

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СНАБЖЕНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЛАТФОРМЫ «ПРИРАЗЛОМНАЯ»

**А. Г. Топаж, Д. А. Зайкин, А. А. Кондратенко, А. В. Косоротов, А. Б. Крестьянцев,
О. В. Таровик (Санкт-Петербург)**

Современные информационные технологии представляют собой эффективный инструмент, позволяющий реализовать проактивное управление крупными оффшорными проектами и находить лучшие технические решения на этапах их проектирования и эксплуатации. В частности, компанией «Газпром нефть шельф» было инициировано исследование по анализу, прогнозированию и предотвращению эксплуатационных рисков при разработке нефтяного месторождения «Приразломное». Целью проекта было повышение эффективности транспортной системы в связи с планами увеличения добычи нефти с текущих 2,1 млн т. в год до 5 млн т. в 2023 году.

Морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная» (МЛСП) – первая и единственная в мире стационарная платформа, которая ведет добычу нефти на шельфе в тяжелых условиях Арктики. Транспортная система МЛСП подвержена влиянию ряда уникальных факторов, которые сказываются на исполнении плана перевозок и поэтому должны учитываться при построении комплексной имитационной модели снабжения платформы и вывоза добытой нефти. К таким факторам относятся:

- вариабельность метеорологической и ледовой обстановки как у самой платформы, так и на маршрутах следования судов;
- наличие нескольких альтернативных терминалов со специфическими ограничениями на возможность осуществления грузовых операций в зависимости от складывающейся погодной обстановки;
- наличие ограничений на возможность одновременного осуществления грузовых операций у МЛСП танкерами и судами снабжения, что приводит к конкуренции танкеров и судов снабжения за «окна погоды» терминалов;
- динамичность грузопотоков нефти и грузов снабжения, наличие причинно-следственных связей между объемами доставки снабжения на платформу и вывоза отработанных материалов;
- ограниченность объема хранилища нефти и площадей складирования тарных грузов на платформе;
- сложная и вариативная логика операций грузообработки транспортных судов у платформы (как правило, погрузка танкеров и разгрузка судов снабжения вынужденно производится не непрерывно, а за несколько последовательных подходов).

Очевидно, что одновременный учет всех перечисленных факторов с приемлемой степенью точности возможен только в рамках комплексной динамической имитационной модели, включающей в себя элементы дискретно-событийного и агентного подходов [1]. Основой для реализации такой модели послужил созданный ранее в Крыловском государственном научном центре (КГНЦ) программный инструмент для исследования арктических транспортных систем [2], который был специально адаптирован к моделированию инфраструктуры МЛСП. Так, в состав комплексной имитационной модели были дополнительно интегрированы вновь разработанные модули, условно показанные на рис. 1.

