

$$W = \sum_{k=1}^n R_k(\tau) X_k(\xi) \quad U = -\sum_{k=1}^n Q_k(\tau) Y_k(\xi) \alpha_k \quad \Phi = -\sum_{k=1}^n P_k(\tau) Y_k(\xi) \alpha_k$$

$$X_k = \left(\frac{\cos \alpha_k \xi}{\cos \alpha_k} - \frac{ch \alpha_k \xi}{ch \alpha_k} \right) \frac{1}{\sqrt{2}} \quad Y_k = \left(\frac{\sin \alpha_k \xi}{\cos \alpha_k} + \frac{sh \alpha_k \xi}{ch \alpha_k} \right) \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Здесь α_k - корни уравнения $th \alpha_k + tg \alpha_k = 0$, $\alpha_1 = 2,356$, $\alpha_2 = 5,498$, ..., $\alpha_k = (k - 1/4)\pi$.

Подставляя в уравнения динамики статора и производя переразложение членов уравнения по собственным функциям Y_k , X_k учитывая гармонический характер по времени и, приравнявая коэффициенты при одинаковых собственных функциях, получим системы алгебраических уравнений.

Задаваясь количеством членов разложения из этой системы можно известными методами найти искомые величины Q_k, P_k, R_k тем самым, определяя перемещения трехслойного статора, а, следовательно, определяем законы упругих перемещений трехслойного статора и давление в слое жидкости в зависимости от заданного закона движения вибратора.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-01-00175а.

Литература

1. Горшков, А.Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая – М.: Физматлит, 2005. – 576 с.
2. Кочин, Н.Е. Теоретическая гидромеханика / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе – М.: Физматгиз, 1963. – Т.1 – 727 с.

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО БУРЕНИЯ

М.И. Губарев

Научный руководитель старший преподаватель А.В. Епихин

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия**

Около 30 лет назад добыча нефти и газа во многих регионах мира начала перемещаться в сторону океана, охватывая все новые и новые морские акватории. Обострение мирового энергетического кризиса, а также постепенно нарастающее истощение запасов газа и нефти на суше обусловило необходимость расширения разработки нефтяных ресурсов мирового океана, в недрах которого сосредоточены почти в 3 раза большие по объему запасы нефти чем на суше. Из всей площади морского и океанического дна наиболее перспективными в нефтегазовом отношении являются приблизительно 75 млн. км² (около 21%). При зональном разбиении данной площади, определяются следующие показатели: 20,4 млн. км² принадлежат зоне материкового склона, 35 млн. км² – в пределах зоны материкового подножия, 19,3 млн. км² – на шельфе. Самой доступной из этих зон является шельфовая зона. Свыше 60% площади шельфа, по прогнозам специалистов, перспективны на нефть и газ. Главной особенностью шельфовой зоны Российской Федерации является то, что около 75% акваторий находятся в арктических районах, покрытых в течение

СЕКЦИЯ 4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА АРКТИКИ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

продолжительного времени льдами. Данная особенность создает дополнительные трудности в промышленном освоении [3,6].

Стационарные нефтяные платформы и вышки на шельфе ряда стран стали исчисляться десятками и сотнями. Сейчас их насчитывается около 7 тысяч в шельфовой зоне более 50 стран, а число скважин протяженностью до 4–5 км превысило 100 тысяч. Так началось становление морской нефтегазовой индустрии, быстро превратившейся в одну из ведущих отраслей энергетики и мировой экономики и обеспечивающей сейчас приблизительно 40 % от общей добычи углеводородов. В наши дни из почти 1 трлн. долл. совокупной стоимости продукции, получаемой ежегодно в мире за счет всех видов морской деятельности, около 200 млрд. долл. приходится на долю морского нефтегазового комплекса.

Морское бурение является разновидностью буровых работ, производимых на акваториях внутренних морей и Мирового океана с целью поиска, разведки и разработки газа, нефти и иных полезных ископаемых, а также проведения научных исследований и общих инженерно-геологических изысканий.

Освоение морских нефтегазовых месторождений радикально отличается от их разведки и разработки на суше. Специфические особенности проведения этих работ в море, а также большая их сложность обуславливаются инженерно-геологическими изысканиями, значительной стоимостью и специфичностью технических средств, обслуживанием работ, окружающей средой, проблемами, которые вызваны производством работ под водой, методами и осуществлением возведения и последующей эксплуатации объектов в море [6].

