ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРА «ЕКОФИСК», ВЛИЯЮЩИЙ НА РАЗВИТИЕ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА

LIFE CYCLE OF «EKOFIK» REINFORCED CONCRETE RESERVOIR INFLUENCING THE DEVELOPMENT OF OIL PRODUCING GRAVITATIONAL TYPE PLATFORMS

П. А. Федоров
P. A. Fedorov

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

И. Х. Мусакаев
I. Kh. Musakaev

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

М. М. Абдуллин
M. M. Abdullin

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

В. М. Абдуллин
V. M. Abdullin

ООО «Промышленные технологии»,
г. Уфа, Российская Федерация

Industrial Technologies LLC,
Ufa, Russian Federation

В настоящее время транснациональные компании интенсивно ведут освоение нефтяных и газовых месторождений, расположенных на шельфах. Эти сооружения, как правило, выполняют одновременно несколько функций: платформу для бурения и добычи, резервуар для хранения сырой нефти и природного газа, а также баланс в морских условиях, так как снабжены системой забора и хранения балластной воды для стабилизации всей конструкции сооружения.

Применение гравитационных платформ требует технико-экономического обоснования. При этом одним из ключевых критериев оценки является жизненный цикл объекта в условиях воздействия многофакторной агрессивной среды (морская вода, кислые газы, минеральные масла или сырая нефть и т.д.).

Рассмотрены вопросы развития и эксплуатации платформ гравитационного типа из железобетона. Приведены исторические факты выбора оптимальных конструктивных решений первой платформы-резервуара на месторождении «Ekofisk». Описаны основные этапы строительства и эксплуатации. Приведены концептуальные проекты по реновации платформ. Определены основные критерии, характерные для проектов подобных сооружений в настоящее время и на перспективу.

Currently, transnational companies are intensively developing oil and gas fields located on the shelves. These facilities, as a rule, perform several functions simultaneously: a drilling and production platform, a storage tank for crude oil and natural gas, and a balance in marine conditions, since they have a ballast water intake and storage system to stabilize the entire structure of the platform. The use of gravity platforms requires a feasibility study. At the same time, one of the key evaluation criteria is the life cycle of an object under the influence of a multifactorial aggressive environment (sea water, acid gases, mineral oils or crude oil, etc.).

The issues of development and operation of gravitational type platforms constructed of ferroconcrete are considered. Historical facts of the choice of optimal design solutions for the first tank platform at the Ekofisk oil field are given. The main stages of construction and operation are described. Conceptual projects on the renovation of platforms are presented. The main criteria typical for projects of such platforms for the present and future are determined.

Ключевые слова

гравитационная
платформа,
жизненный цикл,
углеводородное сырье,
бетон, железобетон,
сталь, реновация

Key words

gravitational platform,
life cycle, hydrocarbon
feedstock, concrete,
reinforced concrete,
steel, renovation

В настоящее время транснациональные компании интенсивно ведут освоение нефтяных и газовых месторождений, расположенных на шельфах. В течение 40 лет были возведены платформы из бетона и железобетона, позволяющие добывать углеводородное сырьё с водных участков, глубина которых достигает 300 м. Срок эксплуатации этих объектов зависит от объёма месторождения, а также периода рентабельности разработки шельфов. Если позволяет конструкция, то некоторые платформы могут перемещаться на другие площадки.

Эти сооружения, как правило, выполняют одновременно несколько функций, таких как: платформа для бурения и добычи, резервуар для хранения сырой нефти и природного газа, а также баланс в морских условиях, так как снабжены системой забора и хранения балластной воды для стабилизации всей конструкции сооружения [1]. Отечественными примерами таких сооружений являются платформы «Лунская-А» (2006 г.) и «Пилтун-Астохская-Б» (2007 г.), установленные на глубинах 48 и 32 м в Охотском море, ледостойкая платформа «Приразломная» (2011 г.) с железобетонным кессоном, установленная на глубине 20 м в Карском море, платформа «Беркут» (2012 г.), установленная на глубине 35 м в Охотском море [2–4].

В настоящее время разрабатывается ряд платформ гравитационного типа, эксплуатация которых будет осуществляться на Арктическом шельфе. В рамках проекта «Арктик СПГ-2» планируется строительство трёх линий сжижения природного газа на отдельных ледостойких платформах, которые будут установлены недалеко от берега [5].

Применение гравитационных платформ требует технико-экономического обоснования. При этом одним из ключевых критериев оценки, как правило, является жизненный цикл объекта в условиях воздействия многофакторной агрессивной среды (морская вода, кислые газы, минеральные масла или сырая нефть и т.д.) [6]. Поэтому анализ различных типов платформ, этапов строительства, применяемых строительных материалов, накопленного опыта по эксплуатации позволит в дальнейшем разработать оптимальные конструктивные решения и эффективные способы защиты сооружений с повышенным сроком службы, оптимизировать проектные расчёты по предельным состояниям железобетонных конструкций башенного типа с учётом коррозионных повреждений или предельных нагрузок [7].

Очевидно, что исследование исторических этапов появления бетонных и железобетонных платформ является актуальной задачей. Одним из истоков создания железобетонных гравитационных платформ можно считать лодку из железобетона, построенную французским инженером Ламбо. В работах [8–10] указывается, что Ламбо на основе армоцементных баков создал лодку. Точный год создания в настоящее время неизвестен, однако это произошло в период с 1848 по 1849 гг. Дювеса лодки была заменена на цементную конструкцию, армированную каркасом из металла. Днище армировалось из сетки, связанной из металлических стержней квадратного сечения. Лодка оштукатуривалась с двух сторон цементным раствором толщиной 4–5 см. Испытание лодки проходило на озере Besse-sur-Issole во Франции. Первые лодки Ламбо успешно эксплуатировались более 40 лет, доказав стойкость этого материала.

В дальнейшем это изобретение послужило основанием для развития целой отрасли в промышленности — судостроения с применением железобетона и армоцемента. В работе [11] отмечается, что плавучие железобетонные суда послужили прототипами для появления нефтяных платформ из этого материала. Это связано с тем, что заливка платформ, как и судов, осуществляется в «сухих» доках. Готовые платформы перемещаются к месторождению по воде. Немаловажным фактором является то, что на тот момент времени был накоплен значительный опыт по эксплуатации в морской воде приморских гидротехнических и оборонных сооружений, выполненных из бетонных и железобетонных конструкций. Срок службы некоторых объектов превышал 50 лет. В работе [12] указывается, что наибольший интерес для проектировщиков гравитационных платформ представляли маяки, построенные в Ирландском море и Ботническом заливе Атлантического океана. Несмотря на то что они намного меньше платформ, существует много общих черт с рассматриваемыми объектами.

Первой железобетонной нефтяной платформой с гравитационной базой считается резервуар-хранилище (рисунок 1, а), который был установлен на месторождении «Ekofisk» (норвежский сектор Северного моря). В

1970 г. правительством Норвегии было решено осуществлять коммерческую разработку этого месторождения. *Phillips Petroleum Company* (являющаяся владельцем участка, ныне *Conoco Phillips*) столкнулась с проблемой транспортировки нефти и газа из месторождения. Изначально планировалось осуществлять доставку углеводородного сырья на сушу с помощью танкеров по «челночной» схеме, заправка которых осуществлялась бы с двух одиночных буйев. Неустойчивая погода в районе препятствовала непрерывной погрузке, что могло привести к остановке нефтедобычи и, следовательно, к ограничению поставки сырья к потребителю. Согласно работе [13], при разработке технико-экономического обоснования реализации освоения месторождения «Ekofisk» в перспективе планировалось соединить нефтедобывающие платформы, выполненные по традиционной схеме (в металлическом каркасе), с берегом с помощью прокладки к нему трубопровода.

Во время проведения проектно-изыскательских работ *Phillips Petroleum Company* пришла к выводу о необходимости искать альтернативные решения по обеспечению непрерывной транспортировки сырья в связи с тем, что технологии по глубокой прокладке трубопроводов по дну моря были малоизученными. В начале 70-х гг. XX века существовал ряд трубопроводов в Листе (Норвегия), Роттердаме (Нидерланды) и Тиссайде (Англия), где их эксплуатация фактически носила экспериментальный характер, следовательно, вопросы стойкости этих трубопроводов в морской воде были малоизученными.

В работе [13] указывается, что *Phillips Petroleum Company* было предложено не-

сколько альтернативных решений, наиболее перспективными были: возведение искусственной гавани (рисунок 1, а) по типу волнореза и размещением на ней ёмкостей для хранения сырья; строительство нескольких ёмкостей, объединённых в единую конструктивную платформу (рисунок 1, б). В первом решении предложены две геометрические формы искусственной гавани: «подкова» — с открытой частью в направлении востока (данный вариант был выбран как наиболее предпочтительный); «крест», где танкеры могут использовать сторону причала гавани, которая наименее подвержена действию ветра и волн во время непогоды.

Весной 1971 г. *Phillips Petroleum Company* отклонила решение о постройке искусственной гавани, так как этот проект технически сложный и неэкономичный. В то же время решение о строительстве точечного резервуара стало более актуальным, так как ранее были построены и введены в эксплуатацию в Персидском заливе подобные сооружения из стали. *Phillips Petroleum Company* объявила дополнительный конкурс, на который были представлены четыре проекта: два варианта в стальном исполнении (США); два — в железобетонном (Франция). Необходимо отметить, что, согласно работе [13], первоначально компания склонялась к стальным резервуарам. При исследовании этих проектов компания выявила для себя существенные риски. Например, сложность транспортировки через Атлантический океан, так как строительство ёмкостного сооружения должно осуществляться на территории США, большие габариты конструкций, необходимость крепления объекта к морскому дну, что в условиях

а)

б)

Рисунок 1. Варианты размещения железобетонной нефтяной платформы [13]

шельфа «Ekofisk» считалось очень проблематичным. В результате компания переключилась на варианты проектов в железобетонном исполнении.

Варианты из железобетона были двух типов: подводный квадратный резервуар, установленный на морском дне; резервуар с отдельными ячейками для хранения и выступающей частью над уровнем моря. Подводный резервуар на момент рассмотрения *Phillips Petroleum Company* уже строился во Франции на дне Атлантического океана. Из-за отсутствия необходимого технического уровня науки и техники в области подводного бетонирования реализовать его не получилось — резервуар разрушился во время строительства. Несмотря на этот факт *Phillips Petroleum Company* было принято окончательное решение о строительстве резервуара с выступающей частью над уровнем моря для промежуточного хранения нефти.

Согласно работе [14], разработка проекта была поручена французской компании *C.G. Doris*. При проектировании резервуара эта компания столкнулась с рядом факторов, влияющих на конструктивное решение резервуара. Это конфигурация надводной части резервуара, глубина и грунтовые условия морского дна месторождения «Ekofisk», специальные требования по хранению нефти, совокупная величина полезной нагрузки от людей и оборудования, места размещения строительных площадок и буксировочные маршруты, качество гидротехнического бетона с требуемой прочностью и обеспечивающего первичную защиту арматурного каркаса и герметичность резервуара в течение 20 лет.

Первоначально резервуар представлял собой куб с сопряжением углов, образуя тем самым подобие цилиндра диаметром 90 м и высотой 93 м (рисунок 2). Внутри резервуар имел 9 взаимосвязанных ёмкостей общим объёмом 160000 м³, обеспечивающим хранение 1 млн т сырья. Вес резервуара составлял 290 тыс. т. Под резервуаром выполнен ребристый кессон [15, 16]. Наружный контур резервуара был представлен монолитной стеной с круглыми отверстиями, обеспечивающими гашение интенсивности волн Северного моря (рисунок 3, а).