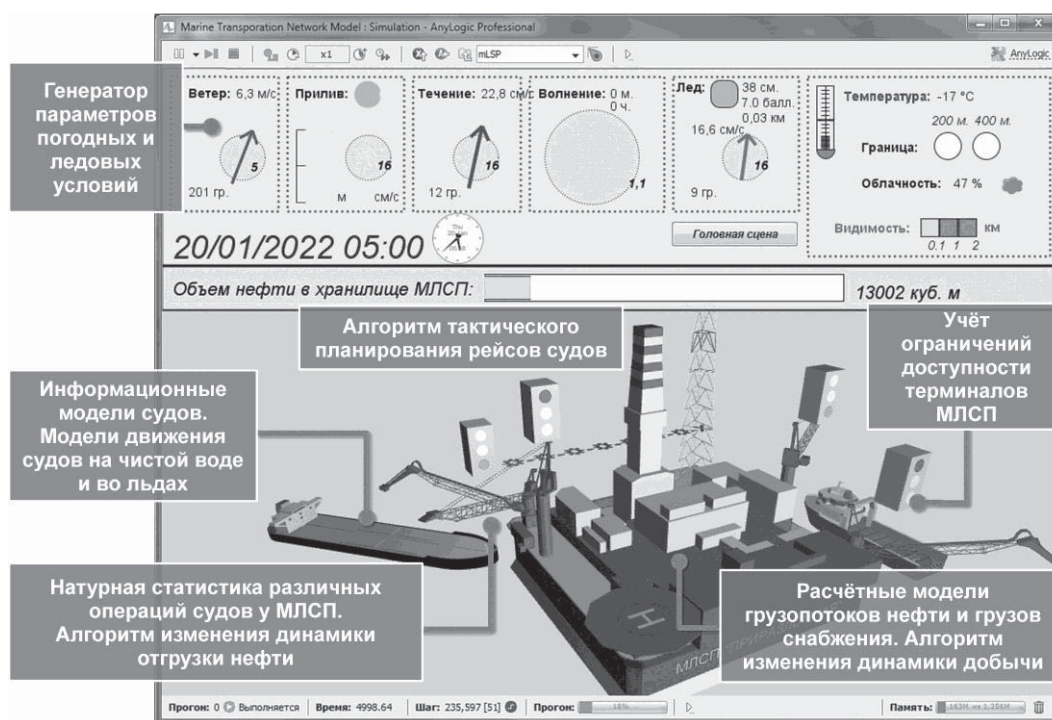


Рис. 1. Компоненты комплексной динамической имитационной модели

Стохастический генератор природных условий морской акватории в районе МЛСП позволяет получать временные ряды 15-ти имитируемых метеоэлементов (скорость и направление ветра, течения и волнения, температура, видимость, параметры ледовой обстановки и т.д.). Внутренняя логика алгоритма погодного генератора содержит в себе как элементы формального статистического моделирования (получение реализаций погоды как многомерного дискретного случайного процесса с заданными авто- и кросскорреляционными свойствами методами формирующих фильтров и марковских цепей), так и физически-обоснованные подходы. Запуск генератора погоды в режиме моделирования в «будущем времени» позволяет эмулировать в имитационной модели наличие гипотетических краткосрочных прогнозов погоды длительностью 4–7 часов, характеризующихся 100% оправдываемостью. Такой прогноз позволяет осуществлять оперативное планирование грузовых операций.

Моделирование доступности грузовых терминалов МЛСП в ходе исполнения имитационной модели осуществляется путем анализа текущих и прогнозных погодных условий, являющихся выходным сигналом стохастического генератора морской погоды. Основная сложность при определении доступности грузового терминала МЛСП для грузообработки судов в заданных природных условиях заключается в том, что принципиальное значение имеет не один природный параметр, а совместное значение нескольких показателей. При этом число возможных сочетаний 15-ти моделируемых природных параметров практически не ограничено, что исключает применение полного перебора. Вместо этого в модели используется специальный эвристический алгоритм, ориентированный на ключевые показатели и их пороговые совместные значения. В качестве основы для создания алгоритма использованы: регламенты выполнения грузовых операций на МЛСП; статистические данные реальных грузовых операций на МЛСП; результаты моделирования работы судов при различных погодных и ледовых условиях в навигационном тренажере КГНЦ; экспертные оценки капитанов судов, выполняющих грузовые операции у платформы.

Доступность всех грузовых терминалов МЛСП моделируется по принципу условного «светофора», который далее также используется в процедуре имитации.

Дискретно-событийная модель операций судов у МЛСП описывает процесс осуществления погрузочно-разгрузочных операций у терминалов платформы с учетом складывающихся условий и технологических ограничений. В нее заложена возможность проведения последовательных операций с грузами различного типа, заблаговременного прерывания операции при ожидаемом прекращении «окна погоды» с пережиданием неблагоприятного периода у терминала, переходом к альтернативному терминалу или отходом судна за пределы трехмильной зоны МЛСП. Полный вид соответствующей дискретно-событийной потоковой диаграммы в нотации AnyLogic® приведен на рис. 2.

Рис. 2. Потоксовая диаграмма прохождения заявок на погрузку/выгрузку судна

Важным этапом разработки имитационной модели являлась ее комплексная верификация на основе натурных данных. Для этого использовались те интегральные модельные параметры, которые являются продуктом сложного взаимовлияния ряда имитируемых процессов, таких как изменение параметров природных условий, планирование рейсов и загрузки судов, взаимодействие судов танкерного флота и судов обеспечения при работе у МЛСП. В качестве таких параметров для танкерного флота могут быть выбраны, например, число подходов танкера к КУПОН (Комплекс Устройств Прямой Отгрузки Нефти) до полной загрузки и длительность одной непрерывной погрузки танкера у КУПОН.

Сопоставление натурных и модельных значений этих параметров для существующей конфигурации МТТС показано на рис. 3.

