

ИЕРАРХИЯ УРОВНЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

А.А. Бахарев, А.В. Косоротов, А.Б. Крестьянцев, О.В. Таровик, А.Г.Топаж
(Санкт-Петербург)

Задачи проектирования новых морских транспортных систем (МТС), или нахождения наилучших режимов управления эксплуатацией уже существующих МТС тесно связаны с проблемой получения оценок эффективности их функционирования в конкретных условиях окружающей среды. Универсальным инструментом исследования, равно как и мощным средством поддержки управленческих решений различного временного масштаба здесь могут служить динамические имитационные модели. Для решения широкого круга задач проектирования и оптимизации параметров МТС во ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в 2012-2014 годах был разработан специализированный программный комплекс «МТС-модель». Бизнес-логику комплекса формируют расчетные и информационные программные модули, при этом в нем реализуется интеграция решений из различных предметных областей:

- геоинформационные среды,
- судостроительные дисциплины,
- динамические имитационные модели,
- оптимизация и исследования операций.

Основными функциональными составляющими комплекса выступают «Конструктор сценариев» - пользовательская оболочка, в которой осуществляются базовые процедуры препроцессинга (задания исходных данных) и постпроцессинга (анализа и обработки результатов) и собственно динамический движок имитационной модели, использующий в ходе исполнения различные внешние логические и служебные расчетные модули (рис. 1). При этом на всех этапах проектирования и анализа МТС с помощью имитационной модели приходится сталкиваться с многочисленными задачами принятия наилучших решений или оптимизации характеристик транспортной системы. Возникающие проблемы существенно разнятся по своему характеру и масштабу и, соответственно, по математическому аппарату, используемому для их разрешения.

Уровни принятия решений имитационной модели МТС

В теории и практике управления МТС можно выделить три уровня принятия решений, исходя из ширины т.н. «горизонта планирования», степени ответственности лица, принимающего решение, и масштаба задачи [1].

Проектный уровень – стратегическое планирование вариантов реализации МТС, исходя из задаваемых явным образом, статических данных о ее структуре и характеристиках. Этот уровень имеет горизонт планирования, равный продолжительности полного жизненного цикла МТС. Он реализуется в рамках упрощенных логических алгоритмов, составляющих оптимизационный блок конструктора сценариев [2], и состоит в нахождении одного или нескольких базовых вариантов МТС, наилучшим образом обеспечивающих транспортные потоки в заданных ограничениях.

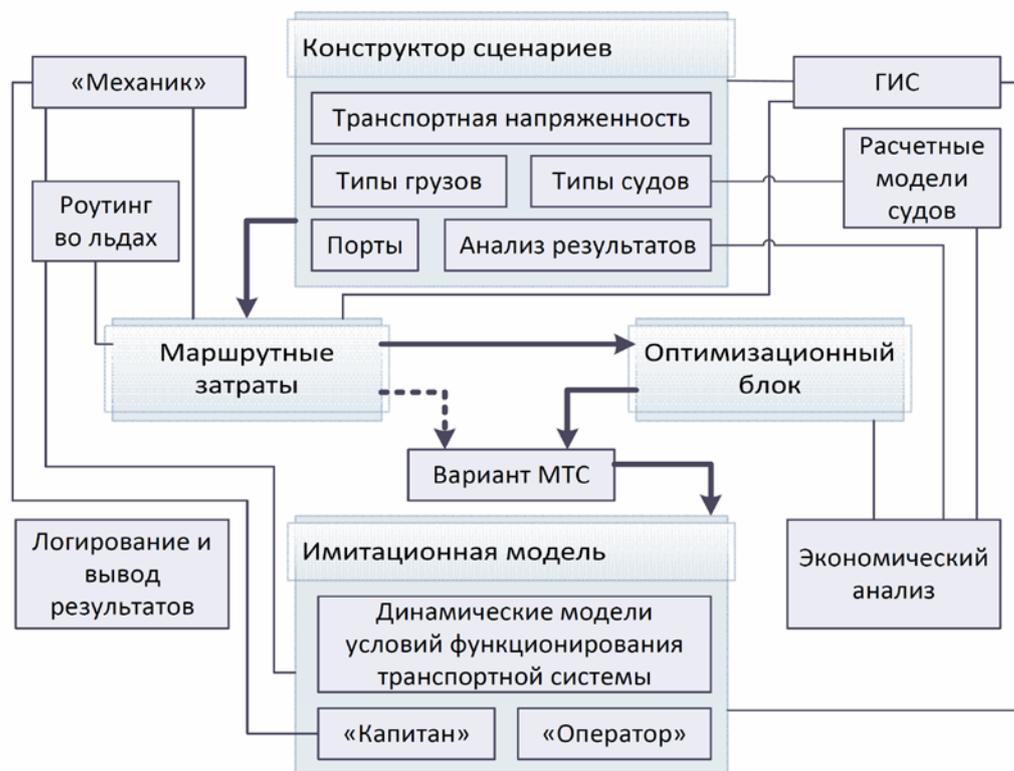


Рис. 1. Принципиальная структура основных программных блоков и их связей (показаны линиями) ПК «МТС-модель» [3]

Входные данные задач принятия решений на проектном уровне:

- тематические карты и объекты с координатной привязкой, формирующие геоинформационную среду,
- базы данных природных параметров и характеристик,
- типы и основные характеристики перевозимых грузов, проектов транспортных судов и ледоколов,
- «транспортная напряженность» системы - описание потребных объемов перевозимых грузов и логистических каналов снабжения в форме простейшей информационной подмодели вида «стоки-источники».

