

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ХОДОВОГО ВРЕМЕНИ И РАСХОДА ТОПЛИВА ДЛЯ РЕЧНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

**И.В. Уставщиков**

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

*Аннотация: В статье дан краткий анализ нормирования времени следования судов и составов и расхода топлива на речном транспорте России и за рубежом. Для этих целей на современном этапе цифровизации для повышения эффективности работы судов наиболее целесообразно использование существующих современных методов расчета норм следования и расхода топлива судов и составов с учётом условий плавания на участках водных путей на момент моделирования. В статье рассмотрены направления совершенствования нормирования на основе предлагаемой автором автоматизированной судовой системы контроля, для работы которой судно оснащается дополнительным стандартным оборудованием. Система обеспечивает контроль основных параметров двигателя и скорости хода по участкам водных путей и расхода топлива. Показана эффективность её функционирования. Для существенного повышения эффективности нормирования обозначены необходимые методические, алгоритмические и программные разработки.*

*Ключевые слова: нормирование ходового времени судов и расхода топлива; совершенствование нормирования, участки водных путей, модель оптимизации ходового времени, автоматизированная судовая система контроля, эффективность системы контроля.*

### Введение

На современном этапе одним из главных направлений повышения конкурентоспособности речного транспорта является использование аналитических информационных технологий (ИТ) и экономико-математических методов (ЭММ) [1,2]. В свою очередь, это требует совершенствования методов нормирования, особенно при моделировании, календарном планировании и оперативном управлении работой флота в нашей стране и за рубежом [1,2,3,4,5,6]. Нормирование времени ходовых операций и расхода топлива является одной из центральных проблем в сфере управления речным транспортом. Однако нормирование ходового времени и расхода топлива осуществлялось отдельно и использовались как расчётные, так и статистические методы, которые имели большие погрешности, так как учитывали ограниченное число факторов. В современных условиях хозяйствования и цифровизации необходимо дальнейшее совершенствование этих параметров. Особо это актуально в условиях возрастания доли затрат на топливо, которая в зависимости от характера перевозок составляет от 50% и выше в прямых эксплуатационных расходах.

### Развитие методов нормирования

На системном уровне история развития и анализ методов нормирования на речном транспорте освещены в работе А.Ю. Платова [7]. В этой работе [7] показано, что совершенствованию нормирования работы флота всегда уделялось особое внимание, начиная с середины 30-х годов прошлого столетия и до настоящего времени. При совершенствовании нормирования для получения норм использовались как аналитические зависимости, так и статистические методы. Степень использования норм, полученных разными путями в разные периоды, зависела от целей применения, числа судов, интенсивности их движения, уровня вычислительных средств. Опытно-статистические нормы применялись, в основном, для планирования и оценки работы экипажей судов.

Создание современных расчётных методов нормирования связано с разработкой оптимизационных методов планирования работы флотов на основе ЭММ и началом процесса информатизации в рамках автоматизированных систем управления (АСУ) на речном транспорте. Однако главными взаимосвязанными недостатками статистических и расчётных норм были два. Первый вытекал из полного учета зависимости скорости движения судов от условий плавания и параметров судна. Второй связан с тем, что нормирование времени следования и расхода топлива судами было разделено на всех временных этапах развития и применения норм. Такое раздельное нормирование в современных условиях высоких и все возрастающих расходов на топливо является неэффективным. Исходя из этого обстоятельства, в анализируемой работе [7] предложен комплексный подход к нормированию, отвечающий современным условиям экономики и уровню развития вычислительных средств и ЭММ.

## Современные методы нормирования и их совершенствование

Авторами [1,2,7,8] теоретически доказано и практически подтверждено, что на современном этапе цифровизации наиболее целесообразно использование аналитических оптимальных норм следования и расхода топлива для судов и составов, что существенно повышает эффективность перевозок.

Следует заметить, что в зарубежных исследованиях оптимизация расхода топлива, предполагающая прямое вычисление всех параметров рейса с использованием различных зависимостей, занимает довольно заметное место [9,10,11,12,13]. Это связано не только с высокими ценами на топливо, но и, в значительной степени, с вопросами экологии.

Однако эти исследования в основном применимы для морских судов и не учитывают специфику речных водных путей, имеющих резко меняющуюся глубину, ширину разных участков и скорость течения, а, следовательно, резкое изменение как скорости судна, так и расхода топлива. Поэтому каждый водный путь должен быть разбит на элементарные участки, характеризующиеся относительно постоянными характеристиками: глубиной, скоростью течения, степенью стеснённости фарватера и другими данными.

Для определения скорости и расхода топлива речных судов в работе [7] предложены модели, которые, кроме условий плавания, учитывают и многие другие параметры. К ним относятся характеристики корпуса судна, движителя, двигателя.

Введение в расчёт времени следования и расхода топлива условий плавания и параметров судна в виде некоторых зависимостей и моделей движения судна позволяет существенно уменьшить неопределённость и повысить достоверность нормирования для оперативного управления работой флота.

Упрощенно эта модель имеет следующий вид.

Критерий модели формулируется в виде функции  $F(t_k)$ , значение и величина которой зависят от целей нормирования, и имеет экономический смысл (максимизация прибыли, минимизация прямых расходов, затрат на топливо, выполнение заданного времени прибытия, расписания прибытия пассажирских судов и т.д.). Продолжительность рейса будет находиться в некотором допустимом интервале, но всегда будет оптимальной.

Задача нормирования времени движения судна в общем случае выглядит следующим образом:

$$F(t_k) \rightarrow \min, \max, \quