

УДК 656.6

# РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НОРМИРОВАНИЯ ХОДОВОГО ВРЕМЕНИ И РАСХОДА ТОПЛИВА МОРСКОГО СУДНА

**А.А. Кирильчев**

Аспирант\*

**Н.В. Ивановский**

Кандидат технических наук, доцент\*

**С.П. Голиков**

Кандидат технических наук, доцент\*

Декан Морского факультета

**Д.Г. Куценко**

Ассистент\*

**В.А. Зеленцов\***

\*Кафедра судовождения

Керченский государственный морской технологический

университет

ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, АР Крым, Украина, 98309

*У роботі розглянута актуальна проблема – нормування ходового часу та витрат палива. Виявлені недоліки існуючих методик вирішення даної задачі, а саме: значний вплив людського фактору та використання занадто прощених математичних моделей. Як наслідок - запропоновані шляхи вирішення цієї задачі*

*Ключові слова: морське судно, нормування витрат палива, інтелектуальні системи*

*В работе рассмотрена актуальная проблема - нормирование ходового времени и расхода топлива. Выявлены недостатки существующих методик решения данной задачи, а именно: большое влияние человеческого фактора и сильное упрощение математических моделей. В результате предложены пути решения этой задачи*

*Ключевые слова: морское судно, нормирование расхода топлива, интеллектуальные системы*

## 1. Постановка проблемы в общем виде

По мере того, как рынки все больше глобализуются, объемы судоходства растут. С этим ростом увеличивается интерес как к грузовым перевозкам морем, так и к проблемам судоходства. В интересах торговых отношений грузоперевозки должны осуществляться в кратчайшие сроки, и в связи с этим возникает ряд проблем, как технического, так и экономического характера. Первое место этого ряда, бесспорно, занимает вопрос экономической выгоды такой скоростной доставки и её отражении на состоянии судна. С экономической стороны, чтобы транспортировка была более выгодной необходимо учесть такие важные факторы как стоимость и наличие возможности восполнения запаса топлива в портах захода, а также стоимость фрахта судна. В последнее время цены на топливо значительно возросли, так же возрос ассортимент предлагаемых в продажу видов топлива. Международное право так же регламентирует, какое топливо (с каким содержанием серы) разрешено для использования. В связи с этим появилось большее количество бункеровочных компаний, предлагающих свои услуги, и судовладелец предстаёт перед дополнительным выбором при заказе топлива для судна. Ежедневные затраты на аренду танкера типа «панамакс» составляет в среднем около 60000 у.е. Время бункеровочных операций колеблется от пары до нескольких часов в зависимости от договорённости между судовладельцем и портом, наличия береговых бункеровочных линий или же бункеровщиков. Судовладелец обговаривает также вопрос

о возможности бункеровки судна в не стальнойное время, во время погрузки либо выгрузки, или непосредственно у причала после окончания грузовых операций, чтобы максимально сократить потери времени, а следовательно, и денег на получение топлива. Ещё одной особенностью в данном вопросе является чрезвычайное право капитана, которым он наделяется морским правом, капитан может самостоятельно решать, согласен ли он теми или иными требованиями судовладельца, так же это право касается и топливного вопроса. К примеру, капитан, основываясь на своём личном опыте в плане наличия, качества топлива в следующем порту захода а также имея вполне обоснованные сомнения, что касается честности бункеровщика, может предложить судовладельцу не принимать топливо в следующем порту. При этом на борту уже может находиться недостаточное количество горючего для перехода из того – следующего порта, в сложившейся ситуации капитан имеет право не выполнять распоряжения судовладельца, бросить якорь в данном порту и требовать необходимого топлива. Как с точки зрения безопасности судна так для того, чтобы снизить необоснованные денежные затраты связанные с буксировкой судна без топлива в порт или экстренную бункеровку, или другие непредвиденные операции – капитан будет прав.

