

УДК 629.122

Платов Александр Юрьевич¹, д.т.н., доцент, зав. кафедрой прикладной информатики и статистики
e-mail: platoff@mail.ru

Платов Юрий Иванович², д.т.н., проф. кафедры управления транспортом
e-mail: platov_ji@mail.ru

¹Нижегородский архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия

²Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В НЕПРЕРЫВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТЫ РЕЧНОГО ФЛОТА

Аннотация. В статье предлагается схема планирования работы речного флота на основе имитационного моделирования. Встраивание моделей принятия решений в состав имитационной модели позволяет построить процесс планирования как алгоритм работы дискретной событийной имитационной модели, в которой особыми событиями являются моменты принятия решений. Обработка особых событий осуществляется с помощью комбинаторных моделей назначений судов. Применение имитации позволяет охватить все уровни планирования: от навигационного до суточного.

Ключевые слова: имитационное моделирование, планирование работы флота, речные перевозки, непрерывное планирование, назначение судов, дискретное событийное моделирование, адекватность планирования, календарное планирование.

Повышение эффективности управления в настоящее время невозможно без использования информационных технологий (ИТ), в том числе применения различных методов оптимизации при выработке решений. Среди этих методов значительная роль принадлежит имитационному моделированию (ИМ). Это связано с большим преимуществом ИМ, позволяющим описывать сложно формализуемые производственные системы, решать задачи большой размерности. При этом в рамках имитации возможно интегрирование совокупности различных методов моделирования.

В настоящее время можно констатировать полное отсутствие практического применения имитационных моделей на речном транспорте России. Основной причиной по нашему мнению является снижение культуры управления и уровня принимаемых решений, что влечёт за собой неостребованность на речном транспорте не только имитационных моделей, но и экономико-математических моделей вообще [1].

Зарубежный опыт применения имитационных моделей относится в основном к исследовательским вопросам. Например, американские работы в большей степени касаются оптимизации судопропуска через шлюзованную систему рек Огайо и Миссисипи [2, 3, 4, 5, 6].

В настоящее время имеется множество инструментов и технологий, позволяющих моделировать различные сложные системы на основе принципов событийного или агентного подходов. Наличие этих инструментов позволяет, во-первых, построить

универсальную имитационную модель работы флота для различных судоходных предприятий. Во-вторых, использовать эту универсальную ИМ как интегрирующую для целого ряда задач конкретного судоходного предприятия с встраиванием в неё необходимых линейных и нелинейных модели. В третьих, ИМ можно использовать для тренажерных систем работы флота, причём как для учебных целей, так и решения производственных задач.

Основное предназначение ИМ – это планирование, регулирование и прогнозирование работы флота и перевозок. Целесообразно эти функции реализовывать в составе системы непрерывного планирования работы флота (НПРФ), предложенной авторами в 2009 г.

Процесс непрерывного планирования работы флота можно представить следующей схемой на рис.

Планирование осуществляется по шагам времени t_i , исходя из текущей дислокации судов d_i . На каждом шаге вычисляется управление x_i , которое представляет собой выбор назначений судам с учетом ситуаций в пунктах отправления и назначения как по грузу так и времени прибытия, ожиданиям обработки и другим факторам.

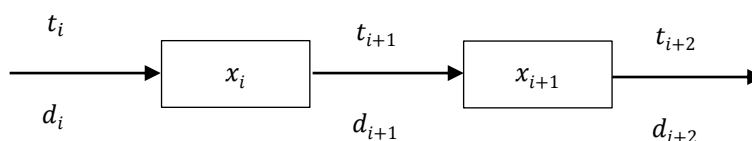


Рисунок 1 - Процесс непрерывного планирования работы флота
 d_i – дислокация флота в момент времени t_i , x_i – управление в момент времени t_i

Момент времени каждого шага определяется следующими ситуациями:

- при входе в зону прогноза (декада, сутки, месяц, навигация);
- прохождение судна через точку принятия решений (выбор назначения);
- при значительном отклонении транспортного процесса от ранее запланированной по разным причинам (изменение объема перевозок, условий плавания, появление информации по накопителю и т.д.).

Фактически основной алгоритм, реализующий пошаговую схему, является алгоритмом дискретной событийной имитационной модели. На рис. отображены лишь особые события, которые требуют принятия решения.

Дислокация d_i представляет собой совокупность координат на графе водных путей каждого судна:

$$d_i = \{n_m, l_m\},$$

где n_m - номер водного пути, а l_m - расстояние от начала водного пути, где находится судно с номером m .

