

## Особенности строительства гравитационного основания морской платформы

*Н.А. Леухин, В.А. Перфилов, О.В. Душко, В.И. Клименко*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** В данной статье раскрыт ряд примеров особенностей строительства основания гравитационной морской платформы, применяемой для добычи углеводородов. Рассмотрена конструкция железобетонного основания платформы в виде «монопода», состоящего из 8 нижних цилиндрических резервуаров и вертикальной железобетонной опоры длиной 95 м. Армирование всей конструкции производилось посредством предварительного натяжения арматурных канатов на затвердевший бетон по высоте механическим способом. В процессе строительства гравитационного основания применялись новые составы тяжелых высокопрочных модифицированных бетонов с применением микрокремнеземистых и нанокремнеземистых добавок. В процессе строительства по всей высоте конструкции применяли переставную опалубку.

**Ключевые слова:** основание гравитационной платформы, монопод, предварительное натяжение на бетон, высокопрочный модифицированный бетон, буксировка, позиционирование.

В ходе строительства конструкций морских нефтегазовых сооружений используются конструкции, находящиеся в процессе эксплуатации в сложных экологических, климатических и гидрологических условиях, включая арктические районы [1,2]. Для поддержания основных свойств сооружений необходимо применение долговечных материалов и современных способов изготовления конструкций сложной конфигурации.

Наибольшее распространение получили конструкции морских гравитационных сооружений, выполненных из обычного и предварительно напряженного железобетона [3]. Морские железобетонные стационарные гравитационные нефтегазодобывающие платформы должны обладать необходимой жесткостью, устойчивостью и долговечностью при постоянном воздействии волновых, ветровых, ледовых нагрузок, а также соленой морской воды.

Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) типа «монопод» предназначена для одновременного бурения скважин, сбора

---

продукции скважин, измерения дебита скважин и подготовки продукции. Предполагаемый район расположения платформы месторождение – Медынское море. На МЛСП предусмотрены помещения для пребывания обслуживающего персонала, палубы для работы и вертолетная площадка.

Конструкция основания платформы представляет собой цилиндрическую железобетонную опору моноподного типа длиной 95 м (рис. 1).

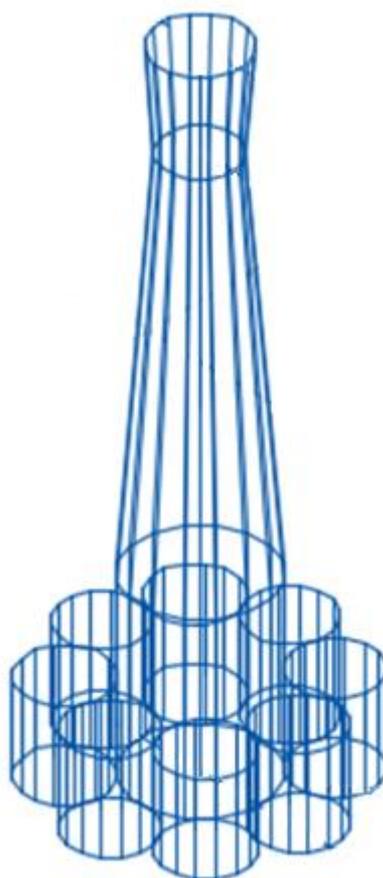


Рис. 1. Железобетонное основание морской стационарной гравитационной платформы типа «монопод»

В нижней части имеется 8 цилиндрических резервуаров нефтехранилищ. Основная часть конструкции (81м) заполнена водой, чтобы стабилизировать нагрузки на МЛСП во время шторма, а так же исключить возможности преломления конструкции. Три верхних уровня опорного блока имеют

---

отдельные палубы для технологического оборудования. Устойчивость основания платформы на дне обеспечивается за счет собственной массы. Опорный блок является конструкцией, обеспечивающей постановку платформы на грунт.

Масса верхнего строения платформы и для автономного, и для централизованного варианта энергоснабжения составляет около 6105 т; опорного блока моноподного типа - 94676 т.

Конструкция опорного блока является сложной для армирования. Поэтому в программе «Лира-АРМ» по расчетным усилиям осуществлялся подбор арматурных элементов железобетонного основания морской гравитационной платформы. По результатам расчетов были подобраны арматурные каркасы с диаметрами стержней 25 и 32 мм и шагом 150 и 200 мм.