Также для сокращения потребления топлива на судне разрабатывается план перехода, учитывающий необходимость безопасной и кратчайшей проводки судна из одного порта в другой. Планирование перехода позволяет разумно использовать топливо, устанавливает скоростные режимы на опред-

ёлённых участках пути (в соответствии с правилами МППСС), а также позволяет заранее продумать изменение ходов судна, влияющих на потребления топлива. В соответствии с требованиями судоходной компании установлен порядок и процедура замера количества топлива в танках и ежедневная система отчётов, посылаемых судном. В этих отчётах указывается и количество топлива на борту, и его суточное потребление, и среднее значение потребления за последние 3-е суток, расход дизельного топлива. В некоторых случаях именно запас дизельного топлива может сыграть решающую роль, так как танкерный флот осуществляет операции выгрузки исключительно на дизельном топливе – около 70 тонн дизтоплива расходуется на 24-х часовую выгрузку танкера типа «панамакс», так же дизтопливо расходуется при балластных операциях, как в порту, так и при заходе в особые районы, описанные в МАРПОЛ.

С технической – работа главного двигателя судна на оптимальных режимах (при этом так же достигается уменьшение потребление топлива). В общем случае, снижение количества потребляемого топлива при сохранении при этом разумных и безопасных скоростей доставки грузов будет лучшим решением проблемы, так как сэкономит и время и топливо. Замеры топлива в танках являются не достаточно точными в условиях морского перехода, так как на результаты операции влияют качка, точность измерения используемого оборудования (мерных рулеток), наличие пены и пузырей на поверхности топлива, количество топливных танков, в которых совершается измерения. Так же при измерении следует учесть человеческий фактор, так как обычно делается несколько замеров и значение величины усредняется. В дальнейшем перед использованием топливо проходит по топливной системе, где оно очищается от примесей, то есть какая-то незначительная часть его теряется, однако, в пересчёте на сотни тонн эта часть имеет весомое значение.

Вопросы создания системы нормирования расхода топлива рассматривались в научных работах Бажана П.И., Кутыркина В.А., Пискунова В.А., Платова Ю.И., Самыкина Г.А., Шапошникова Е.М. Разработкой норм расхода топлива занимались также специалисты-практики Есин А.И., Ровин С.Н., Тумаринсон Е.М. и многие др.

Для создания системы, а также для получения статистических данных о потреблении топлива главным двигателем судна, вспомогательными двигателями, а также горючего затраченного на грузовые операции большинство современных судоходных компаний установило систему отчётов. В разных компаниях они называются по-разному и включают различные данные и параметры, касающиеся перехода судна, но все они содержат информацию о топливе. Обычно это количество топлива на борту, на момент отправки отчёта, расход за сутки на ГД, расход дизельного топлива для вспомогательных установок, средняя скорость перехода и среднее значение числа оборотов ГД, преобладающее за сутки направление и скорость течения, направление и скорость ветра. Преданные данные анализируются и на их основании для каждого отдельного судна, с учётом его скоростных и манёвренных характеристик, устанавливается

минимальная скорость морского перехода, которая устраивала бы как судовладельца, так и грузоотправителя.

Из всего выше сказанного на сегодняшний день задача разработки новых методов нормирования топлива остается актуальной.

---

## 2. Анализ последних достижений и публикаций

---

Можно выделить два основных подхода к построению системы нормирования.

В первом - расчёт норм расхода топлива и времени следования осуществляется на основании аналитических зависимостей, которые строятся для каждого типа судна. Эти зависимости определяются в основном по результатам натуральных испытаний большого числа судов данного типа.

Другой подход основан на статистическом материале, который собирается по путевым журналам за несколько навигаций.

Недостатки обоих подходов заключаются в следующем. Во-первых, практически не учитываются индивидуальные характеристики судов. Между судами одного типа существует разница в условиях эксплуатации.

Судно может быть модернизировано и т.д. То есть разброс между характеристиками судов одного типа может быть значительным. Во-вторых, оба подхода имеют весьма ограниченные возможности учёта разнообразных условий плавания. Применяемые способы учёта, например, глубины пути или силы ветра являются очень приближёнными. В итоге, как показала практика, нормы, рассчитанные согласно существующим методам, дают значительный разброс по сравнению с фактом, что при современных экономических условиях заставляет искать пути их совершенствования.

