

21. Soboleva Ye. V., Pupylnina V. V. Vliyaniye migratsionnykh protsessov na sostav neftyanykh flyuidov neokomskogo kompleksa Urengoyского нефtegazokondensatnogo mestorozhdeniya [Influence of migration processes on the composition of oil fluids of neocomian complex of Urengoy oil and gas deposit]. *Novye idei v geologii i geokhimii nefiti i gaza. K sozdaniyu obshchey teorii neftegazonosnosti nedr. Kniga 2* [New ideas in geology and oil and gas geochemistry. To creation of the general theory of oil and gas bearing bowels. The book 2], Moscow, GYeOS Publ., 2002, pp. 204–206.

22. Sokolov B. A., Guseva A. N. O vozmozhnosti bystroy sovremennoy generatsii nefiti i gaza [About possibility of the fast modern of oil and gas generation]. *Istoriya nefiti v osadochnykh basseynakh* [History of oil in sedimentary basins], Moscow, Interprint Publ. House, 1994, pp. 48–56.

23. Yeremenko N. A. (ed.) *Spravochnik po geologii nefiti i gaza* [The directory on oil and gas geology], Moscow, Nedra Publ., 1984, pp. 414–444.

МОНИТОРИНГ ОСНОВАНИЯ САМОПОДЪЁМНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Шереметов Иван Михайлович

кандидат технических наук, государственный строительный эксперт

АУ АО «Государственная экспертиза проектов»
414000, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Коммунистическая/
Советская/Ленина, 2-4/20/21
E-mail: shrmtv@mail.ru

Запасы углеводородного сырья на континентальном шельфе представляют серьёзный экономический интерес. В настоящее время предъявляются повышенные требования к надёжности функционирования оборудования для морской разведки и добычи полезных ископаемых. Поскольку угроза повреждения конструкций и оборудования определяет уровень экологических рисков. Для разведки и разработки месторождений на морском шельфе наиболее популярно применение самоподъёмной буровой установки (СПБУ) типа Jack (Jack-Up Rigs). Для таких платформ разрабатываются методики расчётов, призванные обеспечить их надёжность. Прогнозирование процесса взаимодействия системы «СПБУ-основание» включает выполнение расчётов устойчивости основания. Методологическая сторона проблемы прогнозирования поведения основания опор СПБУ при сложном нагружении изучена достаточно хорошо. Но процесс погружения опор СПБУ в донный грунт сопровождается развитием областей пластических деформаций, перетеканием грунтовых масс, формированием зон уплотнения и разуплотнения. Это обуславливает существенные изменения параметров грунта. В рамках данной задачи необходимо обеспечить достоверность определения прочностных характеристик подстилающих грунтов донных отложений в любой момент времени. С этой целью предлагается осуществлять геотехнический мониторинг основания опор СПБУ с применением геофизических методов. Георадарное подповерхностное зондирование представляется наиболее практичным методом оперативной регистрации изменений параметров грунтов под опорами СПБУ. Геотехнический мониторинг состояния грунтов подстилающих опоры обеспечит своевременное получение информации для прогноза поведения системы «СПБУ-основание» под воздействием внешней нагрузки. Это является залогом безаварийной эксплуатации сооружения и, как следствие, предоставляет возможность предотвращения повреждения бурового инструмента, авария которого приводит к негативным экологическим последствиям.

Ключевые слова: шельф, геофизика, мониторинг, самоподъёмная плавучая буровая установка, устойчивость

MONITORING BASE JACKUP RIGS OF GEOPHYSICAL METHODS

Sheremetov Ivan M.

C. Sc. in Technology, State construction expert

AU JSC "State Expertise of Projects"

2-4/20/21 Kommunisticheskaya/Sovetskaya/Lenin st., Astrakhan, 414000,

Russian Federation

E-mail: shrmtv@mail.ru

Stocks of hydrocarbons on the continental shelf are interesting from the point of view of economy. The requirements for reliability of the equipment for the offshore exploration and production of minerals increased currently, because the risk of damage to structures and equipment determines the level of environmental risk. Jack-up rig (SFDR) is the most popular for exploration and development of offshore fields. Calculation methods are developed for these platforms to ensure their reliability. The forecasting of the interaction of the "jack-up-rigs-ring-base" includes the calculations of stability. Methodological aspects of the problem of forecasting the behavior of the base of supports of jack-up-rigs at complex loading is rather well investigated. But the process of immersion Jack-up-rigs supports in the bottom accompanied by the appearance of areas of plastic deformations, overflowing of ground masses, and formation of the areas of sealing and decompression, which leads significant changes of parameters of the soil. Within this task it is necessary to ensure the accuracy of determining the strength characteristics of the underlying soil sediment at any time. For this purpose it is proposed to carry out geotechnical monitoring of foundation supports of jack-up-rig using geophysical methods. Georadar subsurface sounding is the most practical method for rapid registration of changes in the parameters of soils under the jack-up supports. Geotechnical monitoring of soils which underlying the support will provide timely information to predict the behavior of the "jack-up-basis" under the influence of an external load. This is the key to trouble-free operation of the facility and as a result it provides the ability to prevent damage of the drill string the accident of which leads to the negative environmental impacts.

