

УСТОЙЧИВОСТЬ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ ШЕЛЬФЕ

Пшеничная-Ажермачёва К.С., инженер

*Национальная академия природоохранного и курортного
строительства, Симферополь, Украина*

Постоянный рост потребления нефти и газа требует более интенсивной разработки месторождений. Материковые запасы углеводородов Украины в настоящее время могут обеспечить лишь 25-30% потребности.

В разработанной Кабинетом Министров Украины программе предусмотрено к 2030 г. довести собственную добычу углеводородов до 90%. Увеличение добычи нефти и газа геологи связывают с интенсивным освоением запасов углеводородов на шельфе Черного и Азовского морей.

Азово-Черноморский шельф – это специфический регион, где могут проявляться землетрясения силой 6-9 баллов по шкале Рихтера; где имеют место сложные гидрогеологические условия – многометровые сильно обводненные илы, просадки и оползни подводных грунтов, газогрязевые вулканы; зимой в Азовском море образуются ледовые поля с толщиной льда до 50 см. При суровых зимах лед может наблюдаться и на Черном море. Кроме того, воды Черного моря насыщены сероводородом, концентрация которого с глубиной возрастает.

Государственной программой предусмотрено расширение поиска новых месторождений, в т.ч. в глубоководной части моря, увеличение эффективности отбора углеводородов из пластов за счет применения новых конструктивных и технологических решений гидротехнических сооружений – морских платформ [1]. При этом поставлены жесткие экологические требования, невыполнение которых может привести к большим отрицательным последствиям или даже катастрофам. Тому примером может быть катастрофа, произошедшая 21 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе на платформе «Deerwater Horizon», в результате которой в залив вылилось 670 000 т нефти (из них лишь 110 000 т нефти было поднято всеми средствами борьбы с разливом). Нефтяное пятно распространилось на площади порядка 75 000 км². Для сравнения: это приблизительно 20% поверхности Черного моря, притом, что более ста судов боролись с разливом нефти. Окончательный ущерб от

произошедшей катастрофы еще не подсчитан, но он будет значительно больше 40 млрд долларов, учитывая, что возможности Мексиканского залива на несколько порядков больше возможностей Черного моря.

Поэтому надежная работа морских гидротехнических сооружений, их устойчивость являются особенно актуальными для Азово-Черноморского шельфа.

В 1970-х гг. в Азовском море, недалеко от Арабатской стрелки было открыто большое месторождение газа. Специалистов привлекало близкое расположение от берега, а также то, что глубина моря на месторождении составляет всего 5-6 м.

На этом месторождении Министерство нефтяной и газовой промышленности СССР решило построить добывающую железобетонную платформу.

Использование железобетона для этого сооружения, можно предположить, обуславливалось рядом его свойств, в частности, хорошей стойкостью при низких температурах; низкой стоимостью при обслуживании; малой термической деформацией; хорошей огнестойкостью; небольшой чувствительностью бетонной конструкции к вибрации, благодаря чему уменьшается количество повреждений оборудования; коррозионной стойкостью и т.п.

Проект морской платформы предусматривал составить ее из трех блоков: основного, имеющего железобетонную опору, и двух временных, расположенных с двух сторон железобетонной опоры, выполненных из стальных пространственных конструкций и используемых только на период бурения скважин. На них предполагалось располагать технологическое оборудование при буровых работах. При начале ледостава эти блоки должны были быть демонтированы. После проходки скважин на месторождении должна остаться только железобетонная платформа, которая обеспечивала добычу углеводородов.

Однако при разработке рабочего проекта специалисты столкнулись с проблемой определения ледовых нагрузок на железобетонную опору платформы при подвижке ледовых полей, которая ежегодно наблюдается в акватории Азовского моря. Отсутствовала информация о прочности льда, скорости воздействия ледового поля на сооружение, влиянии формы опоры, оледенении опоры и т.п. Существовавшие в то время нормы проектирования гидротехнических сооружений при ледовых воздействиях [2] не позволяли получить объективную картину напряженно-деформированного состояния сооружения в конкретных условиях, т.к. в основу данных норм были заложены результаты исследований ледоходов на реках, а опыта проектирования ледостойких морских платформ в стране не было.