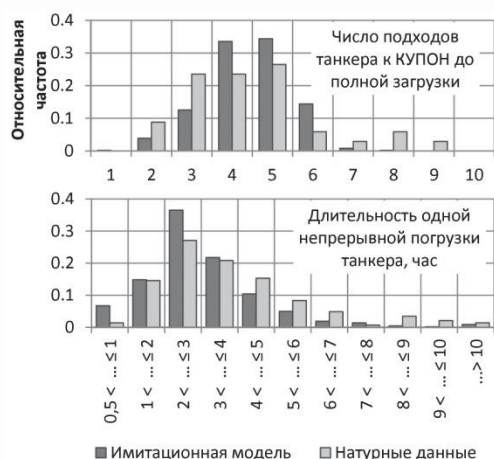


Рис. 3. Сопоставление натурных и модельных параметров работы танкеров

На основе созданного программного инструмента была смоделирована работа более 30 различных вариантов конфигурации транспортной системы МЛСП «Приразломная». Программа исследований включала анализ влияния на эффективность системы 11 улучшающих мероприятий организационно-технического характера, имеющих различный масштаб и стоимость реализации. Сводные результаты исследования показаны в таблице 1, где для случая изолированного влияния показан средний процент снижения объемов недополученной нефти, а для случая совместного использования приведен интегральный эффект от применения мероприятий № 1–5 и указано какое дополнительное снижение потерь можно получить, если в добавок к улучшениям № 1–5 применять одно из мероприятий № 6–9. Как видно, вследствие сложного нелинейного характера всей системы, положительные эффекты от различных мероприятий не обладают свойствами аддитивности, однако степень их влияния при совместной реализации в целом не изменяется.

Результаты проведенной работы послужили основой для принятия управленческих решений в компании «Газпром нефть шельф», а полученные рекомендации уже внедряются в практику работы МЛСП «Приразломная» и реализуются в виде руководящих документов.

Экономический эффект от данной работы представляется весьма значительным. Не будет преувеличением сказать, что столь масштабное и детальное исследование работы реального объекта арктической шельфовой техники на основе дискретно-событийного и агентного имитационного моделирования было выполнено впервые в мировой практике [4].

**Сравнительная эффективность исследованных мероприятий по повышению
эффективности транспортно-технологической системы**

№	Мероприятие, повышающее эффективность МТТС	Снижение средних объемов недополученной нефти	
		Изолированное	Совместное
1	Разрешение совместной работы танкеров и судов снабжения на противоположных терминалах МЛСП	6%	69%
2	Сокращение средней длительности швартовно-шланговых операций танкеров у МЛСП с 1,5 до 1,2 часа	8%	
3	Разрешение работы танкера у МЛСП в момент прилета вертолета (интенсивность прилета – 1 раз в 4,5 дня)	13%	
4	Сокращение средней длительности оформления документов после погрузки танкеров с 10,8 до 2 часов	25%	
5	Повышение средней производительности отгрузки нефти на 60%	38%	
6	Снижение минимальной длительности используемых танкерами окон погоды с 6 до 4 часов	44%	+16%
7	Строительство дополнительного однотипного челночного танкера	30%	+7%
8	Повышение среднерейсовой скорости двух танкеров на 1 узел	21%	+5%
9	Привлечение дополнительного ледокола для обеспечения ледового менеджмента	3%	+1%
10	Строительство выносного ледостойкого отгрузочного нефтяного терминала кругового действия	100%	–
11	Строительство дополнительного хранилища добытой нефти	100%	–

Литература

1. **Таровик О. В., Топаж А. Г., Крестьянцев А. Б., Кондратенко А. А.** Моделирование систем арктического морского транспорта: основы междисциплинарного подхода и опыт практических работ // Арктика: экология и экономика. – № 1 (25). – 2017. – с. 86–101.
2. **Топаж А. Г., Таровик О. В., Косоротов А. В., Бахарев А. А.** Программный комплекс имитационного моделирования для проектирования и анализа морских транспортных систем // В сборнике трудов конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем – ИКМ МТМТС-2015», Санкт-Петербург, 3 июля 2015 г., С. 143–147.
3. **Кондратенко А. А.** Планирование работы флота на континентальном шельфе // Морские интеллектуальные технологии. – №1 (35) – Т. 1. – 2017. с. 29–38.
4. **Зайкин Д. А., Крестьянцев А. Б., Таровик О. В., Топаж А. Г.** Использование имитационного моделирования для анализа морской транспортно-технологической системы платформы «Приразломная» // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 1 (68). С. 44–48.