Бетонирование резервуара началось в декабре 1971 г. в специально построенном сухом доке «Jåttåvågen» (Норвегия). Основными подрядчиками были норвежские строительные организации *Ing. F. Selmer u Hoyer-Ellefsen*. Согласно работе [17], объём бетона для строительства резервуара составил около 80000 м³. В работе [13] отмечается, что монолитные работы по возведению резервуара «Ekofisk» велись с постепенным погружением его в воду (рисунок 3). В свою очередь в работе [14] указывается, что последующие типы гравитационных платформ, например типа «Condeer», все строительно-монтажные работы полностью происходили уже на суше. Это связано с возможным затруднением выполнения технологических операций, выявленных при бетонировании резервуара «Ekofisk».

Резервуар был установлен 1 января 1973 г. в зоне добычи на глубине 70–75 м. В ноябре того же года, согласно работе [15], он подвергся нескольким штормам, что привело к работе конструкций в условиях воздействия предельно допустимых нагрузок.

Рисунок 2. Схема резервуара

В 1975 г. начал функционировать нефтепровод в Великобританию, поэтому ёмкости использовались для отделения углеводородов от шлама.

В 1989 г. потребовалось соорудить дополнительный барьер, который бы обеспечивал защиту от погружения платформы на морское дно. Например, в период с 1973 по 1984 гг. резервуар осел на 2–2,5 м [18]. Конструкция барьера выполнена из двух частей, соединённых

между собой в специальном замке, тем самым обеспечивая сплошную монолитную стену диаметром 140 м и весом 900 тыс. т. Строительство барьера проходило в 2 этапа (рисунок 4). На первом этапе — в сухом доке бетонировались две части барьера, которые потом транспортировались к месторождению (рисунок 4, а). На втором этапе — две половинки барьера соединялись и частично монтировались верхние стеновые панели (рисунок 4, б).

а)

б)

Рисунок 3. Резервуар в виде монолитной стены с круглыми отверстиями: вид изнутри (а), вид снаружи (б) [13]

а) [19]

б) [20]

в) [21]

Рисунок 4. Конструкция барьера

Работы на платформе прекратились в 1998 году. При этом плановый срок разработки месторождений оценивался в 30 лет.

С момента пуска первой железобетонной платформы только за период с 1973 по 1983 гг. было построено и установлено более 20 крупных железобетонных гравитационных платформ для добычи нефти и газа разных типов. В работе [22] инженер компании *C.G. Doris* указывает, что быстрое внедрение гравитационных платформ из бетона и железобетона, которые в течение нескольких лет усовершенствовали сотрудники *C.G. Doris*, привело к появлению конструктивных решений нового типа, включающих в себя: особенности размещения, геометрические формы, характер и размер усилий, действующих на конструкцию, методы строительства и установки на дно и т.д.

Уже появился ряд платформ, находящихся на консервации. Это связано с тем, что объем месторождения углеводородного сырья истощился. Эта участь не обошла и резервуар «Ekofisk», находящийся с 2009 г. в законсервированном виде (рисунок 5, а).

Очевидно, в будущем количество таких объектов будет только возрастать, так как объёмы месторождений углеводородов в мире сокращаются [25]. Консервация не даёт гаран-

тированной защиты экосистемы от загрязнений. Поэтому многие нефтяные компании совместно с экологическими организациями проводят поиск оптимальных решений утилизации этих платформ [26].

В настоящее время существует ряд концептуальных проектов по реновации платформ после эксплуатации на нефтяных месторождениях в качестве объектов, пригодных для комфортной жизнедеятельности человека [24, 27]. Эти решения (рисунок 5, б) основаны на использовании «зелёных» технологий в области электроэнергетики и создания устойчивой среды обитания человека на платформе. Например, энергоснабжение платформы планируется через солнечные батареи, ветровые турбины, ветровые или приливные электростанции.

