

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ АДЕКВАТНОСТИ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

А.Ю. Платов

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

Ю.И. Платов

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

Аннотация. Одним из очевидных условий применимости экономико-математических моделей является адекватное отражение ими транспортных процессов. Вопрос адекватности должен решаться отдельно для каждой конкретной модели. Однако в случае моделирования для речного флота можно говорить о существовании традиционных подходов к построению моделей, которые являются устаревшими и приводящими к неадекватности всех таких моделей. Показано, что предлагаемые модели не отражают в полной мере свойств транспортного процесса, а следовательно, использование их на практике может приводить к значительным погрешностям планирования работы флота. Дается анализ типичных ошибок при построении моделей для планирования работы флота.

Показано, что при разработке моделей планирования работы флота в других странах гораздо лучше учитываются практические потребности водного транспорта, несмотря на существование более совершенных частных отечественных моделей.

Исходя из современных реалий эксплуатации речного флота и возможностей ИТ, формулируется несколько необходимых условий, которым должны удовлетворять практически применимые модели.

Ключевые слова: экономико-математические методы на речном транспорте, адекватность моделирования, оптимизация планирования работы флота, эксплуатационные расходы, средние величины, управляемые и неуправляемые денежные потоки, модели линейного программирования

Введение

В XXI веке дальнейшее повышение эффективности всех сфер экономики и государственного управления определяет цифровизация, главной составляющей которой является использование информационных технологий (ИТ) и экономико-математических методов (ЭММ).

Очевидной проблемой в сфере разработки и совершенствования ЭММ является практически полное отсутствие внедрений на речном транспорте. Цифровизация в речной сфере ограничивается задачами учёта, сбора данных и мониторинга. Причин у такого положения дел несколько. В настоящей статье рассматривает одна из таких причин, которая состоит в неадекватности ЭММ, предлагаемых в современных исследованиях.

Развитие ЭММ в водной отрасли и проблемы с их внедрением

Наиболее ранняя публикация, посвящённая планированию работы флота, датируется 1954 г. [1]. В нашей стране для речного флота метод планирования впервые был предложен в 1959 г. В.И. Савиным. В течение 60-х трудами Волового Д.И., Зачёсова В.П., Ирхина А.П., Савина В.И., Падни В.А., Постнова А.В., Фомкинского Л.И., Хейфеца М.Б. и др. был создан ряд ЭММ, ориентированных на некоторые важнейшие задачи управления работой флота. Первый полный, включающий в свой состав все необходимые модели метод автоматизированного планирования был разработан В.И. Савиным в конце 60-х годов и предназначался для расчёта графика движения флота [2].

Сложности с реализацией таких ЭММ на компьютерах 60-х и 70-х обусловили, с одной стороны, развитие эвристических методов решений, которые, тем не менее, остались на бумаге, а с другой стороны – вероятностного подхода к планированию операций [3], на который возлагались большие надежды. В 80-х годах работы продолжались в рамках применения автоматизированных систем в целом в системе МРФ РСФСР.

подавляющее большинство разработок ЭММ в отечественном речном транспорте представляли собой модели линейного программирования и были ориентированы на распределение судов в рамках некоторого календарного периода.

За рубежом исследования по применению ЭММ велись, в основном, для морских перевозок [4]. В центре внимания зарубежных исследователей были, в основном, две задачи: планирования маршрутов судов (ship routing) и календарного планирования (ship scheduling). Высокая степень неопределённости, присущая зарубежному трамповому судоходству обусловила большее развитие эвристических алгоритмов

планирования, а также имитационных моделей. Потребность в регулировании движения через шлюзованную систему верхнего течения Миссисипи, а также в оптимизации судопропуска обусловила разработку в 70-х ряда имитационных моделей [5]. Наиболее ранняя была создана в 1971 г. [6], а в 1976 г. была разработана комплексная модель [7], которая используется для исследований до сих пор [8]. Исследования по машинной имитации речных перевозок в нашей стране имели эпизодический характер.

В СССР попытки автоматизации и оптимизации планирования были доведены только до уровня опытной эксплуатации, а в реальной практике не использовались длительное время [9, 10]. Причём, проблемы с внедрением ЭММ стали предметом обсуждения уже в середине 80-х в ряде статей руководителей разработок по АСУ: Н.Г. Коки, В.И. Савина, А.С. Бутова, В.В. Неволлина.

