

УДК [622.32:51.351.2]:624.131.3

Специфика комплексных морских инженерных изысканий и оценка опасностей геологических процессов для проектируемых объектов подводного добычного комплекса шельфовых месторождений Киринского блока о. Сахалин

А.А. Новиков

ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск», Российская Федерация, 693000,
г. Южно-Сахалинск, ул. Детская, д. 4
E-mail: AA_Novikov@shelf-dobycha.gazprom.ru

Ключевые слова: обустройство морских месторождений, надежность, безопасность, оценка рисков, морские инженерные изыскания, месторождения Киринского блока о. Сахалин.

Тезисы. В настоящее время интенсивность работ по освоению континентального шельфа неуклонно растет. По мере реализации шельфовых проектов и увеличения добычи энергоресурсов наблюдается рост количества аварий и инцидентов в процессе обустройства и эксплуатации месторождений по всему миру. В статье на примере шельфовых месторождений Киринского блока о. Сахалин рассматриваются актуальные вопросы комплексных морских инженерных изысканий и методологии оценки морских геологических опасностей.

Для успешной реализации шельфовых проектов и обеспечения проектного режима эксплуатации на начальном этапе проектирования необходимо выполнить оценку потенциальных опасностей, с которыми промысловые объекты могут столкнуться на протяжении своего жизненного цикла, и обеспечить минимизацию этих рисков [1, 2]. В целях предварительного выявления, описания, систематизации и ранжирования возможных опасностей могут применяться разнообразные качественные и полуколичественные методы, например:

- инженерно-геологических аналогий;
- идентификации источников опасности (HAZID);
- сценарный и др.

Применительно к объектам обустройства морских месторождений следует выделить три основные группы опасностей – техногенные, природные и геологические, с которыми можно столкнуться в ходе реализации морских проектов.

К *техногенным* опасностям относятся:

- трубопроводы (на морском дне и заглубленные);
- объекты добычи и инфраструктуры;
- затонувшие корабли, самолеты и подводные лодки;
- законсервированные скважины;
- неразорвавшиеся боеприпасы и взрывоопасные предметы;
- навигационные буи и бакены;
- объекты археологического наследия;
- гидротехнические сооружения (добывающие платформы, буны, волноломы, берегоукрепительные сооружения);

- навигация судов и рыболовный промысел.

Среди *природных* опасностей:

- волнение морской поверхности;
- ветер;
- течения;
- ледовая обстановка;
- рифы.

Под *геологическими* опасностями подразумеваются:

- рельеф морского дна;
- донные осадки;
- илистые отложения;
- гравийные отложения;
- скалистое дно;
- подводные склоны;
- тектонические нарушения;
- скопление газогидратов (проявляется в форме вспучивания морского дна);
- сейсмическая активность;
- скопления мелкозалегающего газа;
- зоны аномально высокого пластового давления (АВПД).

Регионы реализации проектов отличаются друг от друга как природно-климатическими и геологическими условиями, так и степенью изученности, в связи с чем велика вероятность столкновения с опасностями, не вошедшими в приведенный выше перечень.

Риски проектирования объектов обустройства месторождений можно типизировать по видам объектов и группам опасностей (таблица).

Минимизация опасностей и их негативного влияния достигается проведением ряда мероприятий, направленных на оценку риска потенциальных техногенных, природных и геологических опасностей. В первую очередь производится сбор исходных данных, состоящих из материалов по инженерно-геологическим и гидрометеорологическим условиям в месте реализации проекта, сведений о проводимых ранее строительно-монтажных работах, информации о наличии техногенных объектов. Далее оценивается уровень риска потенциальных опасностей (рис. 1). В случае если результаты оценки положительные (риски минимальны) и имеющихся материалов достаточно для реализации проекта, процесс оценки считается завершенным.

