

УДК 622.276

Рзаев Хазаил Нураддин оглы

Азербайджанская государственная нефтяная академия, Баку

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

С конца 70-х годов прошлого столетия бурными темпами развивается мощнейший научно-промышленный комплекс по освоению углеводородных топливных месторождений на шельфе морей и океанов. Важнейшей проблемой являлось обеспечение добычи нефти и газа с больших глубин в различных климатических условиях. Результаты решения этой проблемы, прежде всего, зависели от решения главной задачи – обеспечения в необходимых объемах строительства морских стационарных платформ (МСП) для бурения и добычи на глубинах моря в 200÷300 м.

Ключевые слова: бурение, вышка, нефть, глубина, платформа, основание, опора месторождение, шельф, Каспийское море.

Введение

В области проектирования, конструирования и строительства морских нефтепромысловых сооружений на акваториях морей Советского государства в 60÷80 годы прошлого столетия определились два основных направления.

Первое, как основополагающее, сформировалось при решении задач обустройства месторождений на шельфе Каспийского моря. Научные, конструкторские и проектные разработки возглавил НИПИ-Гипроморнефтегаз г. Баку. Свыше 1500 платформ были изготовлены, смонтированы в море и запущены в производство по проектам института [1].

Второе направление сформировалось при освоении шельфов Черного и Азовского морей. Главным институтом по этому региону стал ВНИПИ-шельф в г. Симферополе.

На примере обустройства шельфовых месторождений углеводородного топлива Каспия можно проследить процесс совершенствования конструктивной формы МСП [1].

Определение основных факторов, влияющих на качество очистки ствола в процессе проведения буровых работ

В 1934 году впервые в мире в районе о. Артема начинается сооружение металлических стационарных платформ эстакадного типа на буро-заливных сваях конструкции Н.С. Тимофеева [2; 3].

Конструктивно общая схема эстакады решалась в виде чередующихся самостоятельных участков длиной до 112 м, отделенных один от другого температурными швами. Основными конструктивными элементами эстакад являются пролетные строения и опоры. Опоры монтировались из металлических балок и ферм. Использовался профильный и трубный прокат. При глубинах более 10 м при и

большой удаленности от берега использовались основания островного типа. Основание состояло из пяти крупных опорных блоков, четыре из которых использовались как производственные площадки, а один под жилье. Эти сооружения эксплуатировались на глубинах до 40 м [4]. При освоении глубин до 80÷100 м были разработаны крупноблочные основания пирамидальной формы. Эти платформы состояли из двух опорных блоков.

Новая конструктивная форма МСП-3 проектировалась для глубин моря 110÷120 м. Принципиальное отличие от предыдущих платформ достигалось применением более разреженной решетки за счет применения труб больших диаметров до 1420 мм и использования бесфасоночного узлового соединения стержней с полной заводской готовностью блоков. Блоки буксировались к точке установки на плаву. Общая масса блока составляла 2600 т. Габариты блока: высота – 144 м; размер по верху – 49×16 м; размер по низу – 74,4×40,4 м. Каждый блок имел 10 стоек. Крепление блока осуществлялось двумя типами свай: забивными и буро-забивными [1; 5].

Последующие этапы характеризовались увеличением осваиваемых глубин. МСПТ-8, например, была запроектирована уже для глубин 180 м. В качестве примера приведем технические характеристики опорного блока МСП №16, которая проектировалась для эксплуатации с глубиной моря более 200 м.

Эти данные были использованы в качестве иллюстрации теоретических исследований поведения опорного блока при волновом силовом воздействии.

Опорный блок представляет собой пространственную конструкцию переменного сечения прямоугольную в плане. Опорные колонны платформы выполнены из 16-ти труб распределенных на прямоугольном плане 110×99 м в нижнем сечении и 60×49 м в верхнем сечении платформы. Несущие колонны выполнены из труб диаметром 200 см с кусочно-переменной толщиной $\delta = 4\div 2,6$ см.

