

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУР КОМПЛЕКСОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА НА ШЕЛЬФЕ

Е. Г. Серова, А. С. Портной (Санкт-Петербург)

Одной из главных черт новой экономической системы, пришедшей вслед за периодом индустриализации, является то, что она характеризуется возрастанием роли информационных ресурсов, широким применением знаний в области информационных технологий и называется инновационной. Очевидно, что роль информационно-технологических инноваций, в том числе применение интеллектуальных систем и методов моделирования, сейчас, в период острой конкурентной борьбы, велика, как никогда.

С другой стороны, дальнейшее развитие современного общества также неразрывно связано с интенсивным ростом потребления топливно-энергетических ресурсов во всех сферах промышленности. Между тем, запасы нефти и газа в большинстве нефтегазоносных районов суши истощены. В связи с этим за последние десятилетия резко возрос интерес к проблеме освоения ресурсов нефти и газа на шельфе. Причем совершенно очевидно, что без эффективной разработки и внедрения инноваций эту проблему не решить. Непрерывное освоение новых технологий является сейчас одним из приоритетных направлений развития нефтедобывающей и газовой отраслей России.

Российская Федерация традиционно является одной из ведущих энергетических держав. На ее долю приходится седьмая часть суммарного производства энергоносителей в мире. Освоение шельфа требует нового инновационного подхода к реализации проектов, позволяющих при ограниченности финансовых средств и материально-технических ресурсов обеспечить за короткий период стабильную добычу нефти и газа и их переработку.

Очевидно, что нефтегазовая промышленность России располагает достаточной природно-сырьевой базой, что позволит укрепить отечественный топливно-энергетический потенциал на технологической и хозяйственной основе с максимальной эффективностью. К 2010 году планировалось довести добычу газа на шельфе до 56 млрд. м³, а нефти до 25 млн. т. в год, в том числе на побережье до 5 млн., однако технико-экономические проблемы, возникшие при реализации ряда проектов (Колгуевский, Варандейский, Приразломное и др.) более чем в 5 раз уменьшили эти цифры.

Широкие и долгосрочные перспективы для морской добычи нефти и газа существуют на шельфе Дальневосточного и Восточно-Сибирского регионов. Площадь перспективных нефтегазоносных районов здесь составляет (без учета Сахалина и прилегающего к нему шельфа) около 1,5 млн. км², а прогнозные извлекаемые запасы углеводородов оцениваются миллиардами тонн условного топлива. Практически все запасы сосредоточены в акваториях Охотского, Берингова, Чукотского и Восточно-Сибирского морей, где в общей сложности удалось выявить более 20 нефтегазоносных и потенциальных нефтегазоносных бассейнов разной геотектонической природы.

Наиболее интенсивно осваивается шельф Сахалина, высокая нефтегазоносность которого давно установлена и исследуется в течение последних 20 лет. Сюда привлечены внимание и капиталы ряда крупных нефтяных компаний, таких как «Magaphon», «Shell», «Exxon», «Sodeco», «British Petroleum» и других. Эти компании работают на восточном и северо-восточном участках сахалинского шельфа в рамках проектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2». Разрабатываются проекты «Сахалин-3», «Сахалин-4» и «Сахалин-5».

Опыт разработки морских месторождений нефти и газа в России показывает, что для комплексного решения технико-экономических задач при проектировании разработки месторождений углеводородов, а также для оперативного и эффективного управления процессами морской нефтегазодобычи необходимо рассматривать интегральные параметры, характеризующие его в полном объеме. Решение подобного рода задач можно получить, используя преимущества имитационного моделирования. Применение подобных методов и использование новейших компьютерных технологий позволяют успешно решать вопросы проектирования и управления процессами эффективной разработки месторождений нефти и газа в морских условиях (Серова, 2005).