Было решено построить сначала железобетонную опору морской платформы, провести с ее помощью натурные исследования по определению возможных ледовых нагрузок [3], а после проведенных исследований использовать ее в качестве рабочей части ледостойкой морской платформы при освоении месторождений для добычи углеводородов.

В 1975 г. в акватории Азовского моря на Стрелковском месторождении была построена железобетонная опорная часть будущей платформы. На нее установили соответствующую измерительную аппаратуру, которая должна была зафиксировать максимальные ледовые нагрузки в данную зиму. Исследования в зиму 1975-76 гг. прошли успешно, и было решено их повторить в зиму 1976-77 гг. Однако зимой 1976-77 гг. произошел аварийный наклон железобетонной опоры под воздействием движущегося льда (рис.1).



Рис.1. Аварийный наклон железобетонной опоры под воздействием льда

Обследование придонной части железобетонной опоры летом 1977 г. показало, что грунт под опорой размывает полностью, а сваи, закрепляющие опору к морскому дну, оголены до двух метров.

Материалов отчета об обследовании наклонившейся опоры не сохранилось. Анализа напряженно-деформированного состояния свай также не обнаружено.

Изучение материалов рабочего проекта железобетонной опоры позволило реконструировать процесс размыва грунта в ее основании.

Опора представляла собой открытый цилиндр, установленный непосредственно на морское дно и закрепленный 16 стальными трубчатыми сваями, проходящими через отверстия в стенках цилиндра. В плане опора представляла собой многогранник диаметром 7,84 м. Это довольно широкая преграда для пропуска штормовых волн, учитывая, что глубина моря в месте ее установки составляла 5 м. При набегании

волна поднималась по опоре вверх и обрушивалась на грунт у основания опоры многотонной массой [4, 5]. От удара этой массы воды илистый грунт размывался и уносился течением по боковым сторонам опоры. Скорость течений в этих зонах была значительно выше, чем общее течение. Со временем произошел подмыв грунта под цилиндрической стенкой опоры и образовался «сообщающийся сосуд»: море – внутренняя часть опоры. Теперь картина размыва несколько изменилась. При набегании волны на опору на внешней стороне цилиндра создавалось давление воды, значительно превышающее давление воды во внутреннем пространстве цилиндра. Вода под большим давлением устремлялась внутрь цилиндра, дополнительно размывая ил в основании. Затем наблюдалась обратная картина, когда масса воды из цилиндра устремлялась наружу, вынося захваченные течением частицы грунта.

В результате за лето 1976 г. произошел размыв площадью более 100 м², оголив сваи до двух метров (рис.2) [6].

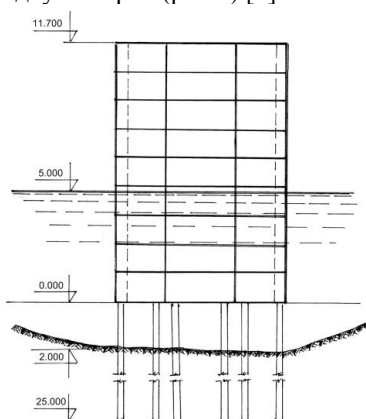


Рис.2. Размыв грунта у железобетонной опоры (реконструкция)

В разработанном проекте предполагалось, что сваи будут работать только на продольные усилия. Но после размыва грунта и оголения свай их расчетная модель в корне изменилась. Кроме продольных усилий сваи должны воспринимать и горизонтальные воздействия при подвижке льда.

Если в первую зиму, когда не было размыва грунта (или столь сильного размыва), опора выдержала ледовые нагрузки 478 т, зафиксированные приборами, то в следующую зиму свайное закрепление уже не могло противостоять ледовым воздействиям.