Несущие элементы платформы соединены вертикальной и горизонтальной решеткой в десяти ярусах. Общая высота опорного блока МСП – 250 м. Высота одного яруса – 25 м.

Первые платформы на шельфах Азовского и Черного морей строились на глубинах 24÷30 м по разработкам НИПИГидроморнефтегаза.

Особенностями освоения шельфа было то, что в регионах месторождений на Азовском море в суровые зимние периоды температура снижалась до (-36)°С. Средняя толщина льда в море достигала 50 см. Максимальное число дней со льдом в Азовском море доходило до 140÷150. Северо-западная часть Черного моря (глубины 30÷40 м) в зимнее время также подвергалась замерзанию. Ледовый режим характеризовался образованием собственного и наличием нагонного льда [3]. Вследствие этого платформы для Азовского моря и замерзающей части Черного моря должны были проектироваться с учетом действия льда, если предполагалась круглогодичная эксплуатация, либо быть съёмными на зимний период.

Первые платформы и были таковыми демонтируемыми. Очевидно, что для разведочного бурения можно было монтировать съёмные блоки, а вот для стадии эксплуатации такой подход производителям не устраивал. Для решения этой проблемы ВНИПИшельф предложил несколько вариантов ледостойких платформ [7; 8]: Платформы имели независимые опорные ледостойкие колонны, изготовленные из стального листового и продольного проката. В зоне действия льда толщина листового проката достигала 25 см. Оголовки несущих опорных колонн на уровне верхнего строения связывались системой перекрестных балок. Эти варианты компоновки ледостойких МСП характеризовались повышенным расходом стали и значительной трудоёмкостью.

Более технологичный и ресурсосберегающий вариант был реализован при строительстве ледостойкой МСП «Каркинитская-19» [7]. Это морское гидротехническое сооружение состояло из двух опорных блоков (производственного и жилого), соединённых переходным мостиком длиной 50 м. Глубина моря в месте установки – 28 м. Опорный производственный блок имел размеры в плане 31×20 м с шестью опорными колоннами из труб 1420×15,7 мм, через которые были забиты сваи диаметрами 1020×11 и 812×22 мм в дно на глубину 30 м.

Однако несущей способности этих свай не хватало для восприятия давлений от навала ледовых полей. Для ликвидации этого дефицита в МСП при работе на сдвиг устроили дополнительное свайное поле. Все опорные колонны были заполнены бетоном, что собственно и создало эффект ледостойкости. Аналогов подобного решения конструкции ледостойкой платформы в мировой практике не было.

Ранее рассматривались очень жесткие конструктивные элементы с соотношением высоты элемента к диаметру, равным 1 [9]. Опорные колонны

МСП «Каркинитская-19» имели отношение длины к диаметру равным 19. Исследования показали, что деформирование опорных колонн такой гибкости происходит с развитием пластических деформаций и явлениями продольно-поперечного изгиба.

Как справедливо отмечалось, «... предложенные конструктивные формы были внедрены при строительстве и эксплуатации первых отечественных ледостойких платформ на Азово-Черноморском шельфе, что позволило создать новое нетрадиционное направление в области освоения замерзающих акваторий для малых и средних глубин, являющееся существенным научно-техническим потенциалом для перехода к строительству платформ на Арктическом шельфе...» [7].

Конструктивные положительные особенности сталебетонных конструкций проявляются и в сравнении с традиционными железобетонными [10; 11]:

- большая несущая способность при наличии растягивающих напряжений, особенно при изгибе;
- сохранение водонепроницаемости; высокая деформативность;
- нергопоглощение под нагрузками;
- технологичность.

Использование таких конструкций определило новое прогрессивное направление в научных конструкторских и проектных разработках института [5]. Эта конструктивная форма становится перспективной при освоении шельфов северных морей, например, Штокмановского газоконденсатного месторождения, расположенного в северо-восточной части Баренцева моря на глубинах 320÷359 м.

