

Повышение эффективности работы систем водного транспорта с помощью динамического имитационного моделирования



А. А. Бахарев,
ведущий инженер сектора проектирования морских систем освоения шельфа (СПМСОШ) Крыловского государственного научного центра (КГНЦ)

Представлен анализ основных факторов, влияющих на эффективность морских транспортно-технологических систем при освоении береговых и оффшорных месторождений. Описан новый подход к исследованию и проектированию таких систем и оптимизации их состава: суда представляются самостоятельными объектами, движущимися и взаимодействующими в геоинформационной среде под управлением логических блоков динамической имитационной модели.



А. В. Косоротов,
ведущий инженер СПМСОШ КГНЦ

Ни один этап освоения береговых и оффшорных месторождений не обходится без использования систем водного транспорта, повышение эффективности которых является одной из важных и широко исследуемых задач. Особенно актуальна эта задача при реализации арктических проектов в условиях слаборазвитой железнодорожной инфраструктуры, когда доставка большинства грузов возможна только водным транспортом.

деляющих своевременность и качество поставок. Приведем основные технические и коммерческие риски:

1) срыв и нарушение сроков поставок вследствие нерациональной организации отгрузки, транспортировки или хранения;

2) срыв и нарушение сроков поставок вследствие неблагоприятных гидрометеороусловий;

3) низкая эффективность транспортной системы вследствие выбора неоптимальных параметров технических средств, обеспечивающих обустройство месторождения.

Работа с рисками таких типов ведется в ходе детального проектирования системы водного транспорта и усложняется множеством объектов, входящих в систему и взаимодействующих друг с другом (рис. 2).

При проектировании МТС решаются следующие основные задачи: планирование движения транспортных судов и судов флота обеспечения; определение динамики количества груза в хранилищах портов погрузки и выгрузки; создание рационального графика поставок грузов, определение оптимального числа звеньев МТС (наличие или отсутствие перевалочных баз), анализ экономичности работы МТС, сохранности перевозимых грузов (что особенно актуально, например, для сжиженных газов) и другие. При этом, как правило, по экономическим критериям сравниваются альтернативные варианты МТС и выявляется оптимальный из них.

Транспортное обеспечение месторождений включает в себя такие операции, как доставка персонала, вывоз отходов, завоз грузов снабжения, транспортировка добытой продукции и другие. Эти операции выполняются на всех этапах развития проекта (рис. 1). Степень использования водного транспорта может быть различна в зависимости от типа и расположения месторождения, а эффективность транспортной системы определяют различные особенности проекта. Однако во всех случаях эффективность и надежность транспортной системы существенно (порой определяюще) влияет на эффективность проекта в целом.

Для повышения эффективности работы морских транспортно-технологических систем (МТС) необходим полноценный учет и снижение рисков, опре-



А. Б. Крестьянцев,
начальник СПМСОШ КГНЦ



О. В. Таровик,
научный сотрудник СПМСОШ КГНЦ



А. Г. Топаж,
д-р техн. наук,
ведущий научный сотрудник СПМСОШ КГНЦ



Рис. 1. Основные этапы освоения месторождения

Традиционно в области водного транспорта для решения этих задач использовались методы математического программирования, базирующиеся на понятии провозоспособности судна на линии. Главный недостаток такого подхода для детального анализа транспортной системы – сложность учета факторов, зависящих от времени, и невозможность учета логики движения и взаимодействия судов [1]. В некоторых случаях традиционный подход не обеспечивает учета ряда критически важных факторов, к которым относятся [2, 3]:

1) нестационарность внешних условий и внутренних характеристик объектов транспортной системы (например, динамика ввода судов в эксплуатацию; изменение интенсивности грузопотока; обрастание корпуса судна, приводящее к ухудшению ходовых качеств);

2) пространственная неоднородность условий (ледовых, ветро-волновых, глубины), т. е. связь между логикой движения судна и свойствами регионов, в которые оно попадает;

3) взаимодействие между грузовыми судами и судами обеспечения, а также между судами и береговыми объектами (возможности использования ледокольной проводки и формирования караванов, ограниченная емкость хранения и эффективность причального и грузового оборудования; возможность ускорения или замедления хода судов);

4) возникновение экстремальных обстоятельств, аварийных и внештатных ситуаций, что приводит к необходимости оценивать не только усредненные показатели эффективности системы, но и вероятность ее выхода за рамки устойчивого функционирования.