Для реализации этих проектов необходимо: осуществлять оценку технического состояния кессона и несущих конструкций платформы, в том числе железобетонных элементов; выполнять необходимые расчёты по прогнозированию срока службы железобетона с учётом увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере Земли; в случае необходимости осуществлять мероприятия по восстановлению или усилению строительных конструкций.

а) [23]

б) [24]

Рисунок 5. Резервуар «Ekofisk»: в законсервированном виде (а), в рабочем состоянии (б)

Выводы

При анализе исследований по данному вопросу, приведённом при изучении работ [1–25], можно сделать выводы, что основные причины применения железобетона в нефтедобывающих платформах вызваны необходимостью:

- создания промежуточных резервуаров-хранилищ большой ёмкости;

- применения строительных материалов, обладающих необходимой несущей способностью, вызванной габаритами конструкции (глубиной погружения), а также ветровой и гололёдной нагрузкой;

- обеспечения стойкости строительных материалов в агрессивных средах в период до исчерпания запасов месторождений

и запредельного периода эксплуатации в случае возможного изменения назначения сооружения.

Опыт эксплуатации гравитационных платформ из бетона и железобетона в России небольшой. Во многих случаях авторами проектов или строителями данных сооружений

являются зарубежные организации. Поэтому в нашей стране необходимо разработать соответствующую нормативно-техническую документацию в области строительства и эксплуатации бетонных и железобетонных объектов на шельфах с учётом многофакторной агрессивной среды.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федоров П.А. Исторические аспекты появления железобетонных нефтедобывающих платформ гравитационного типа // Современные проблемы истории естествознания в области химии, химической технологии и нефтяного дела. Уфа: Реактив, 2017. С. 148–151.
2. Мовсум-заде Э.М., Мастобаев Б.Н., Мастобаев Ю.Б., Мовсум-заде М.Э. Морская нефть. Развитие технологий освоения морских арктических месторождений нефти и газа / Под ред. А.М. Шамазова. СПб.: Недра, 2008. 304 с.
3. Бородин В.В., Васьков Н.Н. и др. О создании и развитии специализированной верфи «Арктика — шельф» // Арктика и Север. 2014. № 17. С. 6–27.
4. Торопов Е.Е. Напряжённо-деформированное состояние и выбор рациональных параметров сталебетонных конструкций морских ледостойких платформ: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2004. 167 с.
5. Арктические проекты «Новатэка» [Электронный ресурс]. URL: http://www.sozvezdye.org/assets/templates/sozvezdye/files/magazine/27/Sozvezdye%204_27.pdf (дата обращения 22.12.2017).
6. Sharp J.V. The Use of Steel and Concrete in the Construction of North Sea Oil Production Platforms // Journal of Materials Science. 1979. No. 14. P. 1773–1799.
7. Бедов А.И., Габитов А.И. Инженерные сооружения башенного типа, технологические эстакады и опоры линий электропередачи. М.: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. 328 с.
8. Bosc J.-L., Chauveau J.-M. e.a. Joseph Monier et la naissance du ciment armé. Paris: Editions du Linteau, 2001. 182 p.
9. Joseph Lambot [Электронный ресурс]. URL: http://fr.wikipedia.org/wiki/Joseph_Lambot (дата обращения: 04.07.2017).
10. Федоров П.А. Формирование железобетона, как конструкционного материала строительного назначения // История науки и техники. 2017. № 11. С. 52–60.
11. Tor Ole Olsen, Olav Weider, Anders Myhr. Large Marine Concrete Structures: The Norwegian Design Experience // Large Floating Structures. 2014. P. 157–195.