Максимальная высота волн в этом месте достигает 24 м. В холодный период возможно появление дрейфующих льдов и айсбергов. Толщина льда может достичь 1,8 м. Варианты конструкторских работ МСП, предназначенных для освоения шельфов северных морей, были представлены отечественными фирмами: ВНИПморнефтегаз, ЦПКБ МТ «Рубин», ЦКБ «Лазурит» [12]. ВНИПморнефтегаз и ЦПКБ МТ «Рубин» предложили пять типов стационарных ледостойких платформ [12]. ЦКБ «Лазурит» предложил использовать при освоении Штокмановского месторождения всплывающий терминал, который представляет собой вертикально расположенную емкость, окруженную наружным корпусом, заканчивающимся сверху ферменной конструкцией, на конце которой размещены груз и балластная цистерна. Терминал может погружаться по команде блока управления.

Интерес к композитным конструкциям (сочетание трубы и бетона) возрос и на Западе [13], но, как правило, при использовании этого конструкционного материала в опорных блоках МСП стремятся избегать продольно-поперечного изгиба при силовых воздействиях [5].

Одним из важных и ответственных вопросов обеспечения прочности и устойчивости морских

гидротехнических сооружений является крепление их к морскому дну. В качестве несущих опор морских оснований применяются трубоцементные анкерные сваи [14].

Первые бурозаливные сваи с трубчатой арматурой были применены для крепления островных сооружений на морском месторождении около острова Артема в 1935 году.

Забивная свая используется при всех грунтовых условиях (кроме скального грунта) при вертикальной критической нагрузке не более 1000 кг при необходимости усиления сечения сваи, через забитую сваю разбуривается грунтовая пробка и опускается дополнительная анкерная труба и заливается цементным раствором.

Бурозаливная свая применяется в случаях, когда грунты, слагающие дно моря, плотные и устойчивые от осыпания. В этом случае через внутреннюю стенку пояса блока пробуривается шурф на дне моря до проектной отметки и в шурф опускается анкер. Затем вся полость шурфа и внутренняя стенка заливается цементным раствором.

Комбинированная свая применяется, когда в верхний слой грунта пробуривается шурф до проектной отметки. Затем в шурф вставляется дополнительный анкерный сердечник и производится заполнение всей полости цементным раствором.

В качестве примера можно привести варианты конструктивного решения крепления опор блоков МСП, когда стойка опорного блока заполнена не на всю длину и когда все полости труб, свай и опор блока заполняются цементным раствором. Таким образом, иногда получается сложный комплекс, включающий в себя несколько слоев стальных труб и цементный сердечник [14].

Конструктивный элемент, состоящий из труб, заполненных цементным камнем является одним из представителей целого класса комплексных конструкций, основным из которых являются трубобетонные-сталебетонные стержневые элементы [15].

Область применения трубобетонных конструкций обширна. Наиболее они выгодны там, где действуют значительные сжимающие нагрузки. При использовании их в гидротехнических сооружениях проявляются все положительные свойства таких композитов [16]. При строительстве МСП трубобетонные конструктивные элементы используются как для свай так и для несущих опор блоков. Так отмечается, что композиционный материал сталь-бетон-сталь способно выдерживать большие гидростатические нагрузки наряду с горизонтальным действием льда [5]. Преимуществами сталебетонных конструкций по сравнению с традиционными железобетонными являются:

- большая несущая способность при наличии растягивающих напряжений, особенно при изгибе, с сохранением водонепроницаемости;
- высокая деформативность и энергопоглощение под нагрузкой, высокая технологичность.

Эксплуатация решетчатых опорных блоков МСП, изготовленных из стального трубного проката, показала, что при навале швартуемого судна возможно появление местных вмятин на опорных стойках, снижающих предельные значения продольных усилий.