Ситуация с внедрением ЭММ в других странах имела те же черты. За рубежом имеется ряд исследований [11, 12, 13, 14], из которых следует, что системы поддержки принятия решений на морском транспорте в отличие от авиа- и железнодорожного транспорта практически не развиты, а немногочисленные разработки так и не получили практического применения.

Основные проблемы, связанные с внедрением в практику планирования работы флота и перевозок, возникали в сфере информационного обеспечения, встраивания ЭММ в существующие механизмы управления, а также неадекватности моделей практике управления. Однако этот отрицательный опыт, к сожалению, в настоящее время критически не рассматривается.

Современные разработки ЭММ для решения эксплуатационных задач на речном транспорте являются лишь данью определенной моде и по существу только имитируют применение ЭММ. Эти разработки, несмотря на их внешнее разнообразие, не отличаются от сформулированных еще в советское время моделей линейного программирования. Они копируют их с небольшими изменениями и при этом не учитывают многие факторы, такие как отрицательный опыт использования ЭММ в советское время, особенности функционирования транспорта в рыночной экономике, методические принципы хозяйствования и управления. Их общей характеристикой является неадекватность моделирования реальному транспортному процессу, основные задачи планирования которого имеют нелинейный динамический характер. Это является одной из основных причин их невостребованности в эксплуатационных расчетах при планировании перевозок и работы флота.

Признаки неадекватности современных ЭММ

Неадекватность моделирования может быть условно сведена к следующим взаимовлияющим группам, которые можно найти, например, в «типичных» моделях, опубликованных в последние годы [15, 16, 17, 18].

Во-первых, полностью игнорируется субъектность при выборе критерия и ограничений. Типичный пример: целевая функция – минимум расходов по флоту и портам, которые принадлежат разным юридическим субъектам. Также осуществляется оперирование параметрами, относящимися к разным объектам и процессам (суммируется время, имеющее разную стоимость).

Во-вторых, в целевых функциях, ограничениях, зависимостях и переменных используются средние величины (ставки содержания судов в ходу и на стоянках, стоимость других объектов и т.д.). При этом при оптимизации используются как управляемые, так и неуправляемые денежные потоки.

В-третьих, в отдельных моделях не учитываются значимые факторы, существенно влияющие на эффективность принятия решений. Например, игнорирование влияния связанного капитала, т.е. стоимость груза и время перевозки приводят к неверным и ошибочным результатам при выборе вида транспорта и вариантов перевозок грузов с участием разных видов транспорта.

В-четвёртых, разрабатываются почти исключительно объёмные статические модели, в которых суда фигурируют только как количества судов данного типа, а время присутствует только как период работы всего флота.

Приведенные группы факторов, по нашему мнению, не только отрицательно влияют на результаты оптимизации, но и сводят на нет эффективность применения ЭММ.

Неадекватность ЭММ при игнорировании субъектности

Игнорирование субъектности при применении ЭММ даже в плановой экономике не приводила к успешному внедрению на практике с использованием строгих методов оптимизации [19]. В плановой экономике при взаимодействии различных структур, входящих в одну систему (отрасль или предприятие), имелась общая главная цель, но разные локальные интересы. Такая ситуация была характерна для системы смежных пароходств по обмену флотом Центрального и Северо-Западного бассейнов. Общая цель – сокращение обратных порожних пробегов судов, независимо от их принадлежности к тому или иному пароходству, входящих в одну отрасль. Также общая цель присутствовала при ускорении обработки судов в портах, принадлежащих одному пароходству (в таких портах не обязательно обрабатывались только собственные суда). Взаимодействие таких систем успешно обеспечивалось с помощью механизмов согласованного управления, закрепленных в соответствующих положениях по обмену флотом и обработки судов и предусматривающих как возмещение затрат, так и систему штрафов и поощрений. Формализовать взаимодействия таких субъектов при применении ЭММ в плановой экономике оказалось невозможным, а при оптимизации графика движения флота в пароходствах Центрального и Северо-Западного бассейнов не

удавалось согласовывать интересы отдельных пароходств, в результате чего расчет графика приходилось осуществлять в диалоговом режиме. Эта оптимизация была реализована только в пароходстве «Волготанкер» [20], но это был один субъект, что является дополнительным подтверждением важности учёта субъектности. Однако для рыночных условий для разных субъектов, имеющих разные интересы, критерии и целевые функции в моделях продолжают оставаться общими [15, 16, 17, 18], что приводит к невозможности реализовать результаты оптимизации практически и даже теоретически.