В противном случае, если риски потенциальных опасностей велики или для окончательной оценки недостаточно материалов, осуществляется подготовка технического задания на выполнение комплексных инженерных изысканий, обоснование объемов изысканий согласно программе работ и проведение

Факторы риска объектов проектирования и виды изысканий, выполняемые для минимизации рисков

Группа опасностей	Тип объекта		Инженерные изыскания
	основания объектов обустройства, сооружений и оборудования	трубопроводы различного типа и кабели подключения	
Техногенные	Угроза безопасности; препятствия для установки, функционирования и долговечности; изменение прочностных характеристик грунтов; риск нанесения ущерба третьим лицам; повреждение/разрушение объектов историко-культурного наследия*	Угроза безопасности; препятствия для установки, функционирования и долговечности; влияние прочностных характеристик грунтов; риск нанесения ущерба третьим лицам*	Обследование и идентификация морского дна с помощью гидролокаторов бокового обзора (ГБО); непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП); одно-, многолучевого эхолота; магнитометрии; телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА)
Природно-климатические	Препятствия и угрозы для установки, функционирования и долговечности; изменение прочностных характеристик подушки оснований; влияние природно-климатических условий, агрессивность окружающей среды; негативное воздействие на окружающую среду*	Препятствия и угрозы для установки, функционирования и долговечности; влияние природно-климатических условий, агрессивность окружающей среды; негативное воздействие на окружающую среду*	Обследование, идентификация и картирование морского дна с помощью ГБО; НСП; одно-, многолучевого эхолота; магнитометрии; ТНПА. Отбор проб с помощью пробоотборников различного типа, самопогружающихся грунтоносов, вибропробоотборников; выполнение статического зондирования
Геологические	Влияние показателей донных грунтов и пород на выбор типа и размера основания для безопасной установки, функционирования и долговечности оборудования; влияние латеральной изменчивости геологической структуры и показателей пород по площади расположения объектов на выбор типа фундамента**	Влияние показателей донных грунтов и пород на установку заглубленных систем трубопроводов/ кабелей, их функционирование и долговечность; влияние латеральной изменчивости геологической структуры и показателей пород по площади расположения объектов на выбор метода установки**	Высокоразрешающая сейсмика (ВРС), сейсмическая разведка вдоль трассы трубопровода/кабеля методом преломленных волн; геотехническое бурение, статическое зондирование и отбор проб

* При столкновении с рисками этого вида возможны перемещение объекта или корректировка проекта.

** Риски приводят к необходимости оптимизации схемы расположения объектов и/или корректировке проекта. Также данные факторы оказывают влияние на безопасность проведения геотехнических исследований (бурения и пробоотбора).

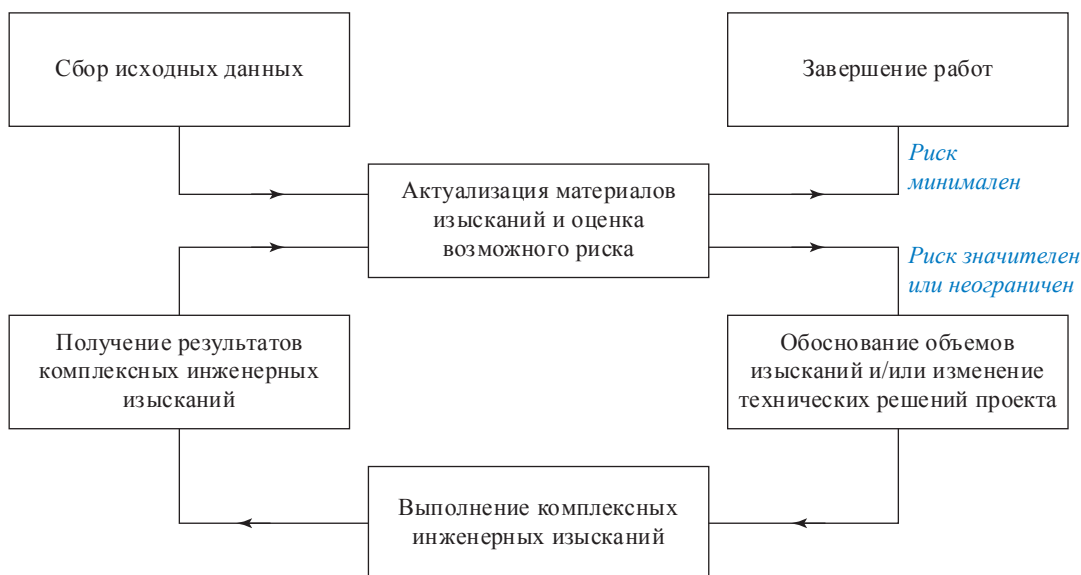


Рис. 1. Процесс оценки риска потенциальных опасностей

комплексных инженерных изысканий с последующей актуализацией материалов для оценки рисков. В случае когда риски потенциальных опасностей все еще остаются большими, основные проектные решения подлежат корректировке, по итогам которой при необходимости может потребоваться проведение уточняющих комплексных инженерных изысканий. Данный цикл повторяется, пока не будут подтверждены полнота имеющихся материалов и минимизация возможных рисков для успешной реализации проекта.