12. Jakobsen B., Jenssen D.N. Recent Development of Offshore Concrete Structures. Nordisk Betong. 1988. No. 2–3. P. 25–30.
13. Kvendseth S.S. Giant Discovery: A History of Ekofisk Through the First 20 Years. Phillips, 1988. 224 p.
14. Clauss G., Lehmann E., Østergaard C. Offshore Structures: Conceptual Design and Hydromechanics. Springer, 2014. Vol. I: 340 p.
15. Clausen C.J.E., Dibiagio E., Dancun J.M., Andersen K.H. Observed Behavior of the Ekofisk Oil Storage Tank Foundation // Proceedings of the 7th Annual Offshore Technology Conference. 1975. Vol. 3. P. 399–413.
16. Eide O., Andersen K.H. Guest Lecture — Foundation Engineering for Gravity Structures in the Northern North Sea // International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering / Norges geotekniske institutt. 1984. P. 1627–1678.
17. Lenschow R.J. Concrete Platforms in the North Sea and Some Related Research on Fatigue // Ocean Space Utilization. 1985. P. 687–695.
18. Ekofisk Is Sinking [Электронный ресурс]. URL: https://www.nb.no/ekofisk/getfile.php?collection=tiden&url=no-nb_digavisside_400303 (дата обращения: 24.12.2017).
19. Maritime Topics [Электронный ресурс]. URL: <http://forum.gcaptain.com/t/pictures-of-ships-tugs-off-shore-rigs-barges-and-those-who-work-them/8454/801> (дата обращения: 20.12.2017).
20. Oil and Gas Fields in Norway Industrial Heritage Plan [Электронный ресурс]. URL: http://www.norskolje.museum.no/wp-content/uploads/2016/02/3467_a5d07851f7e946719abc2a71f46ff81d.pdf (дата обращения: 24.12.2017).
21. Tormod Austad Ekofisk Tank Topside Removal Project [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ptil.no/getfile.php/131623/z%20Konvertert/Helse%2C%20milj%C3%B8%20og%20sikkerhet/Sikkerhet%20og%20arbeidsmilj%C3%B8/Dokumenter/pconocophilipsptilfjerningsseminar.pdf> (дата обращения: 08.06.2017).
22. Zaleski-Zamenhof L.C., Doris C.G. The Ninian Concrete Platform in the North Sea // Case Histories in Offshore Engineering. P. 125–165.
23. Consent for Abandonment of Ekofisk 2/4-T [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psa.no/news/consent-for-abandonment-of-ekofisk-2-4-t-article5371-878.html> (дата обращения: 23.12.2017).
24. Oil Rigs: The Salty Future of Sustainable Housing? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mnn.com/your-home/remodeling-design/blogs/oil-rigs-the-salty-future-of-sustainable-housing> (дата обращения: 21.12.2017).
25. Валиев Ш.З., Федорова О.А. Оптимизация вертикально-интегрированных нефтяных компаний в условиях уменьшения доказанных запасов нефти // Итоги научно-исследовательской деятельности 2016: изобретения, методики, инновации: сб. матер. XVII Международной научно-практической конференции. М.: Олимп, 2016. С. 188–190.

26. Penney P.W. Abandonment of North Sea Platforms // Underwater Technology — 1995. Report on a Conference, held 22–23 June 1995. London, 1995. Vol. 21. No. 2. P. 47–49.

27. The Luxurious Afterlives of Abandoned Sea Forts and Oil Rigs [Электронный ресурс]. URL: <https://io9.gizmodo.com/the-luxurious-afterlives-of-abandoned-sea-forts-and-oil-1227566417> (дата обращения: 21.12.2017).

REFERENCES

1. Fedorov P.A. Istoricheskie aspekty poyavleniya zhelezobetonnykh neftedobyvayushchikh platform gravitatsionnogo tipa [The Historical Aspects of the Appearance of Reinforced Concrete Oil-Producing Platforms of the Gravitational Type]. *Sovremennye problemy istorii estestvoznaniya v oblasti khimii, khimicheskoi tekhnologii i neftyanogo dela* [Modern Problems of the History of Natural Science in the Field of Chemistry, Chemical Technology and Petroleum]. Ufa, Reaktiv Publ., 2017. pp. 148–151. [in Russian].