В последние годы стало активно развиваться направление динамического имитационного моделирования систем, которое позволяет учитывать все указанные факторы при описании работы МТС. С использованием современного агентного имитационного моделирования в 2012–2014 гг. во ФГУП «Крыловский государственный научный центр» был создан программный комплекс (ПК) «МТС-модель», предназначенный для решения задач проектирования и анализа работы морских транспортных систем, работающих в том числе в ледовых условиях.

Идея создания данного комплекса заключается в интеграции в рамках единого программного обеспечения



Рис. 2. Объекты, учитываемые при исследовании МТС

методов и подходов из различных предметных областей, имеющих отношение к исследованию МТС и оптимизационному проектированию судов. В программном комплексе интегрированы следующие направления [2]:

- 1) судостроительные дисциплины;
- 2) геоинформационные среды (ГИС);
- 3) динамические имитационные модели (ДИМ).

Применение объектно ориентированного подхода позволило реализовать в программе следующий принцип исследования МТС: суда представляются как самостоятельные объекты, движущиеся и взаимодействующие в геоинформационной среде под управлением логических блоков динамической имитационной модели. Это дало качественно новый инструмент исследования, отличающийся как широтой спектра решаемых задач, так и числом натуральных факторов, учитываемых при выполнении исследований.

При создании ПК «МТС-модель» выделены три основных направления использования судостроительных дисциплин:

- 1) расчет ходовых качеств судов во всех эксплуатационных условиях – определение параметров движения судна, включая движение по тихой воде, при ветре и волнении, самостоятельное движение во льдах, движение в караване за ледоколом, в смерзающемся ледовом канале и других; при этом учитывается принудительное снижение скорости судна на волнении, обрастание корпуса, влияние ограниченной глубины, ледовая прочность корпуса и другие натурные факторы;
- 2) определение основных характеристик судов различных типов (тан-

керов, газовозов LNG и LPG, многоцелевых контейнерных судов, рудовозов и т. п.) на основе ограниченного числа входных параметров (грузовместимости, ледового класса, скорости хода, ледопроеходимости и других);

3) технико-экономический анализ – определение строительной стоимости судов с учетом особенностей верфистроителя, фрахтовой ставки, портовых сборов, а также интегральных экономических показателей МТС с учетом береговой инфраструктуры, различных схем владения флотом, кредитования строительства судов и т. п.

При использовании геоинформационных технологий уменьшаются затраты времени на подготовку исходных данных о природных условиях. Кроме того, становится возможной реализация логики движения и взаимодействия судов, которая неразрывно связана с геоинформационным пространством. Геоинформационная среда, в которой моделируется движение судов МТС, содержит данные трех типов:

- 1) слои, формирующие географическое пространство для навигации: береговая черта, батиметрические условия, фарватеры и др.;
- 2) слои и базы данных природных условий, необходимые для расчета параметров движения: вероятностные данные о ветре и волнах, условия видимости, параметры льда и ледовых сжатий;
- 3) зоны с особыми экономическими условиями или логическими ограничениями: обеспечивают учет различных налогов и сборов в зависимости от характеристик судна, времени года и параметров груза, а также позволяют