В состав каждого полученного варианта реализации МТС входит проектный состав флота (потребное количество экземпляров судов и ледоколов для каждого из анализируемых типов), предпочтительные маршруты движения (расчитанные отдельно для каждого типа судна, времени года и тяжести ледовых условий) и таблица соответствующих этим маршрутам затрат (расходы топлива, времени, доля ледокольного сопровождения и т.д.). Для поиска оптимального пути следования судов во льдах (ледовый роутинг), используется оригинальный алгоритм оптимизации на двухуровневом ориентированном графе, который позволяет не только определить путь, соответствующий минимальному времени следования, но и найти оптимальный объем ледокольного сопровождения с учетом условной «стоимости» привлечения ледокола. Дополнительную сложность при решении задачи маршрутизации в ледовых условиях

вносит наличие так называемых «закрытых навигационных пространств» (участков прибрежной морской акватории в которых движение невозможно или осуществляется только по predetermined «неуклоняемым» фарватерам). Специально разработанные алгоритмы «сшивания» жестко заданных маршрутов с оптимальными траекториями, рассчитанными в областях свободного маневрирования, составляют еще одну специфическую особенность разработанного и реализованного алгоритма оптимизации.

Детальный анализ эффективности, уточнение и подробное исследование каждого полученного варианта реализации МТС осуществляется в модуле информационного моделирования, который является динамическим ядром разработанного программного комплекса. В построенной имитационной модели экземпляры судов представляются в виде активных объектов, движущихся и взаимодействующих между собой в геоинформационном пространстве. На уровне логического движка исполнения модели выделяются три принципиальных блока: модули управления «Капитан» и «Оператор», а также набор встроенных динамических подмоделей условий функционирования транспортной системы.

Плановый уровень – среднесрочное управление перевозками, соответствующее масштабу деятельности транспортной компании и имеющее горизонт планирования от нескольких месяцев до нескольких лет осуществляется в модуле «Оператор». Сфера ответственности «оператора» включает в себя: обеспечение требуемого объема перевозок; составление графика поставок (рейсов); назначение конкретных экземпляров транспортных судов на конкретные рейсы; управление ледокольным сопровождением судов, исходя имеющегося ресурса ледокольного сопровождения; отправка судов на докование; оперативное регулирование, направленное на разрешение возникающих инцидентов в масштабе целой системы (опоздания, нехватка судов и т.д.).

Основной и крайне нетривиальной проблемой, подлежащей разрешению в рамках модуля «Оператор», является планирование перевозок, то есть решение транспортной задачи в наиболее общей постановке. Коротко говоря, задача сводится к нахождению графика перевозок (списка рейсов и осуществляющих их типов судов), наилучшим образом обеспечивающего удовлетворение заданной «логистической напряженности» системы – потребностей доставки и динамики пополнения грузов различного вида в узловых точках системы (портах). В системе МТС-Модель предусмотрены два принципиальных подхода к решению данной задачи. В упрощенном варианте используется оригинальный модуль планирования «от начала к концу», использующий двустороннюю схему вытягивания-выталкивания в зависимости от типа груза и характера снабжения. При этом подходе логика работы «оператора» в ходе проведения имитационных расчетов базируется на постоянном динамическом перепланировании, которое производится путем анализа складывающейся ситуации, и представляет собой некий аналог технологии CRP - Capacity Requirements Planning. Анализ показывает, что упрощенный модель планирования может давать адекватные (квазиоптимальные) решения транспортной задачи, хотя и в достаточно узком диапазоне вариации входных данных

Более строгий подход предполагает использование методов исследования операций, ориентированных на комбинаторные задачи оптимизации. В теории описано

достаточно большое количество таких подходов, но, в связи с тем, что рассматриваемая задача является NP-сложной задачей, большинство практических задач может быть решено только с использованием приближённых алгоритмов, которые традиционно подразделяются на классические и метаэвристические.