Стоимость осуществления морского бурения значительно выше по сравнению с бурением на суше. Так, например, стоимость поисково-разведочной скважины, глубиной около 5000 м, для условий, например, Мексиканского залива составляет приблизительно 3-6 млн. долларов, сооружение такой же скважины, но в условиях Северного моря составит 15-20 млн. долларов, а в условиях арктических шельфов дойдет уже и до 50 млн. долларов. Стоимость разработки месторождений также резко возрастает и с увеличением глубин моря. Для сравнения, при глубине около 30 м стоимость разработки оказывается в 3 раза больше, чем на суше, при глубине около 60 м – возрастает в 6 раз, а при изменении глубины до 300 м – увеличивается уже в 12 раз [6].

Морское бурение возможно производить либо с плавучих буровых установок, либо со стационарных гидротехнических сооружений. Одним из основных факторов, влияющих на выбор типа буровых плавсредств, является глубина моря на месте бурения (см. рис. 1).

К стационарным гидротехническим сооружениям относятся разнообразные дамбы, насыпные грунтовые острова, применяемые на мелководье, а также эстакадные площадки и стационарные платформы, применяемые на значительных глубинах. Самая глубоководная стационарная платформа сооружена в 1980 году в Мексиканском заливе на месторождении Коньяк (глубина воды 312 м). В настоящее время разработаны разнообразные проекты глубоководных стационарных платформ для глубин воды 450-600 м.

Плавучие буровые средства классифицируются в первую очередь по способам их установки в ходе процесса бурения. В целом выделяются два первостепенных класса: находящиеся при бурении в плавучем состоянии и опирающиеся на морское дно. К первой группе относятся полупогружные буровые установки и буровые суда, ко второй – плавучие буровые установки погружного и самоподъемного типов (см. рис. 2).

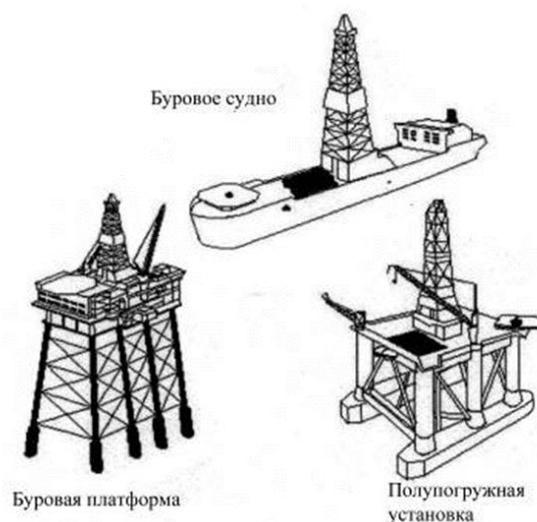


Рис.1. Типы буровых установок для бурения скважин на море

Установки на морских стационарных платформах применяются для производства буровых работ, а также проведения специальных работ в добывающих скважинах. Количество скважин, которое возможно пробурить с одной платформы, зависит от фильтрационно-емкостных свойств пласта, производительности скважин и размеров залежи и, в большинстве случаев, это количество не превосходит 40-50 скважин. Зачастую буровая вышка постоянно находится на платформе, однако, после того как пробурены все скважины, она может быть также и демонтирована с последующей заменой её специальным оборудованием для проведения работ в скважинах [4].

Самоподъемная буровая установка представляет из себя конструкцию, опирающуюся на дно и используемую для проведения буровых работ на интервале глубин моря от 20 до 120 метров. Самоподъемная установка сначала буксируется к месту предполагаемого бурения в плавучем состоянии, далее ноги платформы спускаются и надежно прижимаются ко дну, фиксируя тем самым платформу и обеспечивая её стабильное положение при бурении. Самоподъемные установки могут также использоваться в качестве вспомогательных судов, располагаясь рядом с основной (стационарной) платформой. В этом случае буровая вышка надвигается на основную платформу и бурение производится через отверстие в стационарной платформе [4].