На всех этапах освоения морских нефтяных и газовых месторождений континентального шельфа используются суда, а также буровые и другие плавучие технические средства (ПТС), входящие в состав нефтегазопромыслового флота (НГФ). Освоение шельфа замерзающих морей России не имеет аналогов и представляет собой сложнейшую научно-техническую и инженерную проблему. В состав комплекса для освоения арктических месторождений могут входить: ледостойкие плавучие буровые установки, предназначенные для бурения поисково-разведочных скважин, как на предельном мелководье, так и в глубоководных районах; морские ледостойкие стационарные платформы (МЛСП) для длительной работы в ледовых условиях на перспективных месторождениях; плавучие технические средства для строительства, защиты, эксплуатации и ремонта подводных трубопроводов; плавсредства транспортной системы вывоза нефти, сжиженного газа-конденсата (в том числе танкеры и газозовы усиленного ледового класса, ледоколы-хранилища, терминалы); специализированные суда обслуживающего флота.

Современные исследования в области проектирования МЛСП позволяют предложить следующие варианты архитектурно-конструктивных типов, используемые в различных инновационных проектах: с шарнирной опорой; полупогружного типа на натянутых связях (типа TLP); полупогружного типа SPAR; гравитационного типа (кессонного типа с наклонным бортом в районе ВЛ; кессонного типа с прямым бортом в районе ВЛ; точечного типа; кессонного типа с «обратным» ледовым конусом; кессонного типа с ледовым конусом; трехколонная точечного типа); комбинированные варианты (гравитационно-свайная платформа на натянутых связях; гравитационно-свайная многоопорная платформа; гравитационно-свайная одноблочная платформа; гравитационная платформа с комбинированным (ферменно-понтонным) опорным блоком).

Особое место в числе инновационных решений занимает анализ использования в арктических условиях плавучих добычных систем типа FPSO с внутренним и внешним расположением турели, обеспечивающей флюгерный эффект при воздействии внешних (в основном волновых и ледовых) нагрузок.

Основными факторами, определяющими целевой и количественный состав НГФ, являются (Панков, 1999):

- технология работы судов и ПТС на всех этапах освоения и эксплуатации месторождений, которая зависит от природно-климатических, геологических, организационных и экономических условий осваиваемого региона;
- технические и производственные возможности нефтегазовой отрасли и достоверный диапазон технических характеристик судов и ПТС, планируемых к постройке на отечественных верфях или для закупки и аренды за рубежом;
- эксплуатационные и экономические показатели работы судов и ПТС, необходимые для планирования работы и функционирования состава флота.

Сложность освоения морских месторождений нефти и газа определяет то, что эффективным оказывается использование не отдельных технических средств, а ком-

плексов, включающих в себя надводные средства и глубоководную технику. В качестве таких комплексов морской техники (КМТ) выделяются: геолого-геофизический, поисково-разведочный (буровой), строительства стационарных буровых платформ, обустройства месторождения, эксплуатационный и комплекс ликвидации производственных объектов месторождений.

На отечественном шельфе одним из основных и в настоящее время наиболее широко осуществляемым этапом освоения месторождений является разведочное бурение. Производственная цель этапа – строительство поисковых и разведочных скважин на континентальном шельфе. Разведочные скважины сооружаются на площадях с установленной промышленной нефтегазоносностью с целью подготовки месторождения к промышленному освоению, сбора данных, необходимых для его проектирования и разработки. Основными типовыми работами рассматриваемого технологического этапа являются: бурение разведочных скважин, инспекция и дефектоскопия подводной части морских буровых установок.

В технологический комплекс судов и плавучих технических средств, занятых на этом этапе (в дальнейшем – поисково-разведочный комплекс (ПРК)), входят плавучие буровые установки (ПБУ) различных конструктивных типов; суда обеспечения (СО); пассажирские суда (ПС); суда обеспечения водолазных и подводно-технических работ (СОПТР); суда-цементировщики скважин (СЦ); морские нефтемусоросборщики (НМС); аварийно-спасательные суда (АСС) (Креймер и др., 1989). Для разведочного бурения используются также стационарные сооружения искусственные острова различных типов и гравитационные и свайные платформы.

Обоснование потребности в судах и плавучих технических средствах ПРК разбивается на две задачи проектирования судов:

– внешняя задача проектирования, состоящая в определении целевого и количественного состава флота, потребного для выполнения заданной номенклатуры и объемов работ поисково-разведочного этапа в заданные сроки при заданных природно-климатических и геологических условиях;

– и внутренняя задача проектирования, включающая собственно проектирование судов и плавучих технических средств, т.е. определение их основных технико-экономических характеристик.