Классические (эвристические) методы подразделяются на *конструктивные алгоритмы* (выполняют постепенное построение решения, отслеживая рост его стоимости, но не имеют фазы дальнейшего улучшения – методы Кларка-Райта, последовательной вставки и т.д.) и *двухфазные алгоритмы*, основанные на тех или иных процедурах разбиения вершин графа транспортной сети на кластеры (алгоритмы заметания, лепестков, Фишера-Джекумера и пр.). Эти алгоритмы четко специфицированы и ориентированы на решение транспортной задачи в конкретных частных постановках. К сожалению, для общего случая морской транспортной системы с характерными, но трудно формализуемыми специфическими особенностями (наличие перевалочных баз, нестационарность входных условий, необходимость учета дополнительного ресурса в виде ледоколов и т.д.) большинство данных алгоритмов оказывается впрямую неприменимыми.

В свою очередь, метаэвристические подходы, предложенные, как правило, на основе идей, появившихся при наблюдении природных процессов (алгоритмы отжига, генетические алгоритмы, муравьиные колонии, нейронные сети) не дают точного, однозначно реализуемого в виде программного кода описания порядка действий для решения задачи. Каждый из них должен быть дополнительно конкретизирован путём подбора значений управляющих параметров, и, зачастую, этот подбор представляет собой дополнительные трудности.

В этих условиях перспективной выглядит идея использовать при планировании в качестве движка комбинаторного анализа формальные алгоритмы решения задачи в ограничениях (SAT-решатели), что может оказаться перспективным подходом, по крайней мере, для задач небольшой размерности (например, для оценки состава флота и оптимизации плана операций снабжения стационарных морских буровых платформ).

И, наконец, *оперативный уровень* планирования входит в сферу ответственности «капитана» транспортного судна или ледокола в режиме выполнения им конкретного задания на перевозку или сопровождение соответственно. Основной решаемой здесь задачей выступает определение оптимальной скорости движения с учетом возможностей судна (эту информацию для складывающейся метеорологической и ледовой обстановки «капитан» запрашивает у внешнего расчетного модуля «механик»), текущего статуса выполняемого задания (степень его срочности и наличие резерва времени), а также требования минимизации сопутствующих расходов на перемещение (расходы топлива и т.д.).

Результаты, полученные в ходе многолетних «прогонов» имитационной модели (статистика времен рейсов, эксплуатационные характеристики, вероятности экстремальных срывов поставок и т.д.), в свою очередь, используются для корректировки вариантов реализации МТС и пополнения базы знаний о характерных маршрутных (операционных) затратах. Тем самым замыкается петля обратной связи и информационной поддержки всех уровней принятия решений [4].

Результаты

С помощью ПК «МТС-модель» в 2014-2015 годах сектором проектирования морских систем освоения шельфа ФГУП «Крыловский Государственный Научный Центр» был выполнен ряд прикладных исследований.

1. Создана и проанализирована модель работы мелкосидящих ледоколов проекта 22740 в Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах.
2. Выполнена оценка характеристик МТС, обеспечивающей вывоз углеводородов Ванкорского региона (Карское море) в западном и восточном направлениях, включая круглогодичное движение по трассам СМП.
3. Разработана имитационная модель движения крупнотоннажных танкеров из района мыса Каменный (Обская губа) до порта Мурманск в условиях смерзающегося ледового канала в припае [5].
4. Определены эксплуатационные параметры работы ледокола-лидера ЛК-110Я при работе в восточном секторе Арктики при проводке караванов различного типа.
5. Проведен анализ эффективности использования имеющегося и прогнозируемого состава флота, используемого при обеспечении северного завоза, для вывоза крупногабаритного мусора из арктических регионов России (программа «Чистая Арктика»).

Выводы

Полученные результаты подтверждают широкие возможности имитационного подхода в области проектирования и анализа МТС, позволяющего учитывать множество натуральных факторов работы судов, моделировать различные аспекты работы МТС, а также оптимизировать характеристики судов в составе МТС с учетом логики ее работы. При этом создание комплексной компьютерной системы поддержки решений на всех этапах жизненного цикла МТС должно в обязательном порядке предполагать тесную интеграцию классических техник имитационного моделирования (дискретно событийные и агентные модели) с методами теории оптимизации и исследования операций, которые должны использоваться на всех уровнях иерархии управленческих задач.

Литература

1. Бабурин В.А., Бабурин Н.В., Дмитриев В.И. Управление работой флота: учебник, М.:Моркнига, 2013. – 368 с.
2. 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
3. Таровик О.В., Бахарев А.А., Топаж А.Г., Косоротов А.В., Крестьянцев А.Б., Кондратенко А.А. Имитационная модель работы флота как инструмент анализа эксплуатационных параметров судов и обоснования проектных решений // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства, 2015, № 38-39, С. 46-52

4. Топаж А.Г., Таровик О.В., Косоротов А.В., Бахарев А.А. Программный комплекс имитационного моделирования для проектирования и анализа морских транспортных систем // Труды третьей международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» - «ИКМ МТМТС 2015», АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», Санкт-Петербург, 2015, с. 143-147.
5. Крестьянцев А.Б., Луцкевич А.М., Таровик О.В. Морские перевозки СПГ: современное состояние и пути оптимизации морских транспортных систем // Neftegaz.ru, 2015, №5, С. 26-31.