

DOI 10.21672/2077-6322-2021-82-3-067-074

**ОСВОЕНИЕ МОРСКИХ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ
С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ**

Дедов Кирилл Викторович, аспирант, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, kirill97q@mail.ru

Сергеев Андрей Олегович, аспирант, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, sergo777899@mail.ru

Серебряков Андрей Олегович, доцент, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, Geologi2007@yandex.ru

В работе исследуются морские ресурсы углеводородов и их освоение подводной добычей, обосновывается актуальность и перспективы морской технологии. В статье представлены инновационные устройства для океанологической подводной добычи. Дается характеристика видов морского подводного оборудования и исследуются факторы, влияющие на разработку и выбор инновационных технических конструкций в акваториях.

Ключевые слова: нефть, газ, шельф, океанологические подводные технологии, манифольд, скважина, добыча

**DEVELOPMENT OF MARINE HYDROCARBON RESOURCES USING
UNDERWATER PRODUCTION SYSTEMS**

Dedov Kirill V., postgraduate, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, kirill97q@mail.ru

Sergeev Andrey O., postgraduate, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, sergo777899@mail.ru

Serebryakov Andrey O., Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, Geologi2007@yandex.ru

The paper examines the marine resources of hydrocarbons and their development by underwater extraction, substantiates the relevance and prospects of marine technology. The article presents innovative devices for oceanological underwater mining. The characteristics of the types of marine underwater equipment are given and the factors influencing the development and selection of innovative technical structures in the water areas are investigated.

Keywords: oil, gas, shelf, oceanological underwater technologies, manifold, well, production

Освоение морских ресурсов углеводородов в настоящее время становится всё более актуальным. Это связано с истощаемостью и истощением наземных источников нефти и газа, а, следовательно, с необходимостью поиска новых объектов добычи, которые были обнаружены в морском пространстве [1]. Освоение объектов морской добычи углеводородов также вызвано необходимостью внедрения дорогостоящих методов и проектов по увеличению нефтеотдачи для обеспечения роста добычи, (или поддержания такового на проектном уровне) [4].

Сейчас все чаще в мире появляются проекты, связанные с добычей углеводородов на морском шельфе. Однако применение морских платформ для этой цели может оказаться недостаточным либо иметь определенные недостатки из-за которых добыча может оказаться нерентабельной [2].

Недостаточная автономность, трудные климатические условия (ледовый покров, сильные ветровые нагрузки), большая глубина моря, высокая стоимость платформ – эти и многие другие условия создают вызов для инженеров со всего

мира, чтобы придумать уникальное, новаторское решение для освоения морских месторождений [3].

Особенно распространёнными на месторождениях Северного моря в Норвегии являются подводные комплексы, которые содержат необходимые для добычи углеводородов элементы непосредственно на морском дне в минимальной отдаленности от самих скважин [5; 7]. Для освоения морских запасов углеводородов данным образом вовсе необязательно строительство и ввод в эксплуатацию морских платформ.

Под водой элементы фонтанной арматуры, манифольды и прочие элементы подводного нефтегазодобывающего комплекса работают в автоматическом режиме, однако в случае необходимости управление над элементами системы может осуществляться дистанционно (например, подача ингибитора в скважину или в участок трубопровода, открытие и закрытие задвижек), используя системы гидро / электроприводов, либо комбинированную систему для наибольшей надежности [6].

Контроль на больших глубинах осуществляется специальными роботами типа ТНПА (телеуправляемый необитаемый подводный аппарат) (рис. 1) [10], которые собирают и передают информацию на поверхность, а также способны выполнить технологический процесс по замене элементов оборудования, или же по их перемещению. Такие аппараты могут контролироваться специально обученным персоналом с поверхности.



Рис. 1. Общий вид телеуправляемого необитаемого подводного аппарата

Виды оборудования для подводной добычи

К оборудованию для подводной добычи (подводно-добычного комплекса) относятся следующие элементы [9; 12]: плавучая установка для добычи, хранения и отгрузки нефти, подводная фонтанная арматура, донные основания и защитные конструкции, система райзеров и манифольд, в качестве системы сбора продукции, роботы для слежения, оценки и передачи информации, а также выполнения технологических операций на большой глубине, связанных непосредственно с оборудованием подводного комплекса трубные вставки, шлангокабели и многие другие типы оборудования.