Внешняя задача проектирования ПРК разбивается на следующие стадии:

1. Назначение технологического ряда операций поисково-разведочного этапа с учетом природно-климатических, геологических, организационных и прочих условий региона. Технологический ряд формируется из типовых рабочих операций, исполнителем каждой из которых является определенный целевой тип судна или ПТС. В соответствии с условиями региона и возможностями береговой инфраструктуры выбираются организационные формы работы судов и ПТС.

2. Составляется расписание работы судов и ПТС, оптимальное для условий региона, выбранного технологического процесса и организационной формы работы флота с учетом предварительно назначенного диапазона технических возможностей судов и ПТС.

3. Определяется целевой и количественный состав судов и ПТС поисково-разведочного комплекса.

4. Составляются исходные требования на проектирование судов и ПТС каждого целевого типа в зависимости от природно-климатических условий региона эксплуатации.

При выполнении каждой из перечисленных стадий решения внешней задачи проектирования соблюдается принцип системного подхода, реализуемый с помощью следующей методической последовательности:

- Декомпозицией общей задачи на уровни и этапы;
- Построением схемы обмена решениями между отдельными элементами, этапами и уровнями логической схемы проектирования с организацией итерационных циклов; Установлением целей и критериев проектирования;
- Конструированием иерархической схемы оценок проектных решений на разных уровнях.

Системный подход означает всестороннее изучение ПРК как единого целого с помощью методов моделирования. Реализация принципов системного подхода предполагает построение имитационных моделей комплекса и последующий анализ полученных результатов для оценки возможностей достижения поставленных перед ним целей. Таким образом, если рассматривать КМТ (в частном случае это ПРК) как сложную систему (СС), а процесс проектирования комплексов сложной морской техники (имея в виду задачу оптимизации состава флота, т.е. внешнее проектирование) как некий сложный процесс (СП), то поставленную задачу можно сформулировать следующим образом (Казанцев, Серова, 2004):

исследовать этот процесс с точки зрения моделирования, используя не аналитические методы, а имитационное моделирование – как одно из самых эффективных средств, которыми располагает системный анализ. Такой подход является инновационным в области интенсификации добычи нефти и газа на морском шельфе и позволяет провести расчет потребности в ПБУ и судах нефтегазопромыслового флота на этапе разведочного бурения в режиме имитации. То есть, проектируется комплексный состав и определяется целевое назначение НГПФ для выполнения некоторого объема работ с учетом коммерческих скоростей бурения, природно-климатических и организационных условий региона. А затем, также в режиме имитации, оценивается выбранный вариант управления и рассматривается процесс эксплуатации СС (КМТ), но уже с помощью другой имитационной модели (хотя в рамках той же имитационной системы (ИС)), другого способа и языка формализации.

Независимо от способа проектирования сложной системы и назначения моделирования можно выделить восемь этапов создания и использования имитационных моделей. Учитывая особенности исследуемого объекта (относительно небольшая величина модели, простота и ясность в формулировке технического задания) второй этап (составление концептуальной модели) объединен с первым этапом – составлением содержательного описания объекта моделирования. На этом шаге выделяется объект моделирования с указанием целей имитации, аспектов функционирования, которые необходимо изучить на ИМ, описание внешней среды, с которой он взаимодействует. В качестве критериев, по которым происходит выбор наилучшей версии из множества вариантов планов развития НГПФ, принимаются два: КВР (коэффициент времени работы каждого целевого судна по назначению) и ОПС (отклонение от плановых объемов и сроков работ морской технологии на регионе) (Креймер и др., 1989):

Обобщенная производительность (среднее время работы у обслуживаемого объекта) и спецификационные условия эксплуатации (коэффициенты погоды по условиям навигации и условиям работы в море) принимаются за основные характеристики, определяющие технические возможности судов с точки зрения морской технологии. Заканчивается этот этап составлением логической схемы функционирования модели (выделение основных модулей – расчет ПБУ, СО, ПС, СОПТР, ЦС, ИМС, АСС – и определение их связей и взаимодействий между собой).