Неадекватность ЭММ при использовании средних величин

Использование средних и неуправляемых параметров не препятствует внедрению ЭММ, но существенно снижает эффективность оптимизации и в некоторых случаях даже приводит к неверным результатам. Критика использования средних величин приводилась и ранее, в литературе советского периода, когда требования к этим величинам были менее жесткие. Так, в [21] показано, что использование вариации различных производственных показателей, т.е., по существу, отказ от средних величин, существенно повышает эффективность методов математического программирования. Справедливости ради следует заметить, что на речном транспорте уже на ранних стадиях применения ЭММ такая проблема была обнаружена. Так, при расчете графика движения Савиным В.И. были сделаны методические предложения по расчету времени движения судов и составов в зависимости от условий плавания [2]. В этой же работе были предложены и многие вычислительные методы других параметров транспортного процесса при формировании конкретных маршрутов. К сожалению, в дальнейшем это направление не нашло продолжения, по нашему мнению, из-за ограниченных возможностей тогдашних ЭВМ, отсутствия и прекращения методических разработок в связи с переходом на применение статистических норм следования судов и составов.

Нами теоретически доказано и практически подтверждено [9, 22], что на современном этапе развития информационных технологий наиболее эффективно и целесообразно использование аналитических норм следования судов и составов. Более того, в [23] показано, что в некоторых случаях применение среднесуточных расходов по судну при моделировании не только снижает эффективность последних, но и приводит к неверным результатам.

Неадекватность ЭММ при учёте неуправляемых величин

Неверные результаты при реализации ЭММ могут быть получены также при использовании в ЭММ расходов и доходов, в которых присутствуют как управляемые, так и неуправляемые денежные потоки. Из экономической литературы известно, что при принятии решений должны учитываться предстоящие затраты и причем только такие, на которые можно воздействовать. Исходя из этого, при разработке моделей необходимо использовать только те статьи расходов, доходов и других параметров, на которые может повлиять реализация той или иной ЭММ. Классификация потоков по уровню управляемости является относительной и зависит от характера модели оптимизации. Например, при расстановке судов по грузопотокам и минимизации расходов к неуправляемым можно отнести такие статьи расходов, как амортизация, расходы на ремонт, на оплату труда и отчисления на социальные нужды. К управляемым необходимо отнести расходы на топливо и смазку, так как расстановка судов при выполнении заданного объёма перевозок грузов может оптимизировать только их. Поэтому и целью в данной задаче является снижение расходов на топливо и смазку. Принимая же за цель все эксплуатационные расходы, можно достигнуть не снижения расходов на топливо и смазку, а получить некую фиктивную оптимизацию.

Для пояснения этого вывода можно привести следующие рассуждения. В настоящее время эксплуатируются как новые, так и возрастные суда. При примерно равной грузоподъёмности и провозной способности новые суда характеризуются большей величиной амортизационных отчислений и меньшими расходами на топливо и смазку (в основном, за счет использования более дешевого судового топлива) при прочих примерно равных других расходах. При любой расстановке расходы по амортизационным отчислениям остаются одинаковыми, т.е. в данном случае это неуправляемые расходы. Очевидно, что решая, например, задачу по расстановке судов по грузопотокам по минимуму расхода топлива, новые суда будут первыми расставлены на грузопотоки и с большими объёмами, а старые при освоении заданных объёмов новыми судами могут остаться невостребованными, при этом минимум расходов по топливу будет обеспечен. В ситуации, когда за критерий будут приняты все расходы по судам, результат будет противоположным предыдущему, «оптимизация» будет мнимой, а расход топлива по всем судам будет большим по сравнению с первым вариантом.

Неадекватность при использовании линейных моделей

Логично утверждать, что отказ от использования средних величин и учет особенностей статей расходов при использовании их в моделях существенно усложняет последние, увеличивает трудоемкость расчетов, но позволяет рассматривать эти модели как полезные для практического применения. К усложнению приводит также учет значимых факторов, которые существенно влияют на эффективность получаемых результатов реализации моделей. Так, учет связанного или оборотного капитала при выборе вида транспорта, как

показано в работе [24], кардинально влияет на эффективность принятия решения при перевозке грузов. Учет же этого фактора приводит к нелинейности модели.