Рис. 5. Внешний вид мелкосидящего ледокола проекта 22740

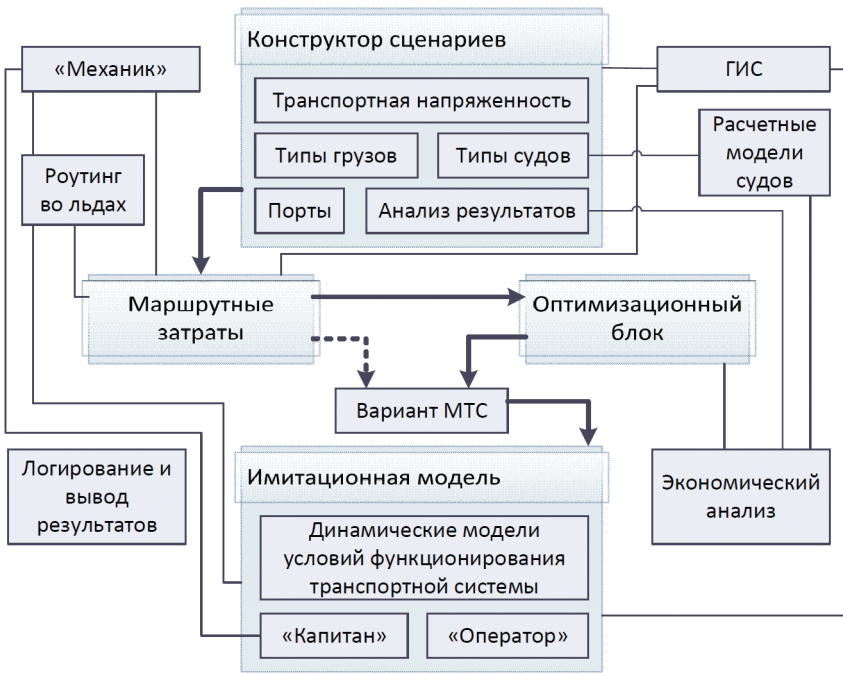


Рис. 3. Принципиальная структура ПК «МТС-модель» и типовая последовательность расчетов

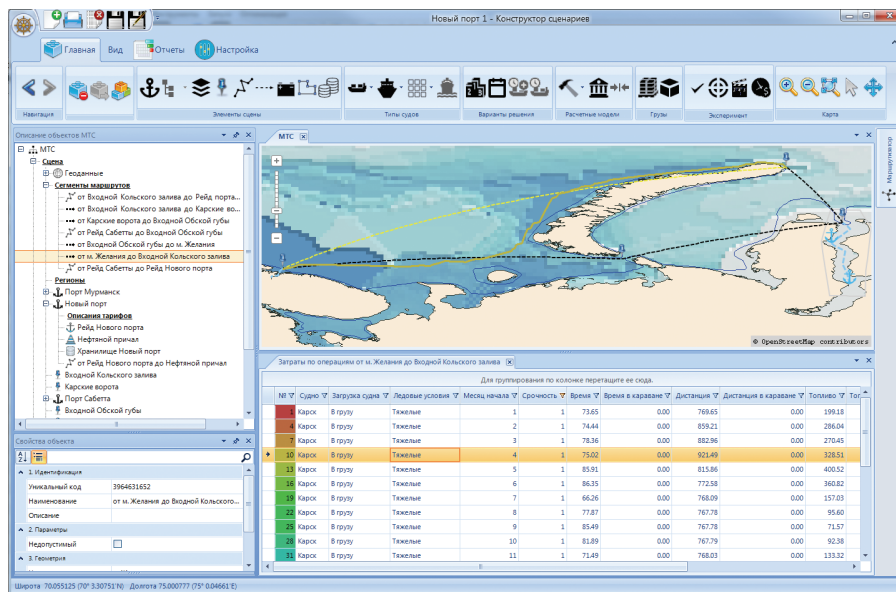


Рис. 4. Интерфейс «Конструктора сценариев» ПК «МТС-модель»

моделировать зоны ледокольного дежурства.

Логика динамической имитационной модели ПК «МТС-модель», реализованной в среде AnyLogic®, позволяет моделировать линейные перевозки различных грузов по прямой и перевалочной схемам, работу буровых, рыболовных, исследовательских и других судов. Основная сложность реализации собственно имитационного эксперимента состоит в необходимости оптимального планирования перевозок и назначения судов на рейсы, т. е. в решении задачи автоматического оперативного управ-

ления работой флота. Принятые в ПК «МТС-модель» подходы для решения этих задач описаны в [2, 3].