В настоящее время в Российской Федерации прорабатывается вопрос реализации проектов освоения шельфовых месторождений арктических и дальневосточных морей, среди которых особое внимание стоит уделить проектам обустройства Киринского и Южно-Киринского газоконденсатных месторождений, входящих в состав Киринского блока. Впервые в российской инженерной практике при обустройстве месторождения с применением морского технологического комплекса использована технология подводной системы добычи. Это позволяет избежать целого ряда проблем, связанных с тяжелыми гидрометеорологическими условиями о. Сахалин, и полностью нейтрализует некоторые виды природных опасностей (такие как ледовые воздействия, волнение моря).

В условиях Охотского моря чрезвычайно опасными процессами являются землетрясения и подвижки по активным разломам, цунами,

разжижение грунтов, особенно для площадных подводных объектов обустройства. Серьезную проблему при проектировании и строительстве скважин представляют так называемые газовые карманы в приповерхностной толще осадочных пород с АВПД. Разгерметизация такого кармана в ходе бурения может привести к прорыву газа, прихвату колонны, поглощению бурового раствора, образованию котлована и загазованности водной толщи. К береговым опасностям можно отнести эрозию дна и торошение в прибрежной зоне.

В настоящее время в ходе обустройства месторождений Киринского блока и оценки рисков выделяются следующие группы основных угроз для эксплуатационной надежности объектов морского технологического комплекса.

1. *Тектоника и сейсмическое воздействие.* Устойчивость и возможные смещения объектов обустройства при сейсмических воздействиях определяются устойчивостью и возможными смещениями их фундаментов и опорных оснований, напрямую зависящими от грунтовых условий расположения объектов. Учитывая, что шельф о. Сахалин находится в сеймоопасной зоне, имеющиеся сейсмические риски необходимо учитывать при проектировании объектов обустройства.

2. *Наличие зон залегания приповерхностного газа.* Газонасыщенные осадки и изолированные линзы придонного газа регулярно встречаются при бурении в различных частях Мирового океана, что указывает

на их широкое, практически повсеместное, распространение. Всемирная история шельфового бурения насчитывает ряд случаев аварий и катастроф, связанных с проявлениями придонного газа, последствиями которых стали существенные повреждения технических устройств (вплоть до потери установок) и человеческие жертвы (например, буровая баржа С.Р. Baker, 30.06.1964, буровое судно Petromar 27.08.1981 и пр.).

3. *Геодинамические процессы (регрессивный прогиб морского дна)*. В ходе разработки углеводородного сырья высока вероятность негативных технических и экологических последствий, связанных с развитием геодинамических процессов при выработке запасов месторождений на суше и континентальном шельфе. Опасные геодинамические процессы связаны с деформацией поверхности морского дна. Примерами тому могут служить месторождения Экофиск в Норвегии (оседание – 7,8 м) и Уилмингтон в США (оседание – 9 м).

Для минимизации рисков и снижения возможных неблагоприятных последствий необходимо решить следующие задачи:

1) оценить устойчивость и возможные смещения фундаментов и опорных оснований при сейсмических воздействиях с учетом специфики грунтовых условий;

2) обнаружить зоны расположения приповерхностного газа;

3) выполнить прогноз регрессивного прогиба морского дна.

Перечисленные меры следует осуществлять совместно, так как последствия обозначенных опасностей тесно взаимосвязаны. Так, газопроявление может быть последствием сейсмического воздействия на линзу придонного газа, а деформация поверхности морского дна – последствием газопроявления.