Очевидно, что оставаться в рамках линейных моделей при построении адекватных ЭММ невозможно. Поэтому могут быть только два решения: либо усложнение модели с переходом на нелинейные или имитационные модели, либо отказ от её использования и применение традиционного вариантного метода расчетов. В противном случае создается видимость «научного» подхода в использовании ЭММ. Такая же видимость и абстрактность возникает и при игнорировании субъектности, так как здесь возникает вопрос неуправляемости, то есть воздействия на параметры, контролируемые различными субъектами.

Обсуждение

Невнимание в отрасли отечественного речного транспорта к этим, на наш взгляд, очевидным положениям мы можем объяснить лишь снижением уровня научных исследований в сфере эксплуатации речного транспорта. Учебные дисциплины в вузах водного транспорта, связанные с ЭММ, основаны на материале 70-х годов и не способствуют исправлению ситуации.

Вопрос об использовании средних величин в зарубежной литературе даже не упоминается. Следует заметить, что в современных зарубежных исследованиях оптимизация расхода топлива, предполагающая прямое вычисление всех параметров рейса, занимает довольно заметное место [25]. Это связано не только с высокими ценами на топливо, но и в значительной степени с вопросами экологии. Также следует заметить, что в иностранной литературе используются либо простые кубические аппроксимации часового расхода топлива [25, 26, 27, 28], либо степенные регрессии [29, 30], либо регрессии на основе обучаемых нейронных сетей [31]. Поэтому можно уверенно утверждать о превосходстве отечественного задела по моделированию движения судов для задач нормирования времени следования и расхода топлива, который, тем не менее, остаётся невостребованным в отечественных исследованиях и разработках.

Выводы

На основании приведённых соображений можно сформулировать несколько требований, которым должны удовлетворять современные ЭММ.

Во-первых, большая изменчивость экономических условий работы требует календарного планирования и динамической корректировки планов. Время 70-х, когда объёмные линейные и статические модели казались приемлемыми для планирования, прошло. Неадекватность таких моделей многократно показана практически. Для паромств с несколькими десятками судов объёмное планирование просто бессмысленно.

Во-вторых, индивидуализация всех расчётов. Суда должны фигурировать поимённо. Расчёты затрат, всех операций должны проводиться для каждого судна по отдельности с привязкой к календарным датам. Это можно сделать только с применением дискретного имитационного моделирования, либо на основе дискретных нелинейных моделей.

В-третьих, отказ от средних затрат по типу судна. Необходим прямой расчёт времени следования и расхода топлива каждого судна с учётом переменных условий плавания на участках водных путей, календарных окон судопропуска. Предельно ясно, что основной вид затрат транспортного процесса должен рассчитываться и планироваться максимально точно. Методы средних удельных по времени затрат в ходу и на стоянке скрывают неэффективность работы судов и не позволяют оптимизировать работу флота.

В-четвёртых, критерии оптимальности должны быть привязаны исключительно к параметрам конкретного юридического лица.

Конечно, проблемы внедрения ЭММ не исчерпываются вышеописанными вопросами. Однако сформулированные четыре положения являются необходимыми условиями, невыполнение которых гарантирует неадекватность ЭММ и, следовательно, их полную практическую непригодность.

Список литературы:

1. Danzig G.B. Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule / G.B. Danzig, D.R. Fulkerson // Naval Research Logistics Quarterly, 1954, No 1. Pp. 217–222.
2. Савин В.И. Расчёт графика движения на электронно-вычислительных машинах. В.И. Савин – М.: Транспорт, 1968, 216 с.
3. Пьяных С.М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта. С.М. Пьяных – М.: Транспорт, 1988, 253 с.
4. Barnhart, C. Handbooks in Operations Research and Management Science: 14 Transportation / C. Barnhart, G. Laporte (eds). Amsterdam: Elsevier, 2007.
5. Mundy, R.A. Management Systems for Inland Waterway Traffic Control / R.A. Mundy, J.F. Campbell. Center for Transportation Research and Education. Iowa State University, 2005.
6. Caroll, J.L. Simulation of Waterway Transport Systems / J.L. Caroll, M.S. Bronzini. Transportation Engineering Journal, Vol. 97, No. 3, August 1971. Pp. 527–539.
7. Bronzini, M. S. Inland Navigation System Analysis / M. S. Bronzini. Vol. 5. CACI, Inc., U.S. Army Corps Engineers, Washington, D.C., 1976.
8. Waterway Analysis Model (WAM). User Manual. Shallow Draft Version, NESP Reports. Huntington, West Virginia, 2007.