Следующий этап – этап составления формального описания объекта моделирования. Выбирается смешанное представление в виде последовательности формул и алгоритмических записей. И здесь же – осуществляется построение описания ИМ ПРК (т.е. опять происходит объединение технологических этапов построения имитационной

модели, на этот раз 3-его и 4-ого). Результатом этапа является описание ИМ сложной системы.

5-ый этап – программирование и отладка модели. Целесообразно, организуя интерактивный режим работы, предусмотреть возможность выбора по желанию пользователя число лет, на которые производится расчет необходимого количества судов (от одного года до пяти лет). Пользователь или эксперт должен иметь возможность выбора формы вывода результата: в виде варианта плана или только сравнение планов по основным критериям:

- КВР (коэффициент времени работы);
- ПКС (потребное количество судов);
- Суммарная строительная стоимость.

6-ой и 7-ой этапы – проверка на адекватность и верификация модели, исследование свойств ИМ и эксплуатация модели. Сначала проводится планирование эксперимента, то есть определение числа и условий проведения опытов. Затем выбираются варьируемые параметры для каждого типа судов и плавучих технических средств, например, для ПБУ это:

- | | |
|--|---|
| 1. Количество лет расчета; | 5. Коэффициенты погоды; |
| 2. Количество диапазонов глубин; | 6. Расстояние от порта до центра рассматриваемого района; |
| 3. Минимум и максимум диапазонов глубин; | 7. Глубина разведочного бурения; |
| 4. Среднегодовая продолжительность ледового периода; | 8. Коммерческая скорость разведочного бурения. |

8-ой этап – это проведение всех итерационных процессов и анализ результатов моделирования, в ходе которого в первую очередь необходимо оценить показывают ли полученные данные адекватность выбранной модели процессам, протекающим в реальной системе.

Существующая методика планирования и организации работы плавучих технических средств не включает в себя рассмотрения такого немаловажного вопроса, как анализ надежности в эксплуатации ПРК морской техники. Однако очевидно, что такая информация требуется проектанту, когда он пытается оценить, является ли экономически оправданным создание и существование таких систем. Оценить надежность комплекса в эксплуатации – значит определить вероятность безотказного выполнения стоящих перед ним целей, в зависимости от работоспособности или отказа составляющих его элементов. Для решения задачи такого рода целесообразно выбрать процессный способ организации квазипараллелизма в имитационной модели. Т.е. рассмотреть случай, когда все функциональные действия $ФД_{ij}$ компонент реальной системы различны. Условия появления событий $С_{ij}$, приводящие к выполнению $ФД_{ij}$, также индивидуальны. У каждой компоненты $К_i$ существует определенная последовательность выполнения $ФД_{ij}$. При процессном подходе краткость описания активностей объединяется с эффективностью событийного представления, что позволяет организовывать имитацию систем практически любой степени сложности.

При составлении содержательного описания объекта моделирования используются результаты, полученные с помощью ИМ ПРК, описанного выше. А в качестве языка формализации выбирается язык теории графов, т.к. поисково-разведочный комплекс – это территориально распределенный объект, имеющий сетевую структуру. ПРК представим двухполюсным ориентированным графом, вершины которого – входящая в ПРК морская техника, а дуги – связи между составляющими комплекс элементами.

Граф имеет два полюса: вход и выход (исток и сток), что тоже вполне отражает реальные процессы, происходящие в объекте моделирования (СПБУ – исток, а береговая инфраструктура и портовые сооружения – это сток) (Серова, 2004).

КМТ рассматривается как система, описанная графом, и анализируется с точки зрения надежности. В этом смысле можно говорить об одном специальном виде графов – случайных графах, т.е. графах, ребра и вершины которых могут присутствовать или отсутствовать с определенной вероятностью. Показателем надежности случайных графов считается вероятность связности графа в целом, а в случае двухполюсного графа – вероятность связности полюсов. Связность такого графа обеспечивается наличием хотя бы одного минимального пути (без циклов, петель и висячих вершин).