Полупогружная буровая установка представляет собой плавучую конструкцию, применяемую при проведении буровых работ на интервале глубин моря от 60 до 2500 м. Данная установка либо буксируется, либо самостоятельно переправляется с одного места бурения на другое за счет установленной на ней системы гребных винтов. Для обеспечения стабильного положения при бурении, большинство подобных установок закрепляется на месте предполагаемого бурения тросами или цепями. Некоторые современные установки снабжены системой динамического позиционирования (ДП), в основе которой лежат комплексы движителей и точной навигации. Данная система позволяет поддерживать более точное положение установки при бурении, ей часто отдается предпочтение при бурении на больших глубинах, где постановка на якорь может потребовать значительных затрат времени и средств [4].

**СЕКЦИЯ 4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА АРКТИКИ
И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ**

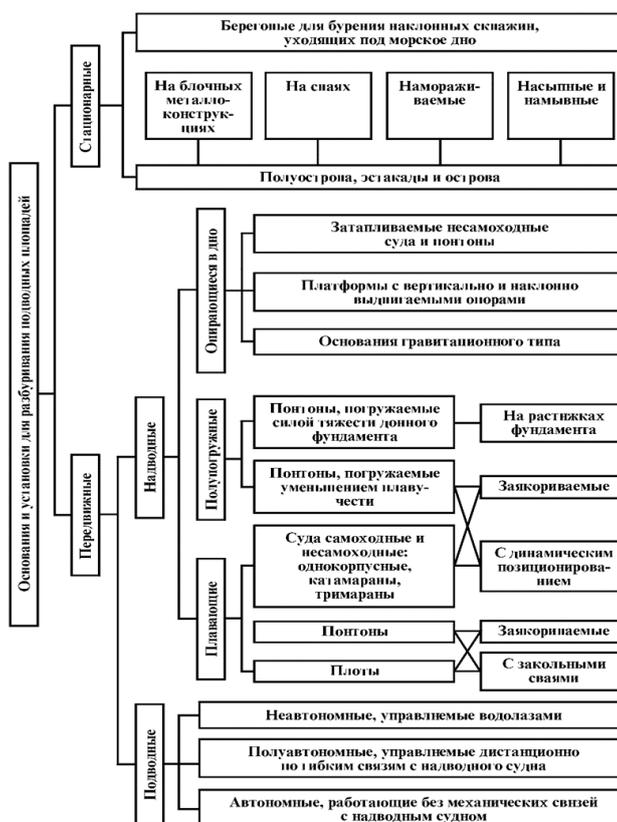


Рис.2. Структурная схема морских нефтегазовых сооружений

Буровые суда представляют собой самодвижущиеся установки с большой грузоподъемностью. Благодаря этому они в состоянии перевозить большое количество используемых материалов и основного оборудования и вследствие этого применяются в отдаленных акваториях, где использование вспомогательных судов в целях снабжения связано с большими затратами. Буровые суда широко применяются при глубоководном бурении. [4]

По технологии закачивания скважин возможно разделение на морское бурение с подводным либо с надводным расположением устья. Буровые работы при надводном расположении устья производят либо с самоподъемных буровых установок, либо со стационарных гидротехнических сооружений. В целом, технология бурения, закачивания и испытания морских скважин с расположением устья над поверхностью воды является аналогичной подобным операциям, произведенным на суше.

Бурение морских скважин с подводным расположением устья производится полупогружных и самоподъемных буровых установок, буровых судов, а также с плавучих искусственных ледовых островов. Самоподъемные платформы, характеризующиеся консольным расположением вышечного блока, дают возможность создавать скважины как с подводным, так и с надводным расположением устья, при этом, в случае выбора второго варианта, устье располагается на специально возведенной стационарной платформе.

На свободном ото льдов шельфе бурение разведочных скважин проводится практически повсеместно с буровых установок самоподъемного, полупогружного, погружного типов и буровых судов. Бурение же эксплуатационных скважин производится со стационарных буровых платформ одним либо двумя буровыми

станками. На подобной стационарной платформе, куст скважин включает в себя от 12 до 96 скважин. В настоящее время наметилась тенденция к значительному увеличению числа эксплуатационных скважин с подводным закачиванием устья, бурение которых ведётся с самоподъёмных или полупогружных платформ.

На данный момент идет интенсивное освоение новейших технологий, позволяющих сократить экономические затраты и время на строительство скважин, среди которых – бурение на депрессии, позволяющее сохранить коллекторские свойства пласта и значительно увеличить скорость проходки; бурение на обсадных трубах, позволяющее сократить время строительства скважин за счет уменьшения количества спускоподъемных операций; роторное управляемое бурение, позволяющее увеличить механическую скорость бурения и эффективно проводить пологие и горизонтальные скважины с большим смещением забоя от вертикали.