9. Платов А.Ю., Платов Ю.И. Проблемы внедрения аналитических информационных технологий на речном транспорте. Наука и техника транспорта / Москва, №3, 2010. С. 42–45.
10. Платов А.Ю., Платов Ю.И. Проблемы применения систем поддержки принятия решений на речном транспорте. Речной транспорт (XXI век). 2018. № 1 (85). С. 22–24.
11. Ronen, D. Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1983, No 12. Pp. 119-126.
12. Ronen, D. Ship Scheduling: The Last Decade / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1993, No 71. Pp. 325-333 .
13. Mohammed Al-Yakoob, Salem. Mixed-integer mathematical programming optimization models and algorithms for an oil tanker routing and scheduling problem / Salem Mohammed Al-Yakoob. Dissertation for PhD in Math., Virginia Polytechnic Institute, Virginia, 1997.
14. Christiansen, M. Maritime Transport Optimization: An Ocean of Opportunities / M. Christiansen, K. Fagerholt, G. Hasle, A. Minsaa, B. Ny-green. OR/MS Today, April, 2009, Pp. 26–31.
15. Альпидовский А.Д., Шабров, В.Н. Экономико-математическая модель оптимизации доставки партии автомобилей от «двери до двери». Вестник ВГАВТ. Н.Новгород: Изд-во «ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – Вып. – № 49 – С. 220–228.
16. Телегин А.И. Шабров, В.Н. Модель транспортно-экспедиционного обеспечения сквозной доставки партий автомобилей «от двери до двери» с участием речного транспорта. / Речной транспорт (XXI век). – 2017.– № 2 (60).
17. Абдулатипов, М.А., Калачев В.К. Оптимизация числа караванов судов за период ледовой проводки. Вестник ВГАВТ. 2017. №51.-С. 93–98.
18. Абдулатипов, М.А. Иванов В.М. Экономико-математическая модель текущего планирования ледокольных проводок в морском бассейне / Вестник ВГАВТ. 2018. №54.-С. 79–85.
19. Пьяных, С.М. Автоматизация расчета графика движения флота в пароходствах центрального и северо-западного бассейнов на ЕС ЭВМ / С.М. Пьяных, Н.В. Пигалова // Труды / ГИИВТ. – Горький, 1981. – Вып. 187. – С. 3–10.
20. Платов, Ю.И. Первая очередь АСУ пароходства «Волготанкер» / Ю.И. Платов // Передовой опыт и новая техника / ЦБНТИ. М., 1976. – Вып. 3 (27). С. 3–7.
21. Авилов В.А. Математико-статистические методы технико-экономического анализа производства. М. «Экономика», 1967, 264 с.
22. Платов А.Ю. Система автоматизированного расчета норм времени следования и расхода топлива / А.Ю. Платов, Ю.И. Платов, А.Г. Малышкин, С.Г. Смирнов // Наука и техника на речном транспорте / ФГУП ЦБНТИ Минтранса РФ. – М., 2003. – С. 80–84.
23. Платов А.Ю., Платов Ю.И. О современных методах бизнес-планирования работы речного флота. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта, 2018. – № 54. – С. 110–116.
24. Никулина М.В., Никифорова Д.Д., Платов Ю.И. Обоснование критерия выбора вида транспорта для грузовых перевозок. Труды конгресса «Великие реки», 2018 г., вып. 7. «Проблемы использования инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек».
25. Harilaos N. Psarafitis and Christos A. Kontovas. Green Maritime Transportation: Speed and Route Optimization. Transportation Logistics The Quest for Win-Win Solutions. Springer International Publishing Switzerland, 2016. Pp. 299–351.
26. Ronen D. Effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of the Operational Research Society, 33 (11), 1982, Pp. 1035–1040.
27. Barras B. Ship design and performance for masters and mates. Oxford: Elsevier, 2004.
28. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.: Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011.
29. Kowalski, A. Cost optimization of marine fuels consumption as important factor of control ship's sulfur and nitrogen oxides emissions. Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2013, 36(108) z. 1 Pp. 94–99.
30. Shradly D.A., Smith G.K., Vassian R.B. Predicting Ship Fuel Consumptions. Naval Postgraduate School, 1996. Pp. 70.
31. Miyeon Jeon, Yoojeong Noh, Yongwoo Shin, O-Kaung Lim, Inwon Lee, Daeseung Cho Prediction of ship fuel consumption by using an artificial neural network / Journal of Mechanical Science and Technology 32 (12) (2018) Pp. 5785-5796.