Поставщиками оборудования для подводной добычи являются зарубежные компании Akersolutions™ и Roxar™ (в составе компании Emerson), а также многие другие [11].

Скважины под водой могут быть объединены и закреплены одним темплетом (донным основанием), которое может иметь интегрированную защиту [13].

По сложности подводные комплексы могут содержать в темплете от одной до нескольких скважин [14]. Продукция со скважин направляется либо на морское технологическое судно, с дальнейшим проведением дополнительных технологических процессов, или же сразу на берег, в зависимости от расстояния от берега до места добычи. Пример донного основания представлен на рисунке 2.

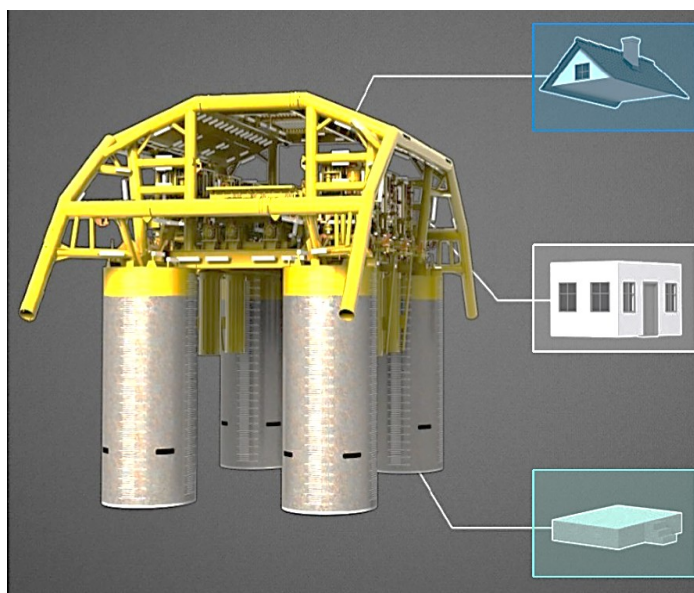


Рис. 2. Пример донного основания подводного добычного комплекса [10]

К факторам, определяющим конструкцию донных оснований, относятся следующие [15]:

- характеристики грунта;
- доступность судов (метод установки);
- количество скважин и их расположение;
- тип системы соединения (горизонтальный / вертикальный) и нагрузок на нее;
- требования к обеспечению защиты (падающие объекты, рыболовная активность).

Всего же существует несколько типов донных оснований, в зависимости от расстояния между скважинами. Их классификация, соответственно, приведена на рис. 3, 4 [10].



Рис. 3. Типы донных оснований для подводной добычи, где скважины расположены на значительном расстоянии друг от друга



Рис. 4. Типы донных оснований для подводной добычи, где скважины расположены на небольшом расстоянии друг от друга

Как упоминалось выше, для сбора и транспорта продукции на комплексах для подводной добычи нефти и газа применяются системы манифольдов.

В зависимости от количества связанных с манифольдом кустов скважин они бывают кустовые, сборные или интегрированные. Данные схемы манифольдов более подробно приведены на рисунке 5.

Манифольд состоит из шести основных блоков: стальной рамы, трубопроводов большого и малого диаметров, модуля управления, разводки электрики, такелажного оборудования [16]. Более подробно состав и обустройство элементов манифольда приведены на схеме ниже (рис. 6) [10].