Keywords: shelf, geophysics, monitoring, self-elevating floating drilling rig, stability

Запасы нефти и газа, открытые на суше, неуклонно истощаются. В то же время потребление этих ресурсов растёт. Это обуславливает активные усилия по разведке месторождений углеводородного сырья на континентальном шельфе, которые обеспечат потребности мировой экономики на весьма длительный период. Впервые попытка бурения в море зарегистрирована в 1869 г., когда патент на проект буровой установки для работы на мелководье получил Т. F. Rowland. Пионерный опыт работы на более серьёзных глубинах был приобретен в Мексиканском заливе в конце 40-х гг. прошлого века. В тот же период в Каспийском море была заложена буровая платформа «Нефтяные камни». Эволюция буровых платформ прошла путь, начиная с простейших стационарных бурильных установок до разных типов плавучих платформ. Эти платформы позволяют осуществлять разведку и добычу на глубинах до 3 км.

Мобильные буровые установки (Moveable Offshore Drilling Rigs) функционально делятся на платформы, предназначенные для разведки, и платформы, оснащённые для разработки очередного месторождения. Самоподъёмная платформа типа Jack (Jack-Up Rigs) является наиболее популярной при использовании на морском шельфе. В отечественной практике эта установка имеет аббревиатуру СПБУ (самоподъёмная плавучая буровая установка).

С позиций экономики СПБУ характеризуются наиболее низкой арендной стоимостью по сравнению с другими подвижными буровыми платформами, а также высоким коэффициентом использования календарного времени для выполнения буровых операций (до 85 %). Поскольку бурение может производиться практически при любых метеоусловиях. К преимуществам СПБУ относятся большой диапазон глубин моря и возможность опирания колонн на грунты различной плотности. Причем подготовки грунтового основания не требуется.

Основной конструктивной особенностью таких платформ является наличие выдвижных опор, опускающихся в период разработки на морское дно. К.Н. Шхинек предложил классификацию рассматриваемых сооружений по конструктивным признакам [12]. Самоподъемные плавучие буровые установки трёх и четырёхопорные получили наибольшее распространение в отечественной и зарубежной практике нефтегазоразведки в шельфовой зоне морей и океанов на глубинах от 60 до 120 м. Например, на каспийском шельфе работает установка «Астра» (рис. 1а), принадлежащая компании «БКЕ Шельф». Эта компания входит в Eurasia Drilling Company, EDC. Та же компания приобрела установку Trident XX, чем укрепила свои позиции в Каспии. Это не единственный игрок на данном буровом рынке. Конкурирующая на этом поприще компания из Объединенных Арабских Эмиратов Dragon Oil, разрабатывающая в туркменской зоне контрактный блок Челекен, сделала тоже ход и заказала новую СПБУ китайским судостроителям. Свои планы в регионе при взаимодействии с прикаспийскими государствами строят также компании из Малайзии, Великобритании, Нидерландов и пр.

Таким образом, на фоне сложных дипломатических переговоров о демаркации национальных секторов Каспийского моря между Россией, Казахстаном, Туркменистаном, Азербайджаном и Ираном, никто не занимает выжидательную позицию. Напротив, разработка шельфа активизируется. Следовательно, повышаются риски, сопряжённые с применением буровых платформ. Среди геологических процессов в качестве опасных факторов для нефтегазопромышленных шельфовых сооружений можно выделить геодинамические (связанные с сейсмической опасностью), палеогеографические и гидрометеорологические причины [8]. Угроза повреждения конструкций и оборудования – первое звено в цепи рисков, связанных с освоением континентального шельфа.