NECESSARY CONDITIONS FOR THE ADEQUACY OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS ON RIVER TRANSPORT

Alexander Y. Platov

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

Yury I. Platov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. One of the obvious conditions for the applicability of economic and mathematical models is their adequate reflection of transport processes. The issue of adequacy should be decided separately for each specific model. However, in the case of modeling for the river fleet, we can talk about the existence of traditional approaches to building models that are outdated and lead to inadequacy of all such models. It is shown that the proposed models do not fully reflect the properties of the transport process, and, therefore, their use in practice can lead to significant errors in the planning of the fleet. The analysis of typical errors in the models construction for the fleet planning is given. It is shown that when developing models of fleet planning in other countries, the practical needs of water transport are much better taken into account, despite the existence of more advanced private domestic models. Based on the modern realities of the operation of the river fleet and IT capabilities, several necessary conditions are formulated, which must be satisfied by practically applicable models.

Keywords: *economic and mathematical methods on river transport, modeling adequacy, optimization of fleet operation planning, operating costs, average values, controlled and uncontrolled cash flows, linear programming models*

References:

1. G.B. Danzig, D.R. Fulkerson D.R. Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule, Naval Research Logistics Quarterly, 1954, No 1. Pp. 217-222.
2. Savin V.I. Raschet grafika dvizheniya na elektronno-vychislitel'nykh mashinakh. – M.: Transport, 1968.
3. P'yanykh S.M. Ekonomiko-matematicheskie metody optimal'nogo planirovaniya raboty rechnogo transporta. – M.: Transport, 1988.
4. Barnhart C., G. Laporte G. Handbooks in Operations Research and Management Science: 14 Transportation. Amsterdam: Elsevier, 2007.
5. Mundy, R.A. Campbell J.F. Management Systems for Inland Waterway Traffic Control, Center for Transportation Research and Education. Iowa State University, 2005.
6. Caroll J.L., Bronzini M.S. Simulation of Waterway Transport Systems Transportation Engineering Journal, Vol. 97, No. 3, August 1971: 527-539.
7. Bronzini M. S. Inland Navigation System Analysis. Vol. 5. CACI, Inc., U.S. Army Corps Engineers, Washington, D.C., 1976.
8. Waterway Analysis Model (WAM). User Manual. Shallow Draft Version, NESP Reports. Huntington, West Virginia, 2007.
9. Platov A.Yu., Platov Yu.I. Problemy vnedreniya analiticheskikh informatsionnykh tekhnologiy na rechnom transporte. Nauka i tekhnika transporta, Moskva, №3, 2010: 42-45.
10. Platov A.Yu., Platov Yu.I. Problemy primeneniya sistem podderzhki prinya-tiya resheniy na rechnom transporte. Rechnoy transport (XXI vek). 2018. № 1 (85): 22-24.
11. Ronen D. Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems, European Journal of Operational Research, 1983, No 12: 119-126.
12. Ronen D. Ship Scheduling: The Last Decade, European Journal of Operational Research, 1993, No 71: 325-333 .
13. Mohammed Al-Yakoob, Salem. Mixed-integer mathematical programming optimization models and algorithms for an oil tanker routing and scheduling problem. Dissertation for PhD in Math., Virginia Polytechnic Institute, Virginia, 1997.
14. Christiansen M., Fagerholt K., Hasle G., Minsaa A., Ny-green. B. Maritime Transport Optimization: An Ocean of Opportunities, OR/MS Today, April, 2009, Pp. 26-31.