Для решения данных проблем и успешной реализации шельфовых проектов на этапе обустройства необходимы комплексные морские инженерные изыскания. Качество их проведения и корректная интерпретация полученных данных в значительной степени влияют на успешные результаты проектирования и эксплуатационную надежность объектов обустройства. Комплекс морских инженерных изысканий для шельфовых проектов подразумевает:

1) *инженерно-геодезические (гидрографические) изыскания* с целью получения карт

рельефа морского дна и обеспечения других видов изысканий;

2) *инженерно-гидрометеорологические изыскания*, а именно: анализ гидрологических, метеорологических условий, литодинамические и гляциологические исследования. Последние два вида исследований играют немаловажную роль на данном этапе. Литодинамические исследования заключаются в изучении литолого-геоморфологических условий, рельефа дна и береговой линии, воздействия ледовых образований на дно и оценке динамики наносов. На основе их результатов возможны построение моделей процессов перемещения наносов под влиянием течений и волн; последующее выявление участков размыва дна, аккумуляции наносов; определение источников их поступления, особенностей потоков и прогнозирование направления перемещения. Гляциологические исследования обеспечивают данные о скорости и траектории движения ледников и айсбергов в северных и арктических широтах;

3) *инженерно-экологические изыскания*, позволяющие оценить состояние морской экосистемы в районе проведения работ и прогнозировать возможные изменения окружающей среды под влиянием антропогенной нагрузки с целью минимизации или предотвращения вредных и нежелательных экологических последствий в результате выполнения работ на акватории;

4) *инженерно-геологические изыскания*, которые составляют основной объем комплексных инженерных изысканий и делятся на два подтипа: инженерно-геофизические и инженерно-геотехнические. Цель изысканий – комплексное изучение инженерно-геологических условий района реализации проекта в общем и конкретных площадок и трасс в частности. При этом определяются: геологическое строение; сейсмотектонические, геоморфологические, гидрогеологические и геокриологические условия; состав, свойства, температура и состояние грунтов; наличие опасных геологических процессов и явлений (тектонических нарушений, зон приповерхностного газа и разгрузки подземных вод). Также особое внимание уделяется сейсмическому микрорайонированию, входящему в состав сейсмологических исследований, для уточнения оценок сейсмических воздействий. Геотехнические изыскания желательнее проводить совместно с геофизическими и определять точки бурения и пробоотбора

на площадках и трассах, а также необходимую глубину бурения на основе материалов каротажа. В противном случае геотехнические изыскания в районе реализации проекта будут проводиться вслепую, что может привести к негативным последствиям.

Отличительная черта комплексных морских инженерных изысканий – необходимость привлечения специализированных судов, плавучих установок и понтонов для выполнения работ (исключением являются арктические зоны, где работы можно выполнять со льда). В силу специфики морских условий к проводимым работам предъявляются особые требования, напрямую влияющие на успех их выполнения. Необходимо использовать современные и эффективные способы бурения, методы геодезической привязки, оборудование для осуществления промеров, съемок и наблюдений.

Относительно отечественной практики выполнения комплексных морских инженерных изысканий можно отметить, что в части техники и технологии мы не уступаем зарубежным странам. В российских компаниях успешно используется современное оборудование, проводятся испытания грунта в лабораториях и *in situ*, на основании полученных данных определяются напряжения, деформации и прочностные характеристики сложных геотехнических систем с учетом взаимодействия оснований сооружений с грунтами на этапах строительства и эксплуатации. Как и за рубежом, в России применяется специализированное программное обеспечение для выполнения расчетов, построения моделей, прогнозирования и мониторинга. Главные различия наблюдаются в организационном подходе к проведению изысканий на стадии проектно-изыскательских работ при реализации проекта, а также в нормативно-правовой и рекомендательной базах^{1,2}. Причем оба этих аспекта тесно взаимосвязаны.

Основная российская особенность заключается в том, что заказчик не может определять состав и объем работ, методику и технологию

их выполнения, им прописываются только сведения об объекте изысканий и основные требования к отчетным материалам и результатам изысканий. Это изложено в общих положениях актуального в настоящее время СП 47.13330.2016.

Традиционно вопросами объемов и методики работ занимается непосредственно исполнитель при формировании программы работ, являющейся основным организационно-руководящим, техническим и методическим документом при выполнении инженерных изысканий. Программа работ в обязательном порядке согласовывается заказчиком и утверждается исполнителем.