Учитывая большую высоту конструкции и повышенное действие внешних нагрузок, во избежание недопустимых деформаций, в том числе от массы верхнего строения с набором бурового оборудования, производилось предварительное натяжение арматурных канатов в конструкции по высоте механическим способом. Данная операция позволила в растянутой зоне конструкции сложной конфигурации обеспечить дополнительные усилия сжатия и повысить жесткость опорного блока.

При механическом способе пост-натяжения арматура растягивается осевой нагрузкой, создаваемой домкратами [4,5]. Для этого до начала бетонирования в специально подготовленные каналы из полимерных труб устанавливают арматурные канаты с расчетным диаметром, около 40 мм. По окончании бетонирования опорного блока и набора заданной прочности бетоном, производят заанкеривание канатов и их натяжение механическими домкратами. По окончании предварительного натяжения, пространство между арматурным канатом и стенкой бетонного отверстия замоноличивают

---

специальным безусадочным раствором для передачи напряжения на бетон. Это позволит снизить потери предварительного натяжения арматурных канатов вследствие их релаксации и усадки бетона.

Для конструкций сложной конфигурации, эксплуатируемых в условиях воздействия больших механических и гидрологических нагрузок, необходимо применять тяжелые бетоны средней плотности 2300-2500 кг/м<sup>3</sup> с использованием горячекатаной арматуры периодического профиля диаметром до 40 мм и арматурных канатов диаметром до 40 мм. По технологии, укладка бетонной смеси должна проводиться при температуре арматуры не более 100°C.

Опорный блок МЛСП представляет собой монолитную железобетонную конструкцию, имеющую различное сечение. Для подобного типа сооружения выбираем подъемно-переставную опалубку.

Преимущества данного вида опалубки заключаются в отсутствии трения щитов по бетону, минимальном усилии для подъема щитов и исключении повреждения бетона.

Для бетонирования конструкции основания гравитационной платформы были разработаны составы тяжелого высокопрочного модифицированного бетона [6,7] с применением микрокремнеземистых и наноуглеродных добавок [8-10]. Предлагаемые составы бетона обладает высокими показателями прочности и водостойкости.

Технология строительства опорного моноблока в переставной опалубке производится поточным методом. Вначале осуществляют бетонирование 8-ми нижних цилиндрических нефтехранилищ за 4 захватки. А затем по центру конструкции поэтапно возводят вертикальный опорный моноблок за 28 бетонных захваток.

Бетонирование производят с помощью бетононасосов равными слоями высотой до 40 см. Уплотнение бетонной смеси производят навесными на

---

опалубку вибраторами, а также глубинными вибраторами с гибким валом. Расстояние между вибраторами 1,0 – 1,5 метра. Процесс вибрирования продолжается до момента удаления воздушных пузырьков и появления «цементного молока».

Процесс ухода за бетоном осуществляется сразу по окончанию укладки бетона и до достижения 70% проектной прочности. В некоторых случаях допускается уход за бетонной смесью при достижении 50% прочности.

Непосредственно в начальный период необходимо защищать от обезвоживания бетонную смесь. При достижении бетоном прочности 0,5 МПа последующий уход за ним должен заключаться в обеспечении влажного состояния поверхности путем устройства влагоемкого покрытия и его увлажнения, выдерживания открытых поверхностей бетона под слоем воды, непрерывного распыления влаги над поверхностью конструкций. При этом не допускается полив водой открытых поверхностей твердеющих бетонных и железобетонных конструкций. Распалубка конструкций осуществляется по достижении бетоном распалубочной прочности, указанной в рабочих чертежах. Но при этом необходимо учитывать температуру окружающей среды.

Строительство морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) подразделяется на два основных этапа:

- строительство верхнего строения
- строительство опорного блока гравитационного типа.

Буксировка опорного блока МЛСП на точку строительства является сложной операцией. Сложность обусловлена рядом обстоятельств: конструкция, транспортируемая наплаву, имеет большие габаритные размеры и площадь парусности.