Выбор назначений судам является центральным моментом любого календарного планирования как декадного, суточного и тем более непрерывного. Алгоритм выбора назначений зависит от критериев и решаемых задач, но всегда является эвристическим в силу его сложности. Такие алгоритмы предлагались разными авторами, например, [7, 8].

Основная задача, возлагаемая на имитационное моделирование, состоит в определении продолжительности всех технологических операций грузевых и порожних рейсов, в том числе взаимного ожидания тяги и барж, моментов прибытий и отправок, а также и эксплуатационных затрат по всем операциям рейса.

Модель, принципиально описанная выше, была реализована авторами в 2010-2015 годах. Реализация следовала следующим двум принципам.

Во-первых, на базе этой реализации должна быть возможность разработки специализированных моделей, обладающих хорошей производительностью и



лицензионной чистотой. Вследствие этого реализация модели была выполнена на языке С с помощью Open Source компилятора gcc.

Во-вторых, реализация модели должна обладать определённой универсальностью, которая не требует перепрограммирования модели в случае изменения рабочего ядра флота или организации перевозок. Вследствие этого реализация выполнена с возможностью настройки модели в соответствии с подходом data-driven.

Построенная модель тестировалась на нескольких примерах перевозок.

Было показано, что погрешность при определении срока доставки, вычисляемого обычно по формулам равномерного отправления судов, для небольших объёмов перевозок, может достигать 40% против срока, полученного с помощью имитационной модели.

Кроме этого, проводились тестирования модели для определения условий согласования работы судов в условиях перевалки грузов в устьевых портах. Использование ИМ позволяет получить реалистическое соотношение количества барж, толкачей, а также танкеров на трёх-четырёх участках с перевалкой грузов и накопителем в конечном пункте.

Кроме того, был разработан предварительный технический проект учебного тренажёра, основанного на имитационной модели.

Для повышения адекватности планирования работы речных судов требуется максимально подробный учёт условий плавания на речных участках, которые зависят от сезона работы и географии участков. Кроме этого, требование адекватности предписывает календарное планирование каждого отдельного судна.

Удовлетворить этим условиям возможно только при использовании имитационного моделирования. Встраивание моделей принятия решений в состав имитационной модели позволяет построить процесс планирования как алгоритм работы имитационной модели. При этом данный подход позволяет охватить все уровни планирования: от навигационного до суточного.

Можно заметить, что полноценная реализация ИМ в составе системы непрерывного планирования предполагает создание ряда различных по характеру моделей как линейных, так и нелинейных и комбинаторных, которые встроены в общую имитационную модель. ИМ может состоять из различных по своему назначению модулей, обеспечивающих решение задач НПРФ. К этим модулям могут относиться следующие:

- модуль формирования информации о состоянии и прогнозе движения и обработки судов и составов в форме, допускающей интерактивный доступ к этой информации
- модуль выбора судна и груза в соответствии со специализацией перевозки грузов и пунктами отправления-назначения;
- модуль определения совмещения выгруженного и предполагаемого к погрузке грузов загрузки судна, времени грузовых работ для каждого судна,
- модуль определения осадки судна по прогнозным глубинам участков водных путей;
- модуль формирования составов в пунктах обработки;
- модуль выбора режима движения судна по заданному критерию и нормирования времени следования судов и составов между двумя любыми пунктам;
- модуль определения рейсового расхода топлива самоходных судов и тяги, в том числе и на подогрев вязких нефтепродуктов;
- модуль расчета рейсовых и итоговых производственных и экономических показателей работы судов за заданный период с дифференциацией по видам флота и типам судов;
- модуль расчета расходов судов и составов за гружёный и порожний рейсы, а так же определения портовых сборов и сборов за прохождение внутренних водных путей;



- модуль формирования отсечек для переходящего рейсов и его истории, модальной дислокации судов и др.

Все эти элементы авторами были доведены до программной реализации, а многие и внедрены по отдельности при реализации различных компьютерных систем в компаниях «Волготанкер», «Волжское пароходство», «Баррен Энерджи Шиппинг Лтд» в 1998-2004 гг.