Рис. 5. Виды манифольдов подводно-добычного комплекса

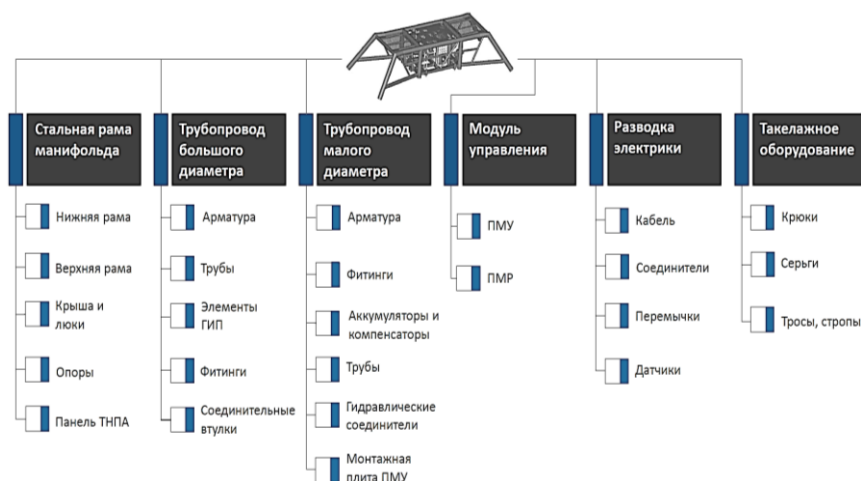


Рис. 6. Состав манифольда для подводной добычи

Ключевым элементом системы подводной добычи является подводное устьевое оборудование, которое состоит из обвязки (подвески и герметизации межтрубного зазора) обсадных колонн (ОК) и самой подводной фонтанной арматуры (ПФА). Последняя имеет специальные приспособления её для соединения с устьем скважины, а также водоотделяющей колонной. Оборудование ПФА включает в себя: блоки задвижек, устьевой соединитель, запорную арматуру, многоканальный соединитель, трубную обвязку и втулку выкидной линии, многоканальный соединитель для внутрискважинного оборудования, раму и систему управления [17]. Общая схема подводной фонтанной арматуры приведена на рисунке 7.

Колонные головки имеют отсеки и перемычки, с помощью которых происходит соединение с подводным противовыбросовым оборудованием (ПВО) или фонтанной арматурой. Система подвесных головок вместе с узлами герметизации создают возможность надежной обвязки промежуточных, эксплуатационных колонн и колонной головки.

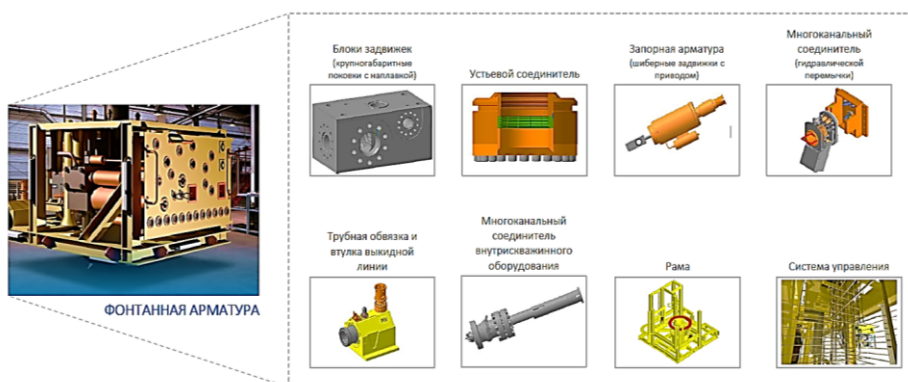


Рис. 7. Схема подводной фонтанной арматуры

В составе элементов ПФА присутствуют также вертикальные гидравлические соединители, необходимые для подъёма ПФА на поверхность без отсоединения выкидных линий. Скважины, оснащённые подводным устьевым оборудованием, группируются рядом с эксплуатирующим объект судном / морской платформой. Управление фонтанной арматурой осуществляется с платформы дистанционно.

Для создания элементов системы подводной добычи используют низколегированные стали, а также коррозионностойкие стали и сплавы. В ходе подготовки данных элементов к эксплуатации проводят различные испытания для выявления недостатков, дефектов, нежелательных примесей и склонности к коррозии [18].