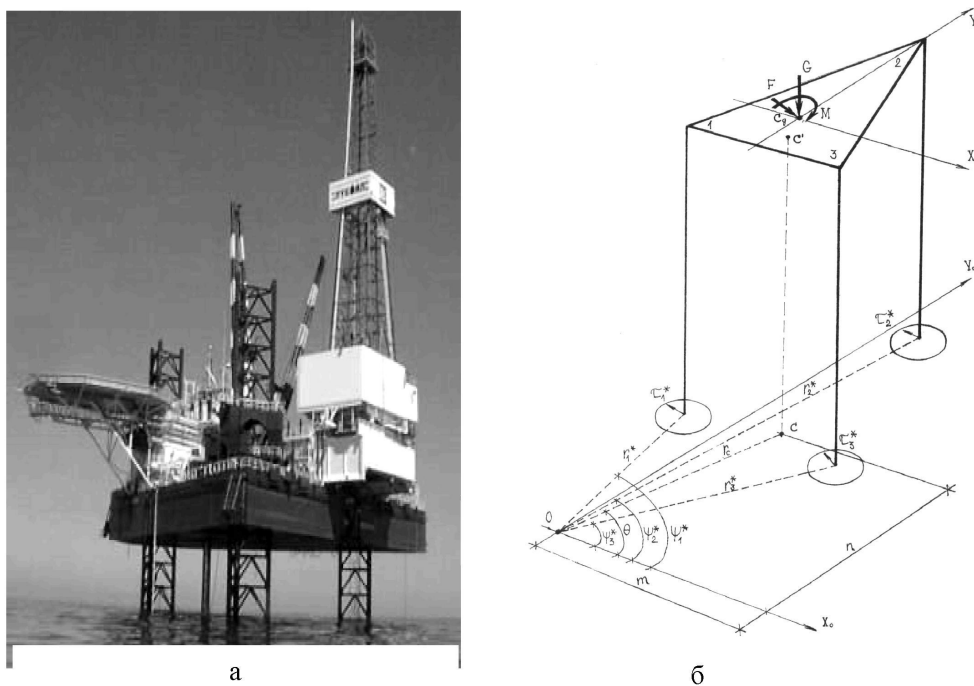


Рис. 1. СПБУ: а) общий вид, б) расчётная схема

Проведение разведочного и эксплуатационного бурения в акватории морей и океанов сопряжено с вмешательством в уравновешенный механизм сложившейся экосистемы. Негативный опыт был приобретён в данной области на Каспии (1983–1985, 1991 гг.) и на других морских шельфах (например, Мексиканский залив, 2010 г.). Именно поэтому в настоящее время предъявляются повышенные требования к надёжности функционирования оборудования для морской разведки и добычи полезных ископаемых.

На достижение этой цели направлены методы прогнозирования взаимодействия буровой установки с грунтом морского дна, включающие комплекс расчётов и анализ напряжённо-деформированного состояния всех элементов системы. Повреждение бурового оборудования в результате потери устойчивости основания опор платформы является одной из серьёзных причин экологических катастроф.

В настоящее время расчет устойчивости оснований различных сооружений производится по методу предельных состояний с использованием единого критерия обеспечения устойчивости в виде:

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R, \quad (1)$$

где F , R – расчетные значения соответственно обобщённых сдвигающих сил и сил предельного сопротивления; $\gamma_{lc}, \gamma_c, \gamma_n$ – коэффициенты сочетания нагрузок, условий работы и надёжности.

Изучение механизма взаимодействия опорных конструкций СПБУ с грунтом морского дна при внешнем воздействии позволяет сделать вывод о наиболее неблагоприятных ситуациях. Наряду с нештатной ситуацией, вызы-

вающей потерю устойчивости платформы при просадке одной из опор, вызванной размывом грунта либо формированием газовых «карманов», серьезной угрозой является проявление сдвига в плоскости опирания сооружения на донный грунт. Нормативные документы [17] предусматривают выполнение расчётов гидротехнических сооружений не только на поступательный сдвиг, но и на сдвиг с поворотом. Данный подход адаптирован непосредственно для многоопорных сооружений в методике расчета, обеспечивающей соблюдение требований устойчивости, применительно к СПБУ [5]. Расчётная схема для оценки устойчивости платформы с тремя опорами на сдвиг с поворотом показана на рисунке 1 «б», где обозначены:

$\tau_{lim,i}^*$ – усредненные касательные напряжения в центре i -го опорного башмака;

Ψ_i^* – угол между осью X^* (исходящей из полюса O) и радиус-вектором R_i^* ;

Θ – угол между осью X^* и радиус-вектором r_c

угол Θ равен углу наклона сдвигающей силы F к оси Y (Y');

r_i^* – радиус-вектор i -ой опоры, соединяющий центр (полюс) поворота O и геометрический центр подошвы башмака этой опоры;

m и n – координаты полюса O относительно C – центра тяжести эпюр τ_{lim} .