Разработка технологий, позволяющих проводить направленные и горизонтальные скважины с большим отклонением забоев от вертикали, является особенно актуальной при освоении шельфа, т. к. строительство таких скважин является наиболее эффективным методом разбуривания морских месторождений, позволяющим достигать границ месторождения с наименьшим количеством морских гидротехнических сооружений.

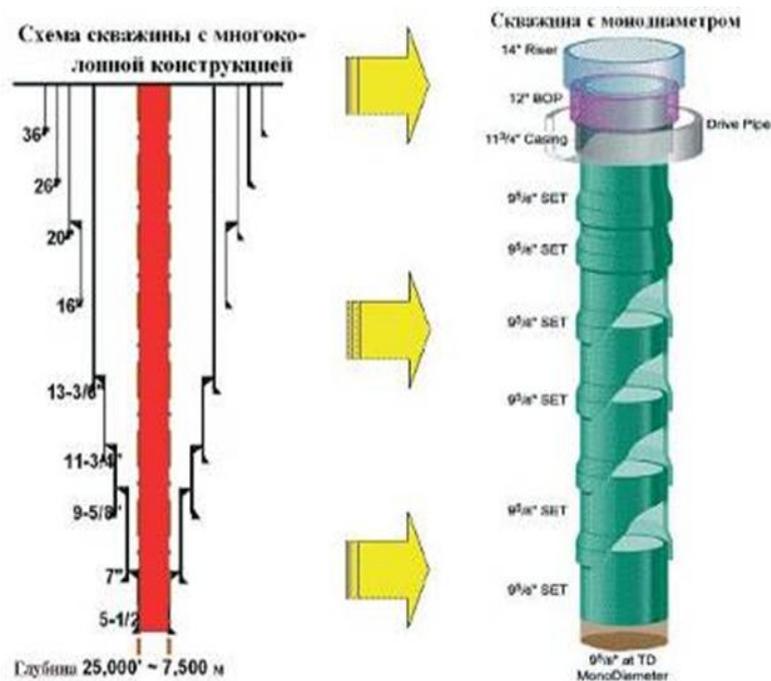


Рис.3. Концепция скважины с монодиаметром

Решение этих проблем с помощью традиционных технологий с использованием многоколонных конструкций становится все сложнее и более капиталоемким, особенно при наличии в разрезе сложных геологических условий, а также при глубоком и глубоководном бурении. Наиболее радикальным решением всех выявленных проблем является отказ от традиционной конструкции скважины и строительство скважин монодиаметра с применением технологии расширяемых обсадных труб (см. рис. 3). Экономический эффект от полномасштабного внедрения технологии монодиаметра оценивается приблизительно в 30–50 % от стоимости и времени проведения буровых работ в настоящее время и базируется на сокращении

СЕКЦИЯ 4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА АРКТИКИ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

необходимого для их осуществления количества материалов (цемента, металла, бурового раствора), выноса шлама, а также на сокращении времени бурения.

Рыхлые породы дна моря зачастую значительно обводнены. При проведении буровых работ в подобных породах для реализации сохранности керна, а также обеспечения стабильности стенок скважин, обязательного применения требуют специфичные технические средства и технологические мероприятия, влекущие за собой дополнительные материальные затраты, а также удовлетворяющие суровым требованиям охраны окружающей среды от загрязнений. Поэтому бурение разведочных скважин на море требует создания инновационных типов буровой техники и технологий, гарантирующих строительство скважины с соблюдением абсолютно всех требований в области экологичности, безопасности и обеспечивающих приемлемое качество работ при наименьших материальных затратах. Для синтеза подобных технологий и техники требуется собрать воедино и проанализировать весь имеющийся опыт применения современных технологий и технических средств для осуществления бурения на море, а также научно обосновать наиболее рациональные пути их последующего развития.

Россия обладает около 21% всего шельфа Мирового океана, что составляет более 6 млн км², в то же время, самый легкодоступный и перспективный, с точки зрения бурения, шельф занимает свыше 60% площади ее акваторий. Высокий углеводородный (УВ) потенциал шельфа Российской Федерации является неоспоримым – суммарные извлекаемые запасы оцениваются многими ведущими российскими специалистами в более чем 100 млрд. тонн условного топлива (оценки западных экспертов намного скромнее), из которых газовая составляющая достигает 80%. При этом самый значительный объем УВ, около 90%, сосредоточен в арктических морях [1,2,5].