При механических испытаниях определяют предел текучести, предел прочности, твердость, характеристики пластичности. При исследованиях микроструктуры определяют размеры зерен металла, фазовый состав, наличие неметаллических включений. При проведении неразрушающего контроля используют визуальный, ультразвуковой, магнитопорошковый и капиллярный методы. При проведении химических исследований определяют скорость и склонность к коррозии, а также марочный состав и наличие вредных примесей. Также перед созданием необходимой конструкции проводят расчёты на прочность, сопротивление усталости, жесткость, устойчивость, теплостойкость, виброустойчивость и герметичность, в зависимости от параметров флюида и условий внешней среды.

Россия обладает уникальным нефтегазовым потенциалом в разработке шельфовых зон арктических морей и перспективными технологическими возможностями данной отрасли. В актуальных политических и экономических условиях у РФ появился особый стимул к стремительному развитию собственных инновационных и перспективных нефтегазовых технологий, а также к созданию передовой отечественной нефтегазовой промышленности. Данная тенденция вызвана ограничением на импорт иностранных технологий освоения шельфовых месторождений углеводородов. Стоит отметить, что при оптимальном и своевременном создании стимулирующих финансово-организационных условий со стороны государства и национальных нефтегазовых компаний на российском шельфе будут воплощаться крупнейшие в мире нефтегазовые проекты с высокими показателями по эффективности и безопасности, а также с применением современной техники и инновационных технологий.

Для освоения месторождений Арктического шельфа России требуется разработка и использование передовых производственных технологий, в том числе подводных, а также применение мирового опыта в области освоения морских месторождений. Однако существует и ряд технических проблем, связанных с адаптацией этих технологий к суровым условиям акваторий арктических месторождений и зачастую с достаточно большой удаленностью от берега. Некоторые подводные технологии уже сегодня являются достаточно проверенными, имеют высокую эксплуатационную надежность и могут применяться в замерзающих акваториях. Таким образом, можно сделать вывод, что за счёт неоспоримых преимуществ подводный тип добычи углеводородов один из наиболее перспективных в настоящее время для недропользователей многих стран.

Список литературы

1. Alvaro, A., Akselsen, O. M., Ren, X. & Kane, A. // In Proceedings of the Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference. – International Society of Offshore and Polar Engineers. – 2014. – pp. 247–254.
2. Annuzzi, M., Barnoush, A. & Johnsen, R. Materials and corrosion trends in offshore and subsea oil and gas production. *npj Mater Degrad*, №2. – 2017.
3. Bell, J. M., Chin, Y. D. & Hanrahan, S., State-of-the-Art of Ultra Deepwater Production Technologies. – In Offshore Technology Conference, 2–5. – Society of Petroleum Engineers, 2005.
4. Brandt, H., Eriksen, R. RAM analysis for deepwater subsea developments // The Proceedings of the Offshore Technology Conference (OTC 2001), April 30–May 3. – Texas : Houston, 2001.
5. Choi, HS, Do CH, Lee SK. Study on parameters for optimum design of integrated subsea system // *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*. – 2012. – № 49(4). – 340–349.
6. Devegowda, D. An assessment of subsea production systems // MSc. Dissertation. – Texas : Houston, A&M University, 2003.
7. Leffler, WL., Pattarozzi, R., Sterling, G. Deepwater petroleum exploration and production; Chapter 4, Exploring the deepwater. – Houston (TX), PennWell, 2003, pp. 81–98.
8. Last, G., Williams, P. An introduction to ROV operations // Oilfield Publications, Ledbury. – 1991 – p. 107.

