменьшения веса опор.

4. Необходимость создания сбалансированной конструкции СПБУ, в которой были бы учтены все важные конструктивные и эксплуатационные требования.

Этот пункт посвящен другим важным аспектам конструкции современных самоподъемных установок.

а) Поведение грунта при стоянке на точке позиционирования.

При проектировании СПБУ и задании требуемых условий окружающей среды принято рассматривать закрепление опор в грунте морского дна как шарнирное. При заданном районе эксплуатации и известных характеристиках грунта в этом районе в расчете можно рассматривать закрепление опор как жесткое, вследствие схватывания нижних частей опор грунтом, что окажет значительное влияние на конструкционную и усталостную прочность и динамические нагрузки.

б) Ухудшение волновых характеристик в режиме постановки на точку позиционирования.

Следующие параметры определяют возможность установки СПБУ в районах с повышенным волнением:

- параметры качки корпуса;
- конструктивно допускаемые ударные нагрузки во время первого контакта с морским дном;
- характеристики морского дна;
- конструкция нижней части опорных колонн;
- максимально допускаемая качка, позволяющая персоналу производить работы в этот период – "рабочий предел".

Время постановки на точку зависит от следующих условий: времени, необходимого для выведения из действия устройств закрепления опор; спуска опор к морскому дну; подъема корпуса на опорах из воды; заполнения балластных танков; выполнения предварительного заглубления; осушения балластных танков; подъема корпуса на рабочую высоту над водой.

Отечественные СПБУ типа "Каспий" были спроектированы и построены в 70-е годы без учета вышеуказанных принципов проектирования буровых установок для больших глубин и суровых условий. Для проектирования современных глубоководных буровых установок требуется создание теоретических и конструктивно-технологических разработок по рассмотренным направлениям, которые обеспечат существенное повышение их надежности и эффективности эксплуатации. Изложенные рекомендации могут быть частично внедрены на уже построенных установках.

Задачами дальнейших исследований в данном направлении могут быть исследования напряженного состояния опор и элементов опорно-подъемного устройства СПБУ при наличии устройства закрепления в режиме транспортировки и штормового отстоя.

Библиографический список

1. Игнатович В.С. Расширение эксплуатационных возможностей ПБУ типа "Каспий" / В.С. Игнатович, И.М. Берхин // Основы проектирования ПБУ: сб. матер. Всесоюзной науч.-техн. конф., 22.09 – 28.09, ЦНИИ РУМБ, 1980. — С. 34 – 39.
2. Игнатович В.С. Опыт проектирования и изготовления опорных колонн СПБУ / В.С. Игнатович, И.М. Берхин // Судостроение. — 1982. — № 2. — С. 23 – 25.
3. Mommaas C J. Development and design of two series of jack-ups for hostile waters // C J. Mommaas, E.P. Blankestijn, 5th Offshore South West Asia, February 1984, Singapore. — P. 26 – 32.
4. The Jack-up Drilling Platform. Design and Operation / edited by L.F. Boswell, Department of Civil Engineering, The City University, London, 1986. — P. 21 – 29.

Поступила в редакцию 26.11.2007 г.