При горизонтальных нагрузках верх сваи отклоняется, передавая давление на верхние слои грунта. В этих слоях увеличивается поровое давление, что может вызвать разжижение грунта на границе свая-грунт. Это вызывает не только увеличение изгибающего момента от поперечной силы, но и рост дополнительного изгибающего момента от продольной силы в результате отклонения головы сваи [7]. Проведенные исследования показывают, что при определенных условиях величина дополнительного момента от продольной силы может оказаться соизмеримой с изгибающим моментом от поперечной нагрузки, а в некоторых случаях – и превосходить его. Это в первую очередь зависит от грунтовых условий и жесткости сваи.

Подобную картину наблюдали при разрушении стальной опоры на шельфе КНР [8], а также при натуральных полномасштабных испытаниях свай на горизонтальные нагрузки в акватории бухты Анахейм в США [9].

В настоящее время на Азово-Черноморском шельфе несколько самоподъемных платформ ведут разведочные работы. В ближайшее время их парк должен возрасти за счет отечественных и приобретенных за рубежом платформ. Этот класс сооружений обеспечивает устойчивость за счет собственного веса, опираясь на специальные башмаки. Учитывая грунтовые условия (многометровые илы и т.п.) и возможность сейсмических проявлений, могут создаваться условия разжижения грунта под опорными башмаками в результате увеличения порового давления, что может привести к просадкам опор и, как результат, вызвать создание аварийных ситуаций.

Ввиду экологических особенностей Черного и Азовского морей и большой стоимости морских гидротехнических сооружений (более 150-200 млн долларов), проблема их устойчивости требует особого внимания.

Выводы

1. Определены главные факторы, которые привели к потере устойчивости ледостойкой железобетонной опоры на шельфе Азовского моря.

2. Фактически замеренные нагрузки при подвижке льда превысили определенные по [2] на 40-50%.

3. Морские гидротехнические сооружения для разведки и добычи углеводородов на шельфе морей имеют большую стоимость и могут быть экологически опасными.

4. Обеспечение нормальной эксплуатации этих сооружений возможно только при тщательной проработке проекта с учетом всех возможных отрицательных ситуаций, которые могут возникнуть на протяжении их жизненного процесса.

Summary

Features of a shelf of the Black and Azov seas are considered. Factors which can affect reliable operation of the sea hydraulic engineering constructions providing investigation and production of hydrocarbons on sea fields in this region are specified.

Литература

1. Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А. и др. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. // Л., Судостроение, 1989. – 328 с.
2. СНиП II-57-75. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). // М., Стройиздат, 1976. – 40 с.
3. Дудук Э.Ф., Макаенко В.И., Копайгородский Е.М., Евдокимов Г.Н. Исследование ледовых нагрузок на морские газопромьсловые сооружения в Азовском море. // Нефтепромысловые сооружения. №10. 1978. – с.7-10.
4. Ибрагимов А.М. Гидротехнические сооружения при шторме. // Азерб. Баку, 1968. – 176 с.
5. Kjeldsen S.P. Shock Pressures from Deep Water Breaking Waves. // Proc. Int. Conf. on Hydrodynamics and Ocean Engineering Trondheim. Norway. 1. 1981 – pp.567-584.
6. Ажермачёва К.С. О причинах наклона опытного ледостойкого основания в акватории Азовского моря. // Збірник наукових праць Українського інституту імені В.М. Шимановського. Вип.7. Видавництво «Сталь». Київ, 2011. – с.6-11.
7. Пшеничная-Ажермачёва К.С. Работа свайного основания МСП при размыве грунта. // Строительство и техногенная безопасность. Материалы Международной научно-практической конференции «Геостойкое строительство». Вып.39. НАПКС, Симферополь, 2011. – с.66-72.
8. Janbu N., Xu Jizu, Grande L. The collapse of a flare jacket subjected to ice loads. // Behav offshore Struct. Proc. 3rd Int. Conf. Cambridge. Mass. 1982. Vol.2. Washington e.a. 1983. – pp.401-414.
9. Scott R.F., Tsai C.F., Steussy D., Ting J.M. Full scale dynamic lateral pile tests. // 14th Annu. Offshore Technol. Conf. Houstos. Tex. 1982. Vol.1. Dallas. Tex. 1982. – pp.435-450.