Поскольку бурение скважины является основным эксплуатационным режимом, конструкция сооружения и постановка его на грунт морского дна должны обеспечить надежность выполнения технологических процессов. Первая часть этого вопроса решается на стадии проектирования и строительства корпуса и опор самоподъемной плавучей буровой установки. Удовлетворительное решение второй части достигается надежным прогнозом поведения СПБУ под действием внешних нагрузок. В связи с этим большое внимание уделяется двум аспектам. Во-первых, снижению величины возможной нагрузки на сооружение. Это достигается наиболее благоприятной ориентацией корпуса по отношению к преобладающему направлению ветра, а также подъемом корпуса над уровнем моря на высоту, недостижимую для максимальных волн на период бурения. Во-вторых, обеспечению надежной совместной работы опор и основания, слагаемого грунтами морского шельфа, гарантирующей изменение величины смещения бурового инструмента в допустимых пределах. Для этого колонны снабжены специальным конструктивным элементом – опорным башмаком.

Несущая способность основания башмака опоры СПБУ определяется деформационными и прочностными свойствами грунтов, подстилающих и окружающих заглубленную часть опоры. В отличие от обычного фундамента проектное положение башмака достигается задавливанием его с поверхности донного грунта. Задавливание осуществляется в процессе балластировки СПБУ посредством принятия забортной воды в балластные емкости в количестве, необходимом для создания нагрузок на колонны, превышающих любые эксплуатационные. С погружением колонн в основании протекают сложные процессы отжатия поровой воды, уплотнения-разрыхления грунта и изменения его прочностных и деформационных характеристик. При этом грунт испытывает так называемые сложные нагружения [4]. Полученные результаты приводят к выводу о заметном влиянии первичного нагружения на сопротивляемость донных грунтов вертикальным и сдвигающим усилиям.

Для прогноза осадок сооружений, возводимых на слабых водонасыщенных грунтах, характеризующихся значительной неоднородностью строения, большой сжимаемостью и малой водопроницаемостью, в ряде случаев используются расчетные модели теории консолидации: модель объемных сил и «основная расчетная модель» [1, 7].

В модели объемных сил учитываются возникающие в процессе консолидации силы взаимодействия между компонентами грунта – скелетом и водой – в виде объемных сил. Связь между элементами тензора напряжений в скелете грунта и его деформациями описывается, в основном, зависимостями теории упругости. Изменение объема компонентов определяется закономерностями фильтрации воды, а также условиями неразрывности твердой и жидкой фаз. При этом задача прогнозирования напряженно-деформированного состояния массивов многофазных грунтов под воздействием статических нагрузок сводится к решению уравнений равновесия, геометрических соотношений, физических уравнений для скелета грунта и уравнения консолидации.

В настоящее время корректное применение обобщенной модели объемных сил для прогноза поведения основания опорной части СПБУ затруднено не столько из-за сложности самих расчетных методов, сколько в отсутствии методики экспериментального определения входящих в используемые модели расчетных параметров грунта. Один из путей преодоления указанных трудностей при реализации так называемой основной расчетной модели, предложенной В.А. Флориным, заключается в корректировании характеристик донных грунтов. Эта модель базируется на допущении возможности последовательного протекания в водонасыщенном грунте сначала только деформаций формоизменения, а затем только объемных деформаций. Это приводит к возникновению давления в поровой воде. Оно зависит от суммы нормальных напряжений, в соответствии с принципом гидроемкости Герсеванова.

Возведение ответственных сооружений, передающих на основание значительные силовые воздействия длительное время, потребовало акцентировать большое внимание на нелинейных зависимостях между напряжениями и деформациями. Это повлекло в ряде задач переход к более сложным моделям оснований [15].

Так как при деформировании основания большая часть деформаций – это пластические деформации, то надежное прогнозирование напряженно-деформированного состояния основания возможно только при использовании нелинейных соотношений между напряжениями и деформациями. Эти соотношения формулируются в рамках деформационной теории пластичности или пластического течения. Применительно к нашей задаче этот подход наиболее развит в работах А.К. Бугрова и А.А. Захри [2, 3].

Методологическая сторона проблемы прогнозирования поведения опор СПБУ при сложном нагружении решена. На данном этапе следует обеспечить достоверность исходных данных, необходимых для выполнения прогнозных расчетов с применением указанных методик.