### **Характеристика маршрута движения**

Для вывода опорного основания из заполненного дока потребуется разобрать перегородки, отделяющие док от открытого моря. Его проводку до места установки на месторождении «Медынское - море» выполнит буксирный ордер из трех судов, мощностью 5280 кВт каждый. Из них 2 буксира тянущих и 1 одерживающий. Протяженность маршрута движения 683,51 миль, или 1100 км, от порта в г. Мурманск к месторождению Медынское - море. Общее время буксировки составит 8 суток при средней скорости 3,5 узла (примерно 5,6 км/час). Учитывая характер маршрута движения, перегон предусматривается осуществить в один этап.

### **Позиционирование и установка опорной части на морское дно**

Перед началом операции по установке опорного блока на морское дно необходимо выполнить подготовительные работы:

- водолазный осмотр морского дна в зоне установки опорного блока;
- закрепление на морском дне реперных точек, координаты которых будут использованы при установке;
- установка навигационных знаков и буйев.

После погружения и установки опорного блока на морской грунт производят установку верхнего строения с применением различных технологий (крановым судном или надвигка домкратами).

Таким образом, изготовленная конструкция опорного блока морской гравитационной платформы с применением предварительного напряжения и использования модифицированных высокопрочных бетонов обладает высокой прочностью, жесткостью и долговечностью при эксплуатации в сложных климатических условиях.

## Литература

1. Григорьев М.С. Северный морской путь: роль в освоении арктических углеводородных ресурсов и обеспечении энергетической безопасности страны // Нефть и газ. – Москва, 2012. – №4(16). – С. 20-24.
  2. Гусейнов Т.И., Алекперов Р.Э. Охрана природы при освоении морских нефтегазовых месторождений. – М.: Недра, 2009. – 216 с.
  3. Харламов Р.И., Перфилов В.А. Строительство плавучих железобетонных морских сооружений для сжижения природного газа // Инженерный вестник Дона. - 2023. - № 10. - URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8720](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8720).
  4. Dirk Bondy K. Bryan Allred Post-Tensioned Concrete: Principles and Practice, Third Edition Year: 2017, Edition: Paperback, Publisher: Lulu, Publishing Services, Language: English, P. 452.
  5. Bijan O. Aalami Post-Tensioning in Building Construction, First Published 2023, eBook Published 9 May 2023, Pub. Location: Boca Raton, Imprint: CRC Press, DOI: [doi.org/10.1201/9781003310297](https://doi.org/10.1201/9781003310297) P.264.
  6. Перфилов В.А., Зубова М.О. Мелкозернистые базальтофибробетоны // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2014. – № 38(57). – С. 85-93.
  7. Перфилов В.А., Габова В.В., Лукьяница С.В. Бетон для строительства подводных нефтегазовых сооружений // Инженерный вестник Дона. - 2020. - № 11.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673).
  8. Машенко К.Г. Модификаторы – шаг к повышению качества бетонов и растворов. // Строительные материалы, 2004 - № 6. –с.62-63.
-



9. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Гареев С.И. Поверхностно-активные свойства модифицированных пластификаторов. // Строительные материалы, 2008 - № 3. –с.44-45.
10. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.

### References

1. Grigor'ev M.S. Neft' i gaz. Moskva, 2012. №4(16). pp. 20-24.
2. Gusejnov T.I., Alekperov R.E. Ohrana prirody pri osvoenii morskikh neftegazovykh mestorozhdenij. [Nature protection in the development of offshore oil and gas fields] M.: Nedra, 2009. 216 p. M.: Nedra, 2009. 216 p.
3. Harlamov R.I., Perfilov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 10. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8720.
4. Dirk Bondy K. Bryan Allred Post-Tensioned Concrete: Principles and Practice, Third Edition Year: 2017, Edition: Paperback, Publisher: Lulu, Publishing Services, Language: English, P. 452.
5. Bijan O. Aalami Post-Tensioning in Building Construction, First Published 2023, eBook Published 9 May 2023, Pub. Location: Boca Raton, Imprint: CRC Press, DOI doi.org/10.1201/9781003310297 P.264.
6. Perfilov V.A., Zubova M. O. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. № 38(57). pp. 85-93.
7. Perfilov V.A. Gabova V.V., Luk'yanica S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 11. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673.
8. Mashchenko K.G. Stroitel'nye materialy, 2004. № 6. pp. 62-63.



9. Yudovich M.E., Ponomarev A.N., Gareev S.I. Stroitel'nye materialy, 2008. № 3. pp.44-45.
10. Saidov D.H., Umarov U.H. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634).