9. Moreno-Trejo, J., Markeset, T. Mapping factors influencing the selection of subsea petroleum production systems // The Proceedings of the international Conference of Advances in Production Management System (APMS 2011), September 26–28. – Norway : Stavanger, 2011.
10. Раздаточные материалы лекций компании ООО «Газпром 335», отдел по подводной добыче.
11. Греков, С. В. Управление процессом добычи газа при использовании подводных добычных систем : научно-технический сб. / С. В. Греков, О. А. Корниенко, А. И. Новиков // Вести газовой науки. – 2013. – № 3 (14). – С. 167–173.
12. Демидов, В. В. Перспективы использования подводного компримирования при освоении морских месторождений : научно-технический сб. / В. В. Демидов, О. А. Корниенко // Вести газовой науки. – Пос. Развилка, Московская обл. : Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – С. 174–179.
13. Коэн, Д. М. Эксплуатация подводных систем добычи. Нефтегазовые технологии / Д. М. Коэн, П. Фишер. – 2008. – № 5. – С. 37–43.
14. Люгай, Д. В. Эволюции в подводной добыче нефти и газа / Д. В. Люгай, М. Н. Мансуров // журнал «Газовая промышленность». – Москва : ООО "Камелот Пабблишинг", 2018. – № 6. – С. 46–51.
15. Новиков, А. И. Проблемы и задачи освоения технологии подводной добычи углеводородов в России / А. И. Новиков // Газовая промышленность. – 2011. – № 5 (661). – С. 38–40.
16. Самсонов, Р. О. Основные направления науки и техники в области освоения шельфа с применением подводных технологий добычи углеводородов / Р. О. Самсонов, Д. А. Мирзоев О., Ф. Д. Мирзоев, С. В. Лутков // Наука и техника в газовой промышленности. – 2007. – № 4 (31). – С. 44–52.
17. Толстов, С. С. Подводная технология добычи углеводородов – ключевой фактор освоения ресурсов шельфа Арктики / С. С. Толстов, Д. А. Мирзоев, И. Э. Ибрагимов // Газовая промышленность. – 2011. – № 5 (661). – С. 29–34.
18. Толстов, С. С. Подводные технологии добычи углеводородов – новое направление в ДООАО ЦКБН ОАО "Газпром" / С. С. Толстов, Д. А. Мирзоев, И. Э. Ибрагимов // Газовая промышленность. – 2011. – № 11 (665). – С. 30–33.

References

1. Alvaro, A., Akselsen, O. M., Ren, X. & Kane, A. *Materialy Dvadsat chetvertoy Mezhdunarodnoy okeano-polyarnoy inzhenernoy konferentsii* [Proceedings of the Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference]. *Mezhdunarodnoe obshchestvo morskikh i polyarnykh inzhenerov* [International Society of Offshore and Polar Engineers], 2014, pp. 247–254.
2. Annuzzi, M., Barnoush, A. & Johnsen, R. *Materialy i tendentsii korrozii v morskoy i podvodnoy dobyche nefi i gaza* [Materials and corrosion trends in offshore and subsea oil and gas production]. *npj Mater Degrad*, № 2, 2017.
3. Bell, J. M., Chin, Y. D. & Hanrahan, S. *Samye sovremennye tekhnologii sverkhglubokovodnoy dobychi* [State-of-the-Art of Ultra Deepwater Production Technologies]. *Konferentsiya po offshornym tekhnologiyam, posvyashchennaya sovremennym tekhnologiyam sverkhglubokoy dobychi* [Offshore Technology Conference State-of-the-Art of Ultra Deepwater Production Technologies, 2–5]. Society of Petroleum Engineers, 2005.
4. Brandt, H., Eriksen, R. *Analiz operativnoy pamyati dlya glubokovodnykh podvodnykh razrabotok. Materialy konferentsii po offshornym tekhnologiyam* [RAM analysis for deepwater subsea developments OTC 2001]. Texas, Houston, April 30–May 3, 2001.
5. Choi, HS, Do, CH, Lee, SK *Issledovanie parametrov dlya optimalnogo proektirovaniya integrirovannoy podvodnoy sistemy* [Study on parameters for optimum design of integrated subsea system]. *Zhurnal Obshchestva morskikh arkhitektorov Korei* [Journal of the Society of Naval Architects of Korea]. 2012, no. 49(4), pp. 340–349.
6. Devegowda, D. *Otsenka podvodnykh proizvodstvennykh sistem* [An assessment of subsea production systems]. MSc. Dissertation, Houston, Texas, A&M University, 2003.
7. Leffler, WL, Pattarozzi, R, Sterling, G. *Glubokovodnaya razvedka i dobycha nefi* [Deepwater petroleum exploration and production]. *Glava 4, Issledovanie glubokovodya* [Chapter 4, Exploring the deepwater]. Houston (TX), PennWell, 2003, pp. 81–98.
8. Last, G., Williams, P. *Vvedenie v operatsii ROV* [An introduction to ROV operations]. Oil-field Publications, Ledbury, 1991, p. 107.
9. Moreno-Trejo, J., Markeset, T. *Kartograficheskie faktory, vliyayushchie na vybor podvodnykh sistem dobychi nefi* [Mapping factors influencing the selection of subsea petroleum production systems]. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii po dostizheniyam v sisteme upravleniya proizvodstvom (APMS 2011)* [The