Помимо стохастических факторов (например, ветра или волнения) имитационное моделирование дает возможность учитывать влияние моделируемых объектов друг на друга. Например, в реализованной модели зарастания ледового канала в припае параметры канала зависят от характеристик прошедших судов, общего числа проходов по каналу, интервала движения, температуры воздуха и других параметров, которые могут быть описаны только в

рамках вычислительного эксперимента со всей динамической моделью.

На рис. 3 показана принципиальная структура [2] ПК «МТС-модель» с типовой последовательностью расчетов. Модуль «Конструктор сценариев» (рис. 4) осуществляет управление последовательностью расчетов и заданием различных статических и динамических сущностей рассматриваемой МТС. Каждый функциональный модуль (см. рис. 2) предназначен для решения отдельного класса задач:

1) «Маршрутные затраты» — для определения усредненных параметров движения МТС (времени рейса, затрат на топливо, сборов, времени ледокольного сопровождения), необходимых для решения задачи управления движением МТС;

2) «Оптимизационный блок» — для определения и оптимизации основных параметров и числа судов, действующих в составе МТС, на основании упрощенных моделей эксплуатации;

3) «Имитационная модель» — для выполнения полного имитационного эксперимента с исследуемой МТС.

В блоке «Вариант МТС» с помощью указанных расчетных модулей собирается информация о конфигурации исследуемой МТС. Вариант МТС содержит однозначное описание таких объектов системы, как характеристики и число судов, параметры портов и др., и может быть в дальнейшем исследован методами имитационного моделирования.

С помощью ПК «МТС-модель» в 2014–2015 гг. был выполнен ряд практических работ. Во-первых, создана модель работы мелкосидящих ледоколов пр. 22740 (рис. 5) в Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах (по заказу Федерального агентства морского и речного транспорта). Выполнены расчеты времени движения каравана судов под проводкой ледокола в средних и тяжелых ледовых условиях; определены требуемое число ледоколов и расходы топлива для перспективных грузопотоков. На основании полученных резуль-

татов принято решение о снижении требований к автономности ледоколов по топливу, что существенно уменьшило капитальные затраты по судам и эксплуатационные издержки системы в целом.

Во-вторых, выполнена оценка характеристик транспортной системы, обеспечивающей вывоз углеводородов из Ванкорского региона (Карское море) в западном и восточном направлениях, включая круглогодичное движение по трассам Северного морского пути (по заказу ООО «РН-КрасноярскНИПИ-нефть»). Определены характеристики нефтяных танкеров, газозовов LNG и LPG различных ледовых классов, рассчитано время рейса судов из Карского моря до стран Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона в ледовых условиях различной степени тяжести.

В-третьих, разработана имитационная модель движения крупнотоннажных танкеров из района мыса Каменный (Обская губа) до порта Мурманск в условиях смерзающего ледового канала в припае (по заказу ООО «Газпром нефть Новый Порт»). Определено необходимое число ледовых каналов в припае и ориентировочные даты их прокладки, обоснована вместимость берегового резервуарного парка арктического терминала с учетом возможных задержек судов (рис. 6), определены объем и сроки необходимой ледокольной поддержки танкеров в тяжелых и экстремально тяжелых условиях, показатели работы транспортной системы по временной схеме, технико-экономические показатели всего жизненного цикла МТС [4]. Было выявлено значительное влияние протяженного ледового канала на показатели МТС, что позволило сделать вывод о необходимости обеспечения максимально возможной регулярности перевозок, так как в этом случае параметры ледового канала будут наиболее благоприятными. Сформулированы условия, при которых возникает риск переполнения хранилища.

В-четвертых, разработана модель эксплуатации атомного ледокола-лидера мощностью 110–130 МВт (по заказу Минпромторга РФ). Определена продолжительность работы ледокола на одной загрузке ядерного топлива при проводке судов различного класса в восточном секторе Арктики в ледовых условиях различной степени тяжести.