Преыдуший опыт освоения множества морских арктических, а также субарктических месторождений показал, что наиболее рационально выбирать месторождения для создания основы будущих морских нефтегазовых промыслов в условиях сложной ледовой обстановки среди тех, что находятся вблизи побережья с широко развитой инфраструктурой. Наибольший интерес на начальном этапе представляют залежи, разработка которых возможна горизонтальными скважинами, которые могут быть пробурены с берега или же с искусственно созданных островов [1,5].

Учитывая то, что в настоящее время в большинстве своем разрабатываются акватории лишь глубиной, не превышающей 100 м, можно легко вообразить себе открывающуюся в ближайшие годы перспективу освоения богатейших нефтегазовых месторождений и на больших глубинах, а также осознать тот факт, что именно с разработкой морских месторождений связано возможное будущее увеличение объемов добычи нефти и газа.

Масштабная добыча нефти и формирование крупных центров грузовой базы на российском шельфе – вопрос далекой перспективы. Даже по самым смелым прогнозам, к 2030 году на арктическом шельфе будет добываться не более 3% нефти от всего объема по стране в целом [7].

Литература

1. Богоявленский В.И. Нефтегазодобыча в Мировом океане и потенциал российского шельфа. ТЭК стратегии развития. М.: 2012, №6. С. 44 – 52.

2. Богоявленский В.И. Углеводородные богатства Арктики и Российский геофизический флот: состояние и перспективы. Морской сборник. М.: ВМФ, 2010, №9. С. 53 – 62.
3. Борисов Р.В., Макаров В.Г., Макров В.В., Никитин В.С., Портной А.С., Симоненко А.С., Соколов В.Ф., Степанов И.В., Тимофеев О.Я.; под общ. ред. Соколова В.Ф. / Морские инженерные сооружения. Ч. I. Морские буровые установки: Учебник – СПб.: Судостроение, 2003 г.
4. Золотухин А.Б., Гудмestad О.Т., Ермаков А.И. и др./ Основы разработки шельфовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике: Учебное пособие – М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефть и газ им. И.М.Губкина, 2000.
5. Лаверов Н.П., Дмитриевский А.Н., Богоявленский В.И. Фундаментальные аспекты освоения нефтегазовых ресурсов Арктического шельфа России // Арктика: экология и экономика. 2011. №1. С. 26 – 37.
6. Скрыпник С.Г. Техника для бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 1989г.
7. Опубликовано в №3/2015 журнала «Морские порты», главная тема которого «Добыча и экспорт нефти в России: итоги-2014 и перспективы».

УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ В ВИХРЕВОМ ТЕЧЕНИИ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

П.О. Дедеев, С.Н. Харламов

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

***Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия***

Для инженерных приложений в нефтегазовой отрасли, теплоэнергетике, энергомашиностроении проблема управления гидродинамическими особенностями потоков весьма актуальна. Поскольку большинство промышленных устройств функционируют при высоких тепловых и динамических нагрузках и испытывают на себе влияние неустойчивых и переходных тепловых и вихревых режимов, фазовых превращений в несущей среде, ограничивающих стенках, они крайне чувствительны к развитию пульсационных процессов при переносе импульса, тепла и массы в рабочем теле. Все это ставит проблему оптимизации работы устройств и прогноза неустойчивых и опасных режимов из-за наличия частых прямых и обратных гидродинамических переходов. В условиях ламинаризации (турбулизации) течения в транспортных трубопроводных сетях при наличии неустойчивых внешних факторах (вечная мерзлота, резкие перепады температур, сложный рельеф местности) возникает возможность суперпозиции негативных факторов. Все это вынуждает иметь надёжный и простой способ управления неустойчивостью потоков. Поэтому *цель* настоящего исследования заключается в уяснении особенностей воздействия на гидродинамику потоков в замкнутых системах (закрытых каналах, трубах с узлами и соединениями сложной формы, трубопроводах с произвольной геометрией поверхности стенки и т.д.) эффектов ламинаризации, созданных известными инженерными методами, и оценке их эффективности при предсказании сопротивления.

Хорошо известно [5,6], что в сложном сдвиговом течении прогноз связи между силами трения и турбулентностью весьма ценен и составляет нетривиальную