Proceedings of the international Conference of Advances in Production Management System (APMS 2011) September 26–28]. Norway, Stavanger, 2011.

10. *Razdatochnye materialy lekcij kompanii OOO «Gazprom 335»* [Handouts of lectures of Gazprom 335]. LLC, Department for underwater Production.

11. Grekov, S. V., Kornienko, O. A., Novikov, A. I. *Upravlenie processom dobychi gaza pri ispol'zovanii podvodnykh dobychnykh sistem* [Control of the gas production process when using underwater production systems]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Novostey gazovoy nauki* [Scientific and technical collection of Gas Science News]. No. 3 (14), 2013, pp. 167–173.

12. Demidov, V. V., Kornienko, O. A. *Perspektivy ispol'zovaniya podvodnogo komprimirovaniya pri os-voenii morskikh mestorozhdenij* [Prospects of using underwater compression in the development of offshore fields]. *Novosti gazovoy nauki: nauchno-tekhnicheskii sbornik* [News of gas science: a scientific and technical collection]. Moscow region, pos. Razvilka, Gazprom VNIIGAZ, 2013, pp. 174–179.

13. Cohen, D. M., Fischer, P. *Ekspluatatsiya podvodnykh sistem dobychi* [Operation of underwater production systems]. *Neftegazovye tekhnologii* [Oil and gas technologies]. 2008, No. 5, pp. 37–43.

14. Lyugay, D. V., Mansurov, M. N. *Evolucii v podvodnoj dobyche nefii i gaza* [Evolutions in underwater oil and gas production]. *Zhurnal "Gazovaya Promyshlennost"* [Magazine "Gas Industry"]. Moscow, Limited Liability Company "Camelot Publishing", no. 6, 2018, pp. 46–51.

15. Novikov, A. I. *Problemy i zadachi osvoeniya tekhnologii podvodnoj dobychi uglevodorodov v Rossii* [Problems and tasks of mastering the technology of underwater hydrocarbon production in Russia]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas industry]. 2011, no. 661, pp. 38–40.

16. Samsonov, R. O., Mirzoev, D. A. O., Mirzoev, F. D., Lutkov, S. V. *Osnovnye napravleniya nauki i tekhniki v oblasti osvoeniya shel'fa s primeneniem podvodnykh tekhnologij dobychi uglevodorodov* [The main directions of science and technology in the field of offshore development using underwater technologies for hydrocarbon production]. *Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti* [Science and technology in the gas industry]. 2007, no. 4 (31), pp. 44–52.

17. Tolstov, S. S., Mirzoev, D. A., Ibragimov, I. E. *Podvodnaya tekhnologiya dobychi uglevodorodov - klyuchevoj faktor osvoeniya resursov shel'fa Arktiki* [Underwater technology of hydrocarbon production is a key factor in the development of Arctic shelf resources]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas industry]. 2011, no. 661, pp. 29–34.

18. Tolstov, S. S., Mirzoev, D. A., Ibragimov, I. E. *Podvodnye tekhnologii dobychi uglevodorodov – novoe napravlenie v DOAO CKBN OAO "Gazprom"* [Underwater technologies of hydrocarbon production – a new direction in the DOAO of the Central Design Bureau of Gazprom]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas industry]. 2011, no. 11 (665), pp. 30–33.