Список литературы:

1. Платов, А.Ю. Необходимые условия адекватности экономико-математических моделей на речном транспорте. Научные проблемы водного транспорта / А.Ю. Платов, Ю.И. Платов // Вестник ВГАВТ. Выпуск 64. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – с. 172-180. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi64>.
2. Males, R.M.. Navigation System Simulation (NaSS). Report 06-NETS-P-06 / R.M. Males // US Army Corps of Engineers Institute for Water Resource. Alexandria, Virginia, 2006.
3. Sweeney, D.C. Discrete Event Simulation Model of a Congested Segment of the Upper Mississippi River Inland Navigation System. Report 04-NETS-P-01 / D.C. Sweeney // US Army Corps of Engineers Institute for Water Resource. Alexandria, Virginia, 2004.
4. Ronen, D. Upper Mississippi River and Illinois Waterways: How to Reduce Waiting Times of Vessels While Using the Current Infrastructure / D. Ronen, R. Naus. // University of Missouri-St. Louis, 2003.
5. Ting, C.J. Control Alternatives at a Waterway Lock / C. J. Ting, P. Schonfeld // Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, pp. 89-96, 2001.
6. Kreis, D. Inland Waterway Operational Model & Simulation Along the Ohio River / D. Kreis, R. E. Sturgill, B. K. Howell, C. Van Dyke, D. S. Voss // Research Report KTC -14-13/MTIC3-14-1F, University of Kentucky, 2014.
7. Ширяев, Е.В. К вопросу разработки алгоритма расчёта декадного плана работы флота / Е.В. Ширяев // Труды / ГИИВТ. - Горький, 1967. - Вып. 84. - С. 22-32.
8. Платов, Ю.И. Алгоритм выбора назначений судам при оперативном регулировании работы флота / Ю.И. Платов // Труды / ГИИВТ. - Горький, 1983. - Вып. 195. - С. 3-10.
2. Ventura, M. Ship Design I. Costs Estimate [Presentation] / M. Ventura // Centre for Marine Technology and Ocean Engineering. – 2006. - URL: <http://www.centec.tecnico.ulisboa.pt/mventura/Projecto-Navios-I/EN/SD-1.3.2-Costs%20Estimate.pdf> (date of treatment: 14.09.2019).
3. Краев, В.И. Экономические обоснования при проектировании морских судов: монография / В.И. Краев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1981. – 280 с.
4. Papanikolaou, A. Ship design. Methodologies of Preliminary Design / A. Papanikolaou. - Heidelberg: Springer, 2014. - P. 635. - ISBN 978-94-017-8750-5.
5. Hekkenberg, R. A building cost estimation method for inland ships / R. Hekkenberg // European Inland Waterway Navigation Conference. 2014. – URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:59b327e8-5235-4143-9a4f-774ae88d5514/datastream/OBJ> (date of treatment: 10.05.2021).
6. Минеев, В.И. Аналитический метод расчета строительной стоимости транспортных грузовых судов / В.И. Минеев // Речной транспорт (XXI век). - 2011. - N 3 (51). - С. 67-69. - ISSN 1729-4258.
7. Буянова, Л.Н. Научные основы формирования государственной стратегии перспективного развития морского флота: специальность 08.00.05: автореферат диссертации доктора экономических наук / Буянова Людмила Николаевна; Санкт-Петербургский гос. ун-т водных коммуникаций. – Санкт-Петербург, 1999. – 45 с.
8. Benford, H. The Practical Application of Economics to Merchant Ship Design / H. Benford. // Marine Technology and SNAME News. - 1967. - Vol.4. - No.1. - P. 519 - 536. – ISSN 0025-3316.



9. Kaluzny, B.L. An Application of Data Mining Algorithms for Shipbuilding Cost Estimation / B.L. Kaluzny, S. Barbici, G. Berg, R. Chiomento, D. Derpanis, U. Jonsson, R.H.A.D. Shaw, M.C Smit, F. Ramarosan, // Journal of Cost Analysis and Parametrics. -2011 -4 (1), 2-30. – doi: <https://doi.org/10.1080/1941658x.2011.585336>

10. Shetelig, H. Shipbuilding Cost Estimation Parametric Approach (Master's thesis) / H. Shetelig; Norwegian University of Science and Technology, 2013.

11. Платов, А.Ю. Эксплуатационно-экономическое обоснование параметров речных судов на основе ИТ / А.Ю Платов, О.Ю. Васильева // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2018. - ISBN 978-5-901722-60-2. - URL: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/108.pdf> (дата обращения: 14.05.2021).

APPLICATION OF SIMULATION IN CONTINUOUS PLANNING OF RIVER FLEET OPERATIONS

Alexander J. Platov, Juri I. Platov

Abstract. The article proposes a scheme for planning of a river fleet operation based on simulation modeling. Embedding decision-making models into a simulation model allows to build a planning process as an algorithm for a discrete event-driven simulation model, in which decision-making moments are special events. Special events are handled using combinatorial ship assignment models. The use of simulation allows you to cover all planning levels: from navigation to daily.

Keywords: simulation, fleet planning, river transportation, continuous planning, vessel assignment, discrete event modeling, planning adequacy, scheduling.