Существование изменчивых понятий вызывает необходимость обобщения и систематизации терминологии проблемной области, особенно в последние годы, когда начинается изучение смежных и граничащих наук приводящие к их объединению и образованию новых категорий знаний. Необходимо закрепление и утверждение основных понятий и их содержательной части и систематизации накопленного материала по некоторым понятиям коллективного принятия решений, для задач: теории принятия решений, декомпозиции, координации, развития систем и т.д.

---

## 3. Изложение материала исследования

---

Таким образом, для создания системы нормирования, удовлетворяющей современным условиям, требуются:

- многофакторный метод расчёта скорости и расхода топлива на главные двигатели (ГД), учитывающий индивидуальные характеристики судов и разнообразные условия плавания;
- экономические модели для расчёта режимов движения судов (норм времени следования), ядром которых будет упомянутый многофакторный метод.

Решение практических задач в современных условиях невозможно без разработки достоверных комплексных норм движения и расхода топлива.

Одной из главных причин отсутствия более совершенных методов нормирования, как нам представляется, заключалась в недостаточной производительности ЭВМ и как следствие в упрощении математических моделей. Повсеместное распространение персональных ЭВМ высокой производительности обусловило разработку новых математических моделей движения судов, которые учитывают большое число технических и экономических факторов. Технические факторы можно разделить на три группы:

- паспортные характеристики судна, куда относятся геометрические характеристики корпуса, геометрические характеристики гребного винта (ГВ) (насадки), паспортные данные ГД;

- характеристики состояния комплекса корпус – двигатель – движитель, куда относятся шероховатость поверхности корпуса и ГВ, степень обрастания корпуса судна, отклонения от геометрических паспортных характеристик корпуса и ГВ в результате повреждений, время наработки двигателя и др. факторы, меняющиеся со временем;

- условия плавания, куда относятся глубина пути, сила ветра, стесненность водного пути, температура воды, географический район плавания, ледовые условия, скорость течения и др.

К экономическим факторам можно отнести время прибытия, цену топлива, фрахтовую ставку и др.

Необходимость учёта всех вышеперечисленных факторов и есть основное требование к расчёту норм времени следования и норм расхода топлива. Поскольку ряд факторов меняется со временем, то необходим метод пересчёта норм с учётом изменившихся условий.

Для разработки многофакторного метода расчёта топлива требуется привлечение результатов исследований по гидромеханике судна и теории двигателей внутреннего сгорания. Основная здесь задача - компенсировать неизбежные погрешности при расчёте сопротивления корпуса, гидродинамических характеристик движителя и часового расхода топлива главных двигателей и получить достаточно точный итоговый расчёт. Данную задачу, на наш взгляд, целесообразно решать с применением теории нейронных сетей.

Процессы разработки и принятия решений на судне являются довольно сложными и трудоёмкими, они касаются практически всех аспектов человеческой деятельности. Принятие решений является основной разновидностью управленческой работы. Управленческое решение представляет собой результат анализа, прогнозирования, оптимизации, экономического обоснования и выбора альтернативного решения из множества вариантов достижения цели. Управленческие решения классифицируют в литературе:

- по сфере действия: технические, экономические и прочие решения;

- по цели: коммерческие и некоммерческие;

- по рангу управления: верхний, средний, нижний;

- по масштабности: комплексные и прикладные решения;

- по организации разработки: коллективные и индивидуальные решения;

- по продолжительности действия: стратегические, тактические, оперативные решения;

- по объекту влияния: внешние и внутренние;

- по методам формализации: текстовые, графические и математические;

- по форме отображения: план, программа, приказ, распоряжение, указание и просьба;

- по сложности: стандартные и инновационные;

- по способам передачи: вербальные, письменные и электронные.

Расчёт норм времени следования может быть осуществлён только на основании некоторого критерия, например, минимума расхода топлива, максимума прибыли и др. Следовательно, для обоснования и расчёта норм времени следования должны быть построены специальные экономические модели. Проблемы при построении экономических моделей, как правило, заключаются в исследовании непротиворечивости и адекватности модели, указании существования решения и разработке экономичного способа решения.