Опыт показывает, что крупные организации-заказчики при реализации проекта работают с организацией – генеральным проектировщиком (как правило, это научно-исследовательские проектные институты). Последний берет на себя ответственность за осуществление всего комплекса изысканий, полноту и достаточность материалов по результатам его выполнения. Однако зачастую генеральный проектировщик выполняет своими силами только один или два вида изысканий, нанимая для выполнения оставшихся работ субподрядные организации. Таким образом, в организационном плане заказчик как минимум «на шаг» отдалается от непосредственного исполнителя работ.

За рубежом также принят аутсорсинговый подход², когда конкретные виды работ выполняются специализированными компаниями. У таких подрядчиков может не быть специалистов-интерпретаторов и инженеров, занимающихся камеральной обработкой материалов или лабораторными исследованиями, – они выполняют лишь съемку, бурение и т.д. Вместе с тем встречаются консалтинговые фирмы, обладающие штатом специалистов – геологов, геотехников или супервайзеров.

Следует отметить, что в отличие от России в зарубежной практике распространен подход, при котором организация-заказчик обладает собственным штатом специалистов:

¹ См.: СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2017; СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004; СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. I: Общие правила производства работ. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997.

² Guidance notes for the planning and execution of geophysical and geotechnical ground investigations for offshore renewable energy developments. – SUT, Offshore site investigation and geotechnics committee, 2014; Eurocode 7: Geotechnical design. – 1997. – Pts. 1–3; ISO 19901-8:2014. Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures. Pt. 8: Marine soil investigations. – 2014.

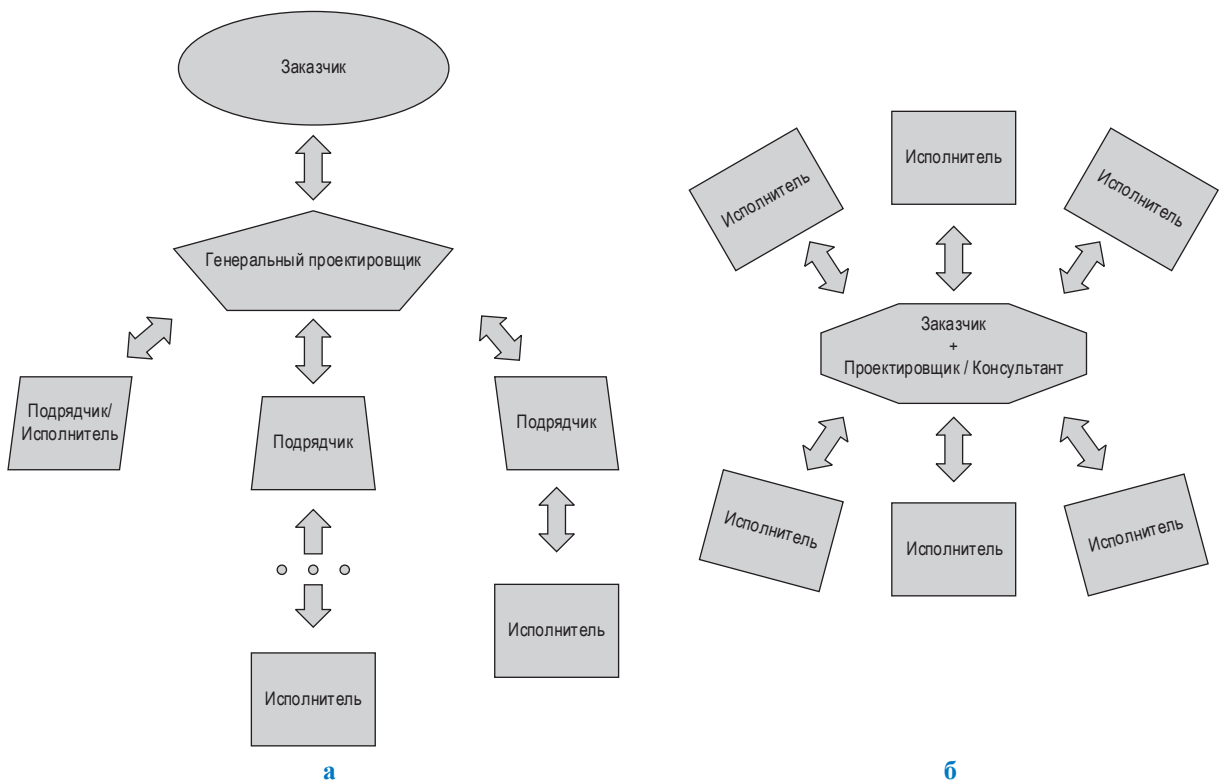


Рис. 2. Организационные схемы выполнения изысканий:
а – отечественная модель; б – зарубежная модель