2. Movsum-zade E.M., Mastobaev B.N., Mastobaev Yu.B., Movsum-zade M.E. Morskaya neft'. *Razvitiye tekhnologii osvoeniya morskikh arkticheskikh mestorozhdenii nefti i gaza* [Sea Oil. Development of Technologies for Development of Offshore Arctic Oil and Gas Fields]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2008. 304 p. [in Russian].

3. Borodin V.V., Vas'kov N.N. e.a. O sozdanii i razvitiі spetsializirovannoi verfi «Arktika — shel'f» [On the Creation and Development of Specialized Shipyard «Arctic — Shelf»]. *Arktika i Sever — Arctic and the North*, 2014, No. 17, pp. 6–27. [in Russian].

4. Toropov E.E. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie i vybor ratsional'nykh parametrov stalebetonnykh konstruksii morskikh ledostoikikh platform: dis. kand. tekhn. nauk* [Stress-Strain State and Choice of Rational Parameters of Steel-Concrete Structures of Marine Ice-Resistant Platforms: Cand. Tekhn. Sci. Diss.]. Saint-Petersburg, 2004. 167 p. [in Russian].

5. *Arkticheskie proekty «Novateka»* [Arctic Projects of Novatek] [Electronic Resource]. URL: http://www.sozvezdye.org/assets/templates/sozvezdye/files/magazine/27/Sozvezdye%204_27.pdf (accessed 22.12.2017). [in Russian].

6. Sharp J.V. The Use of Steel and Concrete in the Construction of North Sea Oil Production Platforms. *Journal of Materials Science*, 1979, No. 14, pp. 1773–1799.

7. Bedov A.I., Gabitov A.I. *Inzhenernye sooruzheniya bashennogo tipa, tekhnologicheskie estakady i opory linii elektroperedachi* [Engineering Structures of a Tower Type, Technological Overpasses and Power Transmission Line Supports]. Moscow, 2017. 328 p. [in Russian].

8. Bosc J.-L., Chauveau J.-M. e.a. *Joseph Monier et la naissance du ciment armé*. Paris, Editions du Linteau, 2001. 182 p.

9. *Joseph Lambot* [Electronic Resource]. URL: http://fr.wikipedia.org/wiki/Joseph_Lambot (accessed 04.07.2017).

10. Fedorov P.A. Formirovanie zhelezobetona, kak konstruksionnogo materiala stroitel'nogo naznacheniya [Formation of Reinforced Concrete, as Construction Material of Construction Purpose]. *Istoriya nauki i tekhniki*

— *History of Science and Engineering*, 2017, No. 11, pp. 52–60. [in Russian].

11. Tor Ole Olsen, Olav Weider, Anders Myhr. Large Marine Concrete Structures: The Norwegian Design Experience. *Large Floating Structures*, 2014, pp. 157–195.

12. Jakobsen B., Jenssen D.N. Recent Development of Offshore Concrete Structures. *Nordisk Betong*, 1988, No. 2–3, pp. 25–30.

13. Kvendseth S.S. *Giant Discovery: A History of Ekofisk Through the First 20 Years*. Phillips, 1988. 224 p.

14. Clauss G., Lehmann E., Østergaard C. *Offshore Structures: Conceptual Design and Hydromechanics*. Springer, 2014, Vol. I: 340 p.

15. Clausen C.J.E., Dibiagio E., Dancun J.M., Andersen K.H. Observed Behavior of the Ekofisk Oil Storage Tank Foundation. *Proceedings of the 7th Annual Offshore Technology Conference*, 1975, Vol. 3, pp. 399–413.

16. Eide O., Andersen K.H. Guest Lecture — Foundation Engineering for Gravity Structures in the Northern North Sea. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Norges Geotekniske Institutt*, 1984, pp. 1627–1678.