Здесь используются результаты теории экстремальных задач и методы нелинейного программирования.

Так же можно прибегнуть моделям коллективного экспертного оценивания. Рассмотрим основные методы решения задач на основе коллективных решений:

1. Принцип или парадокс Кондорсе. Парадокс Кондорсе - нетранзитивность групповых предпочтений, выявляемых на основе голосования по большинству голосов. Одной из основных проблем, возникающей при обработке информации, получаемой в процессе проведения групповой экспертизы, является проблема выбора наилучшей альтернативы. Кондорсе впервые обратил внимание на недостаточность процедуры определения наилучшей альтернативы с помощью непосредственного подсчёта голосов по правилу большинства. Такие ситуации возникают, например, при проведении различных выборов. Принцип Кондорсе состоит в следующем: кандидат, который побеждает при сравнении один на один с любым из других кандидатов, является победителем на выборах. По правилу большинства подсчитывается число экспертов, отдавших предпочтение каждой из альтернатив, и наилучшей объявляется альтернатива, которую назвали наилучшей большинство экспертов.

2. Метод Борда. Альтернативам, проранжированным экспертом, приписываются числа: последней по предпочтениям - 0, предпоследней 1 и т.д. Если через  $s_i$  обозначить сумму чисел, приписанных альтернативе  $a_i$ , то результирующим ранжированием объявляется  $(a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_m})$ ,  $s_{i_1} \geq s_{i_2} \geq \dots \geq s_{i_m}$ , а наилучшей альтернативой -  $a_{i_1}$ . Способ Борда также не лишен недостатков. В частности, альтернатива Кондорсе, т.е. альтернатива, которая лучше любой другой при парном сравнении альтернатив, может оказаться не выбранной в качестве наилучшей.

3. Аксиомы Эрроу. Функция группового выбора называется диктаторской, если найдется такой избиратель  $i$ , что условие  $x \succ_i y$  влечет условие  $xP(\succ)y$ . Отношение  $\succeq$  называется отношением коллективного предпочтения, если оно транзитивно, то есть если  $x \succeq y$  и  $y \succeq z$ , то  $x \succeq z$ .

4. Правило большинства. Правилем голосования называется отображение  $S$ , ставящее в соответствие

каждому профилю предпочтений  $\succ$  непустое подмножество  $S(\succ)$  множества альтернатив.

5. Бинарные отношения и расстояние Кемени. Как известно, бинарное отношение  $A$  на конечном множестве  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$  - подмножество декартова квадрата  $Q^2 = \{(q_m, q_n), m, n = 1, 2, \dots, k\}$ . При этом пара  $(q_m, q_n)$  входит в  $A$  тогда и только тогда, когда между  $q_m$  и  $q_n$  имеется рассматриваемое отношение. Каждую кластеризованную ранжировку, как и любое бинарное отношение, можно задать матрицей  $\|x(a, b)\|$  из 0 и 1 порядка  $k \times k$ . При этом  $x(a, b) = 1$  тогда и только тогда, когда  $a < b$  либо  $a = b$ . В первом случае  $x(b, a) = 0$ , а во втором  $x(b, a) = 1$ . При этом хотя бы одно из чисел  $x(a, b)$  и  $x(b, a)$  равно 1. В экспертных методах используют, в частности, такие бинарные отношения, как ранжировки, отношения эквивалентности, толерантности. Как следует из сказанного выше, каждое бинарное отношение  $A$  можно описать матрицей  $\|a(i, j)\|$  из 0 и 1, причем  $a(i, j) = 1$  тогда и только тогда, когда  $q_i$  и  $q_j$  находятся в отношении  $A$ , и  $a(i, j) = 0$  в противном случае. Расстоянием Кемени между бинарными отношениями  $A$  и  $B$ , описываемыми матрицами  $\|a(i, j)\|$  и  $\|b(i, j)\|$  соответственно, называется число  $D(A, B) = \sum_{i,j=1}^k |a(i, j) - b(i, j)|$ , где суммирование производится по всем  $i, j$  от 1 до  $k$ , т.е. расстояние Кемени между бинарными отношениями равно сумме модулей разностей элементов, стоящих на одних и тех же местах в соответствующих им матрицах. Легко видеть, что расстояние Кемени - число несопадающих элементов в матрицах  $\|a(i, j)\|$  и  $\|b(i, j)\|$ .