Заполнение внутренних полостей труб опорных колонн и сжатых раскосных элементов позволяет выполнить простое и эффективное усиление. Следует подчеркнуть, что полые трубы МСП требуют специальных мероприятий по борьбе с электрохимической коррозией внутренних и внешних полостей и поверхностей элементов решетки. Уменьшение поперечного сечения труб за счет этого явления ощутимо снижает несущую способность МСП. Тампонирующее заполнение внутренних полостей бетоном или цементным раствором снижает скорость коррозии [7].

Широкое и разнообразное использование комплексных конструкций в строительстве стало возможным благодаря научным исследованиям в области прочности и устойчивости композитных элементов отечественных ученых: Б.М. Броуде, А.А. Гвоздева, А.Т. Дободугло, А.А. Долженко, А.И. Кикина, Г.П. Передерия, В.А. Росновского, Р.С. Санжаровского, Л.И. Стороженко, В.А. Трулля и др., в области гидротехнического строительства – Р.М. Гаджиева, А.М. Джафарова, А.С. Салимова, И.Г. Захарова и др.

Однако, следует отметить, что при всей многочисленности исследований самых разнообразных аспектов поведения трубобетонных опорных элементов платформ, неисследованной областью осталась работа конструктивных элементов платформ при одновременном действии продольной и поперечной нагрузок. Такой характер нагружения для опорных блоков МСП является обычным в процессе их эксплуатации на месторождениях.

Практически все конструктивные элементы блоков подвергаются мощному воздействию внешних сил статического и динамического характера.

Особенно невыгодной, с точки зрения несущей способности, является работа сжатых конструктивных элементов, предельное состояние которых может наступить по потере общей устойчивости.

Математическое моделирование поведения сжатого трубобетонного элемента платформы при сложном нагружении продольными и поперечными силами вызывает значительные трудности. Поэтому исследователи ограничились при определении максимальной несущей способности применением упрощенной расчетной схемой внецентренно-сжатого стержня, заменяя действие поперечной нагрузки действием эквивалентных концевых моментов. В случае трубобетонных элементов это вряд ли допустимо, поскольку уже с начальных уровней нагружения на результатах деформирования начинают сказываться нелинейные эффекты и результаты расчетов по упрощенной схеме МСП получаются не адекватными действительному уровню предельного состояния, возникаю-

щого под действием внешних воздействий различной направленности. Неудовлетворение от использования схемы внецентренно сжатого стержня возрастает при расчете несущей способности трубобетона с учетом воздействия морских волн. В связи с этим возрастает важность проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований процесса деформирования при одновременном действии нескольких внешних факторов.

Выводы

Анализ развития конструктивных форм МСП, представленных в кратком обзоре и исходя из отечественного опыта, позволяет сделать выводы:

- гидротехнические сооружения, классифицируемые по степени податливости, имеют практически одинаковые отношения ширины платформы к ее высоте. Так, например, при проектировании гравитационных платформ, рекомендуется придерживаться средних значений параметров высоты и ширины платформы;
- глубины месторождений в 300÷400 м становятся предельными глубинами для платформ 1-й и 2-й группы;
- жесткость этих платформ не обеспечивала снижение общей податливости сооружения, даже для сооружений первой группы;
- наиболее перспективной конструктивной формой опорных блоков МСП следует признать композицию из стальной оболочки с заполнением внутренних полостей бетоном. Эта форма наиболее технологична и наиболее приспособлена к восприятию волновых и ледовых нагрузок.

Список литературы

1. Ибрагимов А.М. Нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения / А.М. Ибрагимов. – М.: Недра, 1996. – 96 с.
2. Ибрагимов А.М. Нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения для освоения шельфа / А.М. Ибрагимов. – М.: Недра, 1992. – 17 с.
3. Асан-Нури А.Д. Морское бурение / А.Д. Асан-Нури. – М.: БСЭ, 1950, изд. II, т. 28.

4. Оруджев С.А. Трубопроводное крупноблочное основание морских буровых / С.А. Оруджев. – М.: Госпоттехиздат, 1967.