Специфика прогнозирования процессов, происходящих в основании опор СПБУ, заключается в том, что при погружения опорных башмаков в проектное положение характеристики грунта могут существенно меняться. Это обусловлено необходимостью задавливания опор на несколько метров в грунт морского дна, т.е. на глубину соизмеримую с размером опорного баш-

мака. При этом развивается комплекс явлений сопряжённых с уплотнением грунта, переходом локальных областей в пластическое состояние, как следствие, выпором грунта вокруг опор и пр. [6].

Таким образом, полученная с помощью прямых методов информация о состоянии донных грунтов является актуальной лишь на первой стадии постановки сооружения на шельфе. Произвести отбор образцов грунта для определения физико-механических характеристик непосредственно под опорной частью после постановки СПБУ не представляется возможным. В то время как самые существенные изменения параметров основания произошли именно в этой области (рис. 2). Требуется рассмотреть другие возможности систематической корректировки этих данных для выполнения проверочных расчётов. Решение данной задачи представляется возможным в рамках геотехнического мониторинга основания опор СПБУ с применением геофизических методов.

Необходимость подтверждения литологического строения исследуемой площадки и дополнения характеристик основания ответственных сооружений на стадии инженерных изысканий геофизическими методами предусмотрена действующими нормативными документами [18, 19].

Целесообразность применения комплексной оценки свойств оснований с использованием возможностей геофизики для сооружений прочих классов отмечалась ранее [11]. Комплексный подход позволяет исключить упрощения при визуализации литологического сложения рассматриваемой площадки и выявить любые локальные включения в грунтовой толще. Последнее обстоятельство весьма актуально для объектов, имеющих «точечное» опирание. Важность перманентного получения информации о состоянии грунтовой среды на ответственных объектах и возможность обеспечения этого с помощью геофизических методов отмечена при решении других практических задач [13].

Геофизические методы дают наилучшие результаты, когда физические свойства исследуемых и картографируемых пород существенно отличаются от свойств граничащих с ними пород. Для решения задачи обеспечения достоверности информации о геологическом сложении исследуемой площадки в отечественной практике используются различные возможности геофизики.

Плановое положение геологических структур и направление падения кровли сопряжённых пород с отличающимися электрическим сопротивлением и поляризуемостью выявляют методом вертикального электрического зондирования. Применение электрического профилирования позволяет определить положение границ между геологическими телами в латеральной плоскости. Накоплен достаточный опыт определения положения поверхности скольжения и отделения при изучении оползневых процессов [10]. Теряющий устойчивость массив грунта и несмещенные породы за пределами поверхности скольжения различаются электрическими и сейсмическими свойствами. Эти различия сохраняются и в отношении полностью водонасыщенных грунтов, что используется при оконтуривании исследуемых областей.

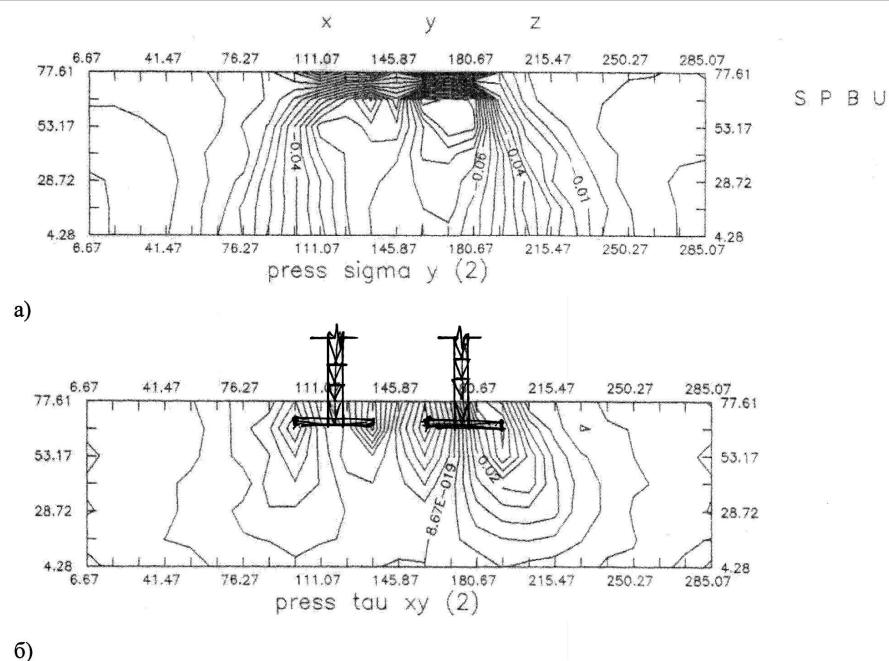


Рис. 2. Изолинии напряжений в латеральной плоскости вокруг опор СПБУ:
 а) нормальные напряжения, б) касательные напряжения

При оценке параметров донных грунтов зарекомендовала себя сейсморазведка [14], а также георадарная съёмка [16]. С помощью микросейсмики определяют мощности рыхлых отложений и их расчленения, проводят исследования условий залегания и состояния скальных и полускальных пород и изучают гидрогеологические условия площадки.