6. Методы компенсации. Идея метода заключается в компенсации (уравновешивании) оценок по показателям качества между альтернативами. Для этого в два столбца выписываются превосходства недостатка каждой альтернативы, а в процессе анализа вычеркиваются эквивалентные показатели качества и производится сравнение альтернативных решений по показателям, которые остались. Сравнение альтернатив возможно только после перехода от их качественных характеристик к количественным. Переход можно осуществить при помощи кривых безразличия, ранжирования альтернатив и т.д. К недостаткам этого метода можно отнести трудоемкость и сложность при построении поверхностей безразличия для трех и более показателей качества.

7. Метод ELECTRE. При построении бинарных отношений, каждому из показателей качества ставится в соответствие целое число  $g$ , которое характеризует важность данного показателя. Производится допущение о превосходстве одной альтернативы над другой  $a_1 \succ a_2$ . Множество показателей качества  $K$  разбивается на три подмножества:  $K^+(a_1, a_2)$  - подмножество показателей, по которым  $a_1 \succ a_2$ ;  $K^-(a_1, a_2)$  - подмножество показателей, по которым  $a_1 = a_2$ ;  $K^0(a_1, a_2)$  - подмножество показателей, по которым  $a_2 \succ a_1$ . После этого формируются индекс согласия  $D_{a_1, a_2}^S$  с допущением о превосходстве  $a_1$  над  $a_2$ .

8. Человеческо-компьютерные методы ПР ориентированы на задачи, в которых наблюдается частичная формализация проблемы, определены параметры

проблемы и соотношения между ними. Связь между параметрами модели и их влияние друг на друга неизвестно. Проблема заключается в определении наилучшего соотношения между заданными параметрами при определенном содержании проблемы. Данная задача решается т.о. ЛПР определяет первичные требования к соотношению показателей качества лучшей альтернативы, вводит их в ПК, получает некоторое решение при заданных значениях показателей, редактирует свои требования и снова вводит их в ПК.

9. Метод Делфи - заключается в структурировании процесса групповой коммуникации, направленном на создание условий эффективной работы группы над комплексной проблемой. Метод Дельфи использует итеративные независимые опросы экспертной панели, которые позволяют определять вероятность, значение и следствия факторов, тенденций и событий, связанных с обсуждаемой проблемой. После первого тура опросов участники экспертной панели получают все ответы, данные другими участниками, без указания авторов ответов. Этот прием позволяет экспертам уточнить и скорректировать свои позиции. Использование метода достаточно сложно, т.к. требует особой тщательности еще на стадии отбора экспертов для панели, скрупулезной подготовки опросных листов и их предварительного тестирования. Главное преимущество метода состоит в возможности получить развернутые, прозрачные и объективные результаты. В отличие от традиционных панельных заседаний, итеративный метод не дает эффекта влияния авторитетных и активных участников на остальных, а также снимает проблему собрать всех экспертов в одно время в одном месте.

Как вариант СППР по анализу данной проблематики - использование CASE-средств несколько повышает производительность труда разработчика программных систем в данной области, но нет уверенности, что система будет спроектирована в пределах допустимых временных ограничений и будет надежно функционировать.

Дело в том, что CASE- средства не обеспечивают разработчика интеллектуальными средствами поддержки принятия решений в процессе его деятельности, что особенно важно, если он имеет небольшой опыт работы в той предметной области, в которой ему необходимо выполнить проект. Как следствие - это получение неадекватной требованиям модели программной системы. Формализовать процесс проектирования качественной программы невозможно, нет определенного набора правил, используя которые возможна простая реализация, т.к. у каждого разработчика есть свой набор приоритетов и понятий, влияющих на процесс проектирования. Несмотря на все перечисленные трудности, возможно создание СППР разработчика и использование ее вместе с известными CASE-системами. Для этого необходимо создать разделяемую базу данных успешных, проверенных временем, надежных проектов программных систем и использовать CBR-технологии (рис. 1) для работы с ней. В этом случае любой разработчик может на основе набора требований к системе, выбрать из БД проект, который наиболее адекватен требованиям. Далее он, в зависимости от факторов, может использовать в своей работе этот проект или без изменений или с проведе-

нием его предварительной адаптации. В любом случае производительность труда разработчика значительно возрастает, поскольку провести адаптацию существующего проекта все же лучше, чем начинать работать над ним с самого начала.