инженеров-изыскателей (геологов, геотехников и т.д.) и проектировщиков, осуществляющих контроль не только на стадии камеральной обработки данных, но также при выполнении полевых работ, выступая в качестве супервайзеров и обладая полномочиями корректировать объемы и виды работ в ходе их выполнения. Помимо профессионального опыта и знаний данные специалисты обладают представлением о технических деталях проектируемых объектов, ограничениях по эксплуатации и нагрузкам, создаваемым при взаимодействии объектов с естественным основанием грунтов. Такие организации заключают контракты непосредственно с исполнителем работ, который отвечает только за достоверность результатов. Всю дальнейшую ответственность за полноту и достаточность объемов несет непосредственно заказчик (а также проектировщик и/или консультант, если таковые привлекались к работам).

Модель, в основе которой лежит личная заинтересованность заказчика в результатах изысканий и их надежности, представляется более эффективной и результативной. Для наглядности на рис. 2 изображены рассмотренные выше

модели организационных подходов к выполнению изысканий.

Основное отличие представленных моделей заключается в возможности заказчика при выборе второго варианта (см. рис. 2б) контролировать в ходе выполнения работ необходимый и достаточный объем изысканий, учитывающий как сложность объекта проектирования, так и геологические условия, физико-механические свойства донных грунтов и пород района проектирования. Выбор данной модели гарантирует эффективность и качество результатов изысканий, а также сокращение капитальных затрат по проекту.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: западная модель организации изысканий предпочтительнее, но в настоящее время ее внедрение в отечественную практику невозможно ввиду ограничений, диктуемых основными нормативно-правовыми и рекомендательными документами Российской Федерации.

Следует отметить, что в соответствии с приказом Министерства строительства

и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14.12.2016 № 940п утвержден План разработки и утверждения сводов правил и актуализации ранее утвержденных строительных норм и правил, сводов правил на 2017 г. Предусмотрено формирование 10 сводов правил проведения инженерных изысканий, охватывающих все существующие виды изысканий, в том числе инженерные изыскания на континентальном шельфе.

Список литературы

1. Лисанов М.В. Аварийность на морских нефтегазовых объектах / М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.В. Савина и др. // *Oil and Gas Journal*. – 2010. – № 5 (39). – С. 48–53.
2. Aird P. *Assessing geo-hazards* / P. Aird. – Stavanger, Norway: BP Norge AS, 2010.

Specifics of integrated marine engineering surveys and evaluation of geological hazards for objects of the subsea production facilities at the Sakhalin offshore fields belonging to the Kirinskiy block

A.A. Novikov

Gazprom Dobycha shelf Yuzhno-Sakhalinsk LLC, Bld. 4, Detskaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation
E-mail: AA_Novikov@shelf-dobycha.gazprom

Abstract. The paper examines challenges, as well as domestic and foreign practices and methodology of performing complex geotechnical investigations preceding implementation of offshore hydrocarbon production projects. The problem is studied on example of Kirinskiy block deposits at Sakhalin.

A broad overview of the main features and specificity of complex offshore geotechnical investigations is given. Potential hazards of the projects are listed and the process of correspondent risks assessing is exposed.

Comparative analysis of applied standards and procedures of engineering surveying practiced in Russia and foreign countries is suggested, advantages and disadvantages are considered.

Keywords: field facilities, reliability, safety, risk factors, assessment of risks, marine engineering surveys, fields of the Kirinskiy block at the Sakhalin Island.

References

1. LISANOV, M.V., S.I. SUMSKOY, A.V. SAVINA et al. Accident rate at the offshore oil-gas facilities [Avariynost na morskikh neftegazovykh obyektakh]. *Oil and Gas Journal*. 2010, no. 5(39), pp. 48–53. ISSN 0030-1388. (Russ.).
2. AIRD, P. *Assessing geo-hazards*. Stavanger, Norway: BP Norge AS, 2010.