5. Шеховцов В.А. Несущая способность морских стационарных платформ / В.А. Шеховцов, И.Г. Гусейнов. – С-Пб., 2003.

6. Особенности создания морских стационарных платформ в условиях Азов-Черноморского региона // Газовая промышленность. Серия: Бурение морских нефтегазовых скважин. – М., 1986, № 2.

7. Берникер Я.С. Направление совершенствования конструктивно-компоновочной формы стационарных платформ в аспекте их монтажеспособности // В кн.: Морские сооружения континентального шельфа. – Севастополь, 1989.

8. Рыжаков Н.Н. Основные требования, предъявляемые к конструкциям морских ледостойких платформ // В кн.: Морские сооружения континентального шельфа. – Севастополь, 1989.

9. Shioga T. Development of Composite Members for Artic Offshore Structures / T. Shioga, O. Matsumoto, T. Okada // VTT Symp, 1986, № 71.

10. Знаменский А.В. К расчету конических ледостойких платформ на ледовые и сейсмические воздействия / А.В. Знаменский, М.М. Ефремов // Морские сооружения контин. шельфа (мат. конф.). – Севастополь, 1989.

11. Волков Ю.С. Сооружения из бетона на континентальном шельфе / Ю.С. Волков, И.И. Рыбаков. – М.: Стройиздат, 1985.

12. Васильев А.В. Добывающие комплексы для освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения на Баренцевом море / А.В. Васильев, А.Г. Лецев, О.К. Эделев // В кн.: Технические средства освоения шельфа. – Вып. 2. – Н. Новгород, 1995.

13. Shioga T. Development of Composite Members for Artic Offshore Structures / T. Shioga, O. Matsumoto, T. Okada // VTT Symp, 1986. – № 71.

14. Салимов С.В. Несущая способность конструкций анкерных свай морских гидротехнических сооружений. – Дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 1993.

15. Chioya T. Development of Composite Members for Artic Offshore Structures / T. Chioya, O. Matsumoto, T. Ota // VTT Symp, 1986. – № 71.

16. Архипов А.М. Турбинные водоводы со стальной оболочкой / А.М. Архипов. – Л.: ВНИИГ, 1973.

Поступила в редколлегию 5.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.Ш. Курбанов, Азербайджанская государственная нефтяная академия, Баку.

ВІТЧИЗНЯНИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ КОНСТРУКТИВНИХ ФОРМ МОРСЬКИХ СТАЦІОНАРНИХ ПЛАТФОРМ

Рзаев Хазайл Нураддин огли

З кінця 70-х років минулого сторіччя бурхливими темпами розвивається найпотужніший науково-промисловий комплекс з освоєння вуглеводневих паливних родовищ на шельфі морів і океанів. Найважливішою проблемою було забезпечення видобутку нафти і газу з великих глибин в різних кліматических умовах. Результати вирішення цієї проблеми, насамперед, залежали від вирішення головного завдання - забезпечення в необхідних обсягах будівництва морських стаціонарних платформ (МСП) для буріння та видобутку на глибинах моря в 200 ÷ 300 м

Ключові слова: буріння, вишка, нафта, глибина, платформа, підстава, опора родовище, шельф, Каспійське море.

DOMESTIC EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE FORMS OF FIXED OFFSHORE PLATFORMS

Rzaev Khazail Nuraddin ogly

Since the late 70-ies of the last century the rapid growth of the most powerful scientific-industrial complex for the development of hydrocarbon fuel deposits on the shelf of the seas and oceans. The most important issue was to ensure oil and gas from great depths in a variety of climatic conditions. The results of solving this problem, first of all, depended on the solution of the main task - to ensure the required amounts of construction of fixed offshore platforms (FOP) for drilling and mining at depths of 200 ÷ 300 m.

Keywords: drilling rig, oil, depth, platform, base, bearing field, offshore, Caspian sea.