Разработаны методы, позволяющие получать достаточно простые граничные – верхнюю и нижнюю – оценки вероятности связности двухполюсного орграфа при условии случайного существования дуг (вершин), используя пути и разрезы графа. Одним из таких методов является метод Эзари–Прошана. Он был положен в основу предлагаемой модели (Серова, 2004). Причем, в ходе эксперимента, при одном варианте задания вероятностей работоспособности элементов комплекса, должны рассматриваться различные варианты его состава. Такой способ решения достаточно универсален, т.к. теория графов применима к любому территориально – распределенному объекту, имеющему сетевую структуру и представимому двухполюсным графом, метод Эзари–Прошана – тоже.

Повышение эффективности и ускорение освоения морских нефтегазовых ресурсов, формирование необходимой для этого производственной базы возможно только на основе научно-технических инноваций в области создания и эксплуатации КМТ. Предлагаемый подход позволяет определить рациональный состав КМТ и исследовать специфические связи, возникающие между отдельными элементами комплексов в процессе их эксплуатации, определить такие параметры отдельных технических средств и комплекса в целом, при которых показатели качества его функционирования приобретают оптимальные значения.

Литература

1. **Бородавкин П.П.** (2005) Морские нефтегазовые сооружения. Часть 1. Конструирование. М.: Изд-во Недр.
2. **Булатов А.И., Проселков Ю.М.** (2006) Морские нефтегазовые сооружения. Техника и технология разработки и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений. Краснодар: Изд-во Просвещение-Юг.
3. **Вяхирев Р.М. и др.** (2001) Обустройство и освоение морских нефтегазовых месторождений. М.: Изд-во АГН.
4. **Казанцев А.К., Серова Е.Г.** (2004) Имитационное моделирование распределенных структур нефтегазодобывающих производственно-технических комплексов. Вестник ИНЖЕКОНА, серия «Технические науки», Вып. 3(4), – СПбГИЭУ, Санкт-Петербург.
5. **Караев Р.Н., Портной А.С., Разуваев В.Н.** (2009) Суда и плавучие технические средства для освоения морских нефтегазовых месторождений. СПб.: Изд-во Моринтех.
6. **Креймер И.Д., Семенов Ю.Н., Тахватулин М.А.** (1989) Расчет целевого и количественного состава нефтегазопромыслового флота. Методические рекомендации. Владивосток: РАН.
7. **Мовсумзаде Э. М. и др.** (2005) Морская нефть. Развитие технических средств и технологий. СПб.: Изд-во Недр

8. **Носков Б.Д., Правдивец Ю.И.** (2004) Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Часть III. Сооружения континентального шельфа. М.: Изд-во АСВ.
9. **Золотухин А.Б. и др.** (2000) Основы разработки шельфовых нефтегазовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике. М.: Изд-во «Нефть и газ»
10. **Панков В.И.** (1999) Классификация судов и плавучих технических средств нефтегазопромыслового флота//Судостроение. – 1999. – №6 – с.17-20.
11. **Серова Е.Г.** (2004) Система управления региональным комплексом морской техники. Анализ надежности в эксплуатации (Метод Эзари-Прошана). Материалы III Международной конференции «Актуальные проблемы экономики и новые технологии преподавания», Санкт-Петербург.
12. **Серова Е.Г.** (2005) Имитационный подход к структурному моделированию производственно-технических комплексов. Материалы научной конференции «Концепции и инструменты эффективного менеджмента», Издат. Дом СПбГУ, Санкт-Петербург.
13. **Серова Е.Г.** (2007) Имитационное моделирование в современном менеджменте // Сб. докладов Третьей всерос. науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика», Санкт-Петербург.
14. **Serova E.G.** (2012) Distributed Artificial Intelligent Systems for Decision Making Support // Proceedings of the 26th Annual Conference of the British Academy of Management BAM 2012, Cardiff University, Cardiff Business School, the United Kingdom.
15. **Serova E. G.** (2012) Intelligent Decision Support Systems Development Based on Modern Modeling Methods // Proceedings of the 6th European Conference on Information Management and Evaluation ECIME 2012, University College Cork, Ireland.