15. Al'pidovskiy A.D., Shabrov V.N. Ekonomiko-matematicheskaya model' opti-mizatsii dostavki partii avtomobiley ot «dveri do dveri». Vestnik VGAVT. N.Novgorod: Izd-vo «FGBOU VO «VGUVT», 2016. Vyp. № 49 – Pp. 220228.
16. Telegin A.I. Shabrov, V.N. Model' transportno-ekspeditsionnogo obespeche-niya skvoznoy dostavki partiy avtomobiley «ot dveri do dveri» s uchastiem rechnogo transporta. Rechnoy transport (XXI vek). 2017.– № 2 (60).
17. Abdulatipov M.A., Kalachev V.K. Optimizatsiya chisla karavanov sudov za period ledovoy provodki. Vestnik VGAVT. 2017. №51.-Pp. 93-98.
18. Abdulatipov M.A. Ivanov V.M. Ekonomiko-matematicheskaya model' tekushche-go planirovaniya ledokol'nykh provodok v morskome basseynе. Vestnik VGAVT. 2018. №54.-Pp. 79-85.
19. P'yanykh, S.M., Pignalova N.V. Avtomatizatsiya rascheta grafika dvizheniya flota v parokhodstvakh tsentral'nogo i severo-zapadnogo basseynov na ES EVM. Trudy GIIVT. – Gor'kiy, 1981. – Vyp. 187. – Pp. 3-10.
20. Platov Yu.I. Pervaya ochered' ASU parokhodstva «Volgotanker».Peredovoy opyt i novaya tekhnika, TsBNTI. M., 1976. – Vyp. 3 (27): 3-7.
21. Avilov V.A. Matematiko-statisticheskie metody tekhniko-ekonomicheskogo analiza proizvodstva. M. «Ekonomika», 1967.
22. Platov A.Yu., Platov Yu.I., Malyshev A.G., Smirnov S.G. Sistema avtomatizirovannogo rascheta norm vremeni sledovaniya i raskhoda topliva. Nauka i tekhnika na rechnom transporte, FGUP TsBNTI Mintransa RF. – M., 2003. – Pp. 80-84.
23. Platov A.Yu., Platov Yu.I. O sovremennykh metodakh biznes-planirovaniya raboty rechnogo flota. Vestnik VGAVT, 2018. – N 54. – Pp. 110-116.
24. Nikulina M.V., Nikiforova D.D., Platov Yu.I. Obosnovanie kriteriya vy-bora vida transporta dlya gruzovykh perevozk. Trudy kongressa «Velikie reki», 2018 g., vyp. 7. «Problemy ispol'zovaniya innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putey v basseynakh velikikh rek».
25. Harilaos N. Psarafitis and Christos A. KontovasGreen. Green Maritime Transportation: Speed and Route Optimization. Transportation Logistics The Quest for Win-Win Solutions. Springer International Publishing Switzerland, 2016: 299-351.
26. Ronen D. Effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of the Operational Research Society, 33 (11), 1982, Pp. 1035–1040.
27. Barras B. Ship design and performance for masters and mates. Oxford: Elsevier, 2004.
28. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.: Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011.
29. Kowalski A. Cost optimization of marine fuels consumption as important factor of control ship's sulfur and nitrogen oxides emissions. Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2013, 36(108) z. 1 Pp. 94–99.
30. Shradly D.A., Smith G.K., Vassian R.B. Predicting Ship Fuel Consumptions. Naval Postgraduate School, 1996: 70.
31. Miyeon Jeon, Yoojeong Noh, Yongwoo Shin, O-Kaung Lim, Inwon Lee, Daeseung Cho Prediction of ship fuel consumption by using an artificial neural network / Jour-nal of Mechanical Science and Technology 32 (12) (2018): 5785-5796.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Платов Александр Юрьевич, д.т.н., доцент, зав. кафедрой прикладной информатики и статистики, Нижегородский архитектурно-строительный университет (ФГОУ ВО «ННГАСУ»), 603950, Н.Новгород, ул. Ильинская, 65,

Alexander Y. Platov, Dr. Sci. Tech, head of Applied Informatics and Statistic Chair, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 65, Ilyinskaya st., Nizhny Novgorod, 603950

e-mail: platoff@mail.ru

Платов Юрий Иванович, д.т.н., проф.,
профессор кафедры управления транспортом,
Волжский государственный университет
водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: platov1@yandex.ru

Yury I. Platov, Dr. Sci. Tech, professor of
Transport Management Chair, Volga State Uni-
versity of Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951