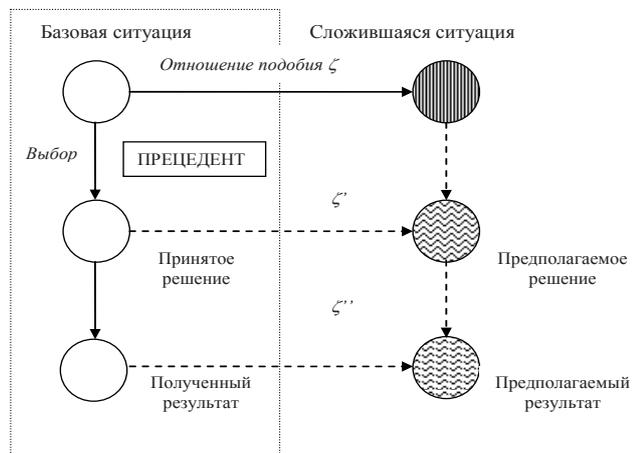


Рис. 1. Принятие решений на основе прецедента

Современный анализ показывает, что CASE-технология может и не дать ожидаемых преимуществ, если вы пытаетесь использовать ее для того, чтобы направ-

лять работу всей команды разработчиков, а команда не готова следовать нужному процессу. Однако, те же методы и CASE-средства безусловно могут обеспечить повышение личной продуктивности и качества работы отдельных разработчиков, которые используют технологию на своих локальных рабочих станциях. Проекты по разработке информационных систем должны быть заранее спланированы, информационных систем необходимо идентифицировать, классифицировать, ранжировать и выбирать для первоначальной разработки, для создания адаптивных конкурентоспособных моделей в морской отрасли.

#### 4. Выводы

Для построения системы нормирования, удовлетворяющей требованиям практики необходимо иметь в распоряжении:

- многофакторный метод расчёта скорости судна и зависимо от него расхода топлива на главные и вспомогательные двигатели;
- экономическую модель для определения режима движения судов.

Построение таких методов и моделей и есть главная задача дальнейших исследований в данном направлении.

#### Литература

1. Войткунский Я.И. Сопротивление движению судов / Я.И. Войткунский. – Л. : Судостроение, 1988. – 253 с.
2. Басин А.М. Ходкость и управляемость судов / А.М. Басин. – М. : Транспорт, 1977. – 305 с.
3. Интеллектуальные системы в морских исследованиях и технологиях / Под ред. Ю.И. Нечаева; В.Л. Александров, А.П. Матлах, Ю.И. Нечаев и др. – СПб: Изд.центр СПбГТМУ, 2001. – 391 с.

#### Abstract

*This article describes an actual problem – rating of running time and fuel consumption. From the economic point of view transportation will be more favorable if such important factors as cost of fuel, its availability in ports of call and cost of a freight of a vessel are taken into account. Calculation of these tasks can be carried out only on the basis of certain criteria, for example, a minimum of fuel consumption, a maximum of profit, etc. Therefore, special economic patterns should be developed in connection with rating of running time. Such construction will help us to avoid common errors.*

*Shortcomings of existing techniques for the solution of this task have been revealed, namely: great affect of the human factor and severe simplification of mathematical patterns.*

*As a result solutions for this task are offered. In order to create the syetm of rating meeting practical requirements it is necessary to have available:*

*- a multiple-factor method of vessel's speed calculation and fuel consumption for the main and auxilairy engines associated with it ;*

*- an economic pattern in order to determine vessels' traffic mode*

**Keywords:** *ship, fuel rationing, intelligent system*