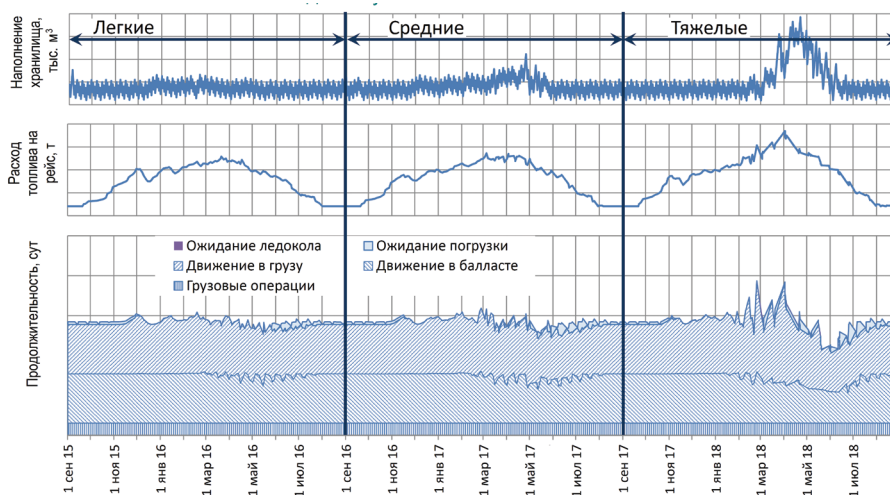


Рис. 6. Динамика значений технико-экономических показателей МТС проекта «Новый порт» в зависимости от типа ледовых условий (легкие, средние, тяжелые)

Проанализированы грузопотоки, обеспечиваемые одним и двумя ледоколами-лидерами.

В-пятых, выполнен анализ логистической схемы работы челночных танкеров на МЛСП «Приразломная» (по заказу ООО «Газпром нефть шельф»). Проведен численный имитационный эксперимент по оценке скорости грузообработки на основании натурной статистики по подходам-отходам судов, а также определены окна погоды для выполнения грузовых операций по допустимым направлениям ветра и дрейфа льда.

Примеры выполненных работ подтверждают широкие возможности агентного имитационного подхода в области исследования систем водного транспорта. Такой подход позволяет учитывать значительное число натуральных факторов, моделировать множество логических аспектов работы систем, что невозможно при традиционных «статических» подходах, а также оптимизировать характеристики судов в составе транспортной системы с учетом логики ее работы. Агентная имитационная модель также позволяет учитывать все факторы, определяющие риски проекта освоения: от технических до экономических, включая моделирование аварийных и внештатных ситуаций.

Программный комплекс «МТС-модель», синтезирующий на базе объектно-ориентированного подхода такие направления, как динамические имитационные модели, геоинформационные системы и судостроительные дисциплины, предназначен для решения

задач исследования и оптимизации МТС, находящихся на стыке проектирования и эксплуатации. Результаты исследования параметров МТС служат основой для принятия решений на всех стадиях жизненного цикла систем: от первых этапов разработки проектов судов и объектов береговой инфраструктуры до решения эксплуатационных задач.

Литература

1. Таровик О. В., Косьмин М. С. Имитационное моделирование морских транспортных систем, работающих в ледовых условиях с соблюдением графика поставок // Судостроение. 2014. № 1. С. 9–14.
2. Таровик О. В., Бахарев А. А., Топаж А. Г. и др. Имитационная модель работы флота как инструмент анализа эксплуатационных параметров судов и обоснования проектных решений // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. № 38/39. С. 46–52.
3. Топаж А. Г., Таровик О. В., Косоротов А. В., Бахарев А. А. Программный комплекс имитационного моделирования для проектирования и анализа морских транспортных систем. // Тр. 3-й междунар. науч.-практич. конф. «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМС 2015)». СПб., 2015. С. 143–147.
4. Крестьянцев А. Б., Луцкевич А. М., Таровик О. В. Морские перевозки СПГ: современное состояние и пути оптимизации транспортных систем // Neftegas.ru 2015. № 5. С. 32–37.