17. Lenschow R.J. Concrete Platforms in the North Sea and Some Related Research on Fatigue. *Ocean Space Utilization*, 1985, pp. 687–695.

18. *Ekofisk Is Sinking* [Electronic Resource]. URL: https://www.nb.no/ekofisk/getfile.php?collection=tiden&url=no-nb_digavisside_400303 (accessed 24.12.2017).

19. *Maritime Topics* [Electronic Resource]. URL: <http://forum.gcaptain.com/t/pictures-of-ships-tugs-off-shore-rigs-barges-and-those-who-work-them/8454/801> (accessed 20.12.2017).

20. *Oil and Gas Fields in Norway Industrial Heritage Plan* [Electronic Resource]. URL: http://www.norskolje.museum.no/wp-content/uploads/2016/02/3467_a5d07851f7e946719abc2a71f46ff81d.pdf (accessed 24.12.2017).

21. *Tormod Austad Ekofisk Tank Topside Removal Project* [Electronic Resource]. URL: <http://www.ptil.no/getfile.php/131623/z%20Konvertert/Helse%2C%20milj%C3%B8%20og%20sikkerhet/Sikkerhet%20og%20arbeidsmilj%C3%B8/Dokumenter/pconocophillipsptilfjerningsseminar.pdf> (accessed 08.06.2017).

22. Zaleski-Zamenhof L.C., Doris C.G. The Ninian Concrete Platform in the North Sea. *Case Histories in Offshore Engineering*, pp. 125–165.

23. Consent for Abandonment of Ekofisk 2/4-T [Electronic Resource]. URL: <http://www.psa.no/news/consent-for-abandonment-of-ekofisk-2-4-t-article5371-878.html> (accessed 23.12.2017).

24. Oil Rigs: The Salty Future of Sustainable Housing? [Electronic Resource]. URL: <https://www.mnn.com/your-home/remodeling-design/blogs/oil-rigs-the-salty-future-of-sustainable-housing> (accessed 21.12.2017).

25. Valiev Sh.Z., Fedorova O.A. Optimizatsiya vertikal'no-integrirrovannykh neftyanykh kompanii v usloviyakh umen'sheniya dokazannykh zapasov nefti [Optimization of Vertically Integrated Oil Companies in Terms of Reducing Proven Oil Reserves]. *Sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Itogi nauchno-issledovatel'skoi deyatel'nosti 2016: izobreteniya, metodiki, innovatsii»* [Collection of

Materials of XVII International Scientific and Practical Conference «Results of Research Activities 2016: Inventions, Techniques, Innovations». Moscow, Olimp Publ., 2016, pp. 188–190. [in Russian].

26. Penney P.W. Abandonment of North Sea Platforms. Underwater Technology — 1995. Report on a Conference,

held 22–23 June 1995. London, 1995, Vol. 21, No. 2, pp. 47–49.

27. *The Luxurious Afterlives of Abandoned Sea Forts and Oil Rigs* [Electronic Resource]. URL: <https://io9.gizmodo.com/the-luxurious-afterlives-of-abandoned-sea-forts-and-oil-1227566417> (accessed 21.12.2017).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Федоров П. А., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

P. A. Fedorov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Construction Materials Department, FSBEI «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: fpa_idpo@mail.ru

Абдуллин М. М., кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры комплексного инжиниринга и компьютерной графики, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

M. M. Abdullin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of Complex Engineering and Computer Graphics Department, FSBEI «USPTU», Ufa, Russian Federation

Абдуллин В. М., кандидат технических наук, руководитель департамента технического сервиса ООО «Промышленные технологии», г. Уфа, Российская Федерация

V. M. Abdullin, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Technical Service Department, Industrial Technologies LLC, Ufa, Russian Federation

Мусакаев И. Х., магистрант кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

I. Kh. Musakaev, Undergraduate Student of Construction Materials Department, FSBEI «USPTU», Ufa, Russian Federation