Георадиолокационная съёмка позволяет в результате регистрации сверхширокополосных электромагнитных импульсов, отраженных от границ раздела слоев или объектов, выявлять напластования пород и области с различающимся структурным строением в пределах одного слоя. Георадарное подповерхностное зондирование представляется наиболее практичным методом оперативной регистрации изменений параметров грунтов под опорами СПБУ. На этапе проведения предпроектного исследования дна участка акватории следует тарировать полученные радарограммы. Они используются в дальнейшем на стадии геомониторинга основания по завершении этапа постановки платформы в проектное положение.

Процесс погружения опор СПБУ сопровождается развитием областей пластических деформаций, перетеканием грунтовых масс и формированием зон уплотнения и разуплотнения. Систематическое радиолокационное зондирование обеспечивает возможность определения границ этих зон в любой момент времени. Анализ изменения высокочастотного импульса, зондирующего интересующую нас область, проводится на стадии обработки радарограмм.

Прохождение сигнала через границу массива грунта с различающимися диэлектрическими характеристиками подчиняется известной зависимости:

$$K_{\text{отп}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{отп}}$ – коэффициент отражения при нормальном падении волны на границу двух сред; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – диэлектрическая проницаемость для различных сред 1 и 2 соответственно.

В процессе высокочастотного зондирования излучаемая электромагнитная волна отражается от границ областей с различающейся диэлектрической проницаемостью и проводимостью. Именно отражённый сигнал формирует радарограммы. При интерпретации полученных результатов, в соответствии с выявленными закономерностями [9], следует учитывать, что, проникая через границу сред, сигнал снижает амплитуду. Но он сохраняет свою полярность и форму. При отражении от более плотной и более проводящей среды сигнал меняет свою полярность. В случае отражения от менее плотной среды полярность сигнала сохраняется. Отражение сигнала от «размытой» границы растягивается по времени. Низкая проводимость среды приводит к затуханию сигнала, высокая – вносит дисперсные искажения в низкочастотном диапазоне. Таким образом, опираясь на эталонные результаты зондирования, коррелирующие с параметрами, полученными прямыми методами, отслеживаются любые текущие изменения интересующего массива донных отложений. Мониторинговые наблюдения позволяют оперативно выполнять прогнозные расчёты на основе данных, отражающих фактическое состояние грунтов подстилающих опорные элементы СПБУ.

В любой момент времени, предусмотренный программой геотехнического мониторинга, можно получать уточнённые параметры грунтов, подстилающих опорные башмаки платформы. На основании откорректированных данных проверка соблюдения условия прочности грунта основания СПБУ может иметь неограниченное число итераций.

Следовательно, реализация перманентного мониторинга состояния донных грунтов геофизическими методами позволяет получить достоверные данные для прогнозирования поведения основания СПБУ, базируясь на основной расчетной модели. Ситуация, когда может произойти потеря устойчивости в результате опрокидывания либо сдвига сооружения из-за существенного изменения прочностных характеристик донных отложений, прогнозируется на стадии численного эксперимента. Современный уровень техники позволяет качественно и количественно оценить эти изменения в процессе эксплуатации геофизическими методами. Геотехнический мониторинг состояния подстилающих опорные элементы грунтов обеспечит своевременное получение информации для прогноза поведения системы «СПБУ-основание» под воздействием внешней нагрузки. Именно это является залогом безаварийной эксплуатации сооружения и предоставляет возможность предотвращения повреждения бурового инструмента. Авария этого инструмента приводит к негативным экологическим последствиям.

Список литературы

1. Абелев М. Ю. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений / М. Ю. Абелев. – Москва : Стройиздат, 1973. – 287 с.
2. Бугров А. К. Взаимодействие трехопорной СПБУ с грунтом морского дна / А. К. Бугров, И. М. Шереметов // Проблемы нелинейной механики грунтов. – Йошкар-Ола, 1991. – С. 63–65.

3. Бугров А. К. Исследование грунтов в условиях трехосного сжатия / А. К. Бугров, Р. М. Нарбут, В. П. Сипидин. – Ленинград : Стройиздат, 1987. – 184 с.
4. Бугров А. К. О решении смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунтов / А. К. Бугров // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1974. – № 6. – С. 20–24.
5. Бугров А. К. Решение смешанных задач теории упругости и пластичности для различных схем оснований / А. К. Бугров, А. А. Зархи // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1979. – № 2. – С. 16–19.
6. Бугров А. К. Устойчивость самоподъемных плавучих буровых установок при плоском сдвиге с поворотом / А. К. Бугров, И. М. Шереметов // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 5. – С. 70–72.
7. Зарецкий Ю. К. Статика и динамика грунтовых плотин / Ю. К. Зарецкий, В. Н. Ломбардо. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
8. Козлов С. А. Опасные для нефтегазопромысловых сооружений геологические и природно-техногенные процессы на Западно-Арктическом шельфе России / С. А. Козлов // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. – 2005. – Вып. 1. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/2005_1.shtml, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Копейкин В. В. Распространение электромагнитных импульсов в подземной среде / В. В. Копейкин // Ставрополь-георадар : электронный сборник. – 2005. – Режим доступа: <http://radar-stv.narod.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
10. Павлов А. Т. Разработка технологии и аппаратуры импульсной геоэлектроразведки высокого разрешения для исследования структуры оползня и прогноза его развития / А. Т. Павлов, В. П. Лепешкин, М. Б. Федукин, Ю. Н. Павлова // Оценка и управление природными рисками : материалы 5-й Всероссийской конференции Академии наук Российской Федерации (Риск – 2003). – Москва, 26–27 марта 2003. – С. 200–203.
11. Полумордвинов О. А. К вопросу о создании комплексной методики инженерных изысканий для решения геотехнических и геоэкологических задач строительства на урбанизированных территориях / О. А. Полумордвинов, И. М. Шереметов, А. Ю. Курдюк // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 1. – С. 45–46.
12. Симаков В. Г. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе / В. Г. Симаков, К. Н. Шхинек, В. А. Смелов, Д. В. Марченко. – Ленинград : Судостроение, 1989. – 163 с.
13. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований. – Одобрен письмом Госстроя РФ № 9-20/112 от 17.02.2004. – Москва :, 2004. – 58 с.
14. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. – Одобрен письмом Госстроя РФ № ЛБ-21 от 11.05.2004. – Москва : Госстрой России, 2004. – 106 с.
15. СП 23.13330.2011. Свод правил. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85. – Утвержден приказом Минрегиона РФ № 824 от 28.12.2010. – Москва : Минрегион России, 2011. – 115 с.
16. Татаркин С. А. Современные геофизические методы в строительной практике / С. А. Татаркин. – Санкт-Петербург : Геореконструкция-Фундаментпроект, 2007. – 100 с.
17. Телегин А. Н. Морская сейсмозащита / А. Н. Телегин. – Москва : Геоинформмарк. – 2004. – 237 с.
18. Тер-Мартirosян З. Г. Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян. – Москва : Недра, 1986. – 292 с.
19. Финкельштейн М. И. Подповерхностная радиолокация / М. И. Финкельштейн, В. И. Карпухин, В. А. Кутев, В. Н. Метелкин. – Москва : Радио и связь, 1994. – 216 с.

References

1. Abelev M. Yu. *Slabye vodonasyschennye glinistyie grunty kak osnovaniya sooruzheniy* [Weak water-saturated clay soils as base structures], Moscow, Stroyizdat Publ., 1973. 287 p.
2. Bugrov A. K., Sheremetov I. M. *Vzaimodeystvie trekhopornoy SPBU s gruntom morskogo dna* [The interaction of three-point Jack-up Rigs with the soil of the seabed]. *Problemy nelineynoy mekhaniki grunтов* [Problems of Nonlinear soil mechanics], Yoshkar-Ola, 1991, pp. 63–65.
3. Bugrov A. K., Narbut P. M., Sipidin V. P. *Issledovanie grunтов v usloviyakh trekhosnogo szhatii* [Soil analysis in a triaxial compression], Leningrad, Stroyizdat Publ., 1987. 184 p.

4. Bugrov A. K. O reshenii smeshannoy zadachi teorii uprugosti i teorii plastichnosti gruntov [The solution of the mixed problem of the theory of elasticity and plasticity theory of soils]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, Foundations and Mechanics of Soil], 1974, no. 6, pp. 20–24.
5. Bugrov A. K., A. A. Zarkhi Reshenie smeshannykh zadach teorii uprugosti i plastichnosti dlya razlichnykh skhem osnovaniy [The solution of mixed problems of the theory of elasticity and plasticity for various reasons schemes]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, Foundations and Mechanics of Soil], 1979, no. 2, pp. 16–19.
6. Bugrov A. K., Sheremetov I. M. Ustoychivost samopodennykh plavuchikh burovnykh ustanovok pri ploskom sdvige s povorotom [Stability of jack-up drilling rigs for flat shift with rotation]. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* [Power Technology and Engineering], 1992, no. 5, pp. 70–72.
7. Zaretskiy Yu. K., Lombardo V. N. *Statika i dinamika gruntovykh plotin* [Statics and dynamics of soil dams], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 256 p.
8. Kozlov S. A. Opasnye dlya neftegazopromyslovykh sooruzheniy geologicheskie i prirodno-tekhnogennye protsessy na Zapadno-Arkticheskom shelfe Rossii [Dangerous for oil and gas installations geological and natural-technogenic processes on the Western Arctic shelf of Russia]. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas Business], 2005, issue 1. Available at: http://www.ogbus.ru/2005_1.shtml.
9. Kopeykin V. V. Rasprostraneniye elektromagnitnykh impulsov v podzemnoy srede [The propagation of electromagnetic pulses in the underground environment]. *Stavropol-georadar* [Stavropol – ground penetrating radar], 2005. Available at: <http://radar-stv.narod.ru>.
10. Pavlov A. T., Lepeshkin V. P., Fedukin M. B., Pavlova Yu. N. Razrabotka tekhnologii i apparatury impulsnoy geoelektrozvedki vysokogo razresheniya dlya issledovaniya struktury opolznya i prognoza ego razvitiya [Development of technology and equipment of pulse geoelectric prospecting for high resolution for studying the structure of landslide and forecasting of its evolution]. *Otsenka i upravlenie prirodnyimi riskami : materialy 5-y Vserossiyskoy konferentsii Akademii nauk Rossiyskoy Federatsii (Risk – 2003)* [Assessment and management of natural risks. Proceedings of the 5th All-Russian Conferen of Academy of Sciences of the Russian Federation (Risk – 2003)], Moscow, 26–27 March 2003, pp.200–203.
11. Polumordvinov O. A., Sheremetov I. M., Kurdyuk A. Yu. K voprosu o sozdaniy kompleksnoy metodiki inzhenernykh izyskaniy dlya resheniya geotekhnicheskikh i geokologicheskikh zadach stroitelstva na urbanizirovannykh territoriyakh [On the Problem of Development of Complex Procedure of Engineering Surveys for Solution of Geotechnical and Geocological Tasks of Construction at Urbanized Territories]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering], 2009, no. 1, pp. 45–46.
12. Simakov V. G., Shkhinek K. N., Smelov V. A., Marchenko D. V. *Morskie gidrotekhnichesknie sooruzheniya na kontinentalnom shelfe* [Marine hydraulic structures on the continental shelf], Leningrad, Sudostroenie Publ., 1989. 163 p.
13. SP 11-105-97. Engineering and geological survey for construction. Part VI. Production rules of Geophysical Researches. Approved with the letter of the Russian State Construction Committee no. LB-21 from 11.05.2004. Moscow, State Committee of Russia Publ. House, 2004. 58 p.
14. SP 11-114-2004. Engineering surveys on the continental shelf for the construction of offshore oil and gas facilities. Approved with the letter of the Russian State Construction Committee no. LB-21 from 11.05.2004. Moscow, State Committee of Russia Publ. House, 2004. 106 p.
15. SP 23.13330.2011. Rulebook. Grounds waterworks. Updated edition SNIP 2.02.02.-85. Approved by Ministry of Regional Development of the Russian Federation. 115 p.
16. Tatarkin S. A. *Sovremennye geofizicheskie metody v stroitelnoy praktike* [Modern geophysical methods in construction practice], Saint Petersburg, Georekonstruktsiya-Fundamentproekt Publ., 2007. 100 p.
17. Telegin A. N. *Morskaya seysmorazvedka* [Marine seismic surveys], Moscow, Geoinformmark Publ., 2004, 237 p.
18. Ter-Martirosyan Z. G. *Prognoz mekhanicheskikh protsessov v massivakh mnogofaznykh gruntov* [Prediction of mechanical processes in arrays of multi-phase soils], Moscow, Nedra Publ., 1986. 292 p.
19. Finkelshteyn M. I., Karpukhin V. I., Kutev V. A., Metelkin V. N. *Podpoverkhnostnaya radiolokatsiya* [Subsurface radar], Moscow, Radio i svyaz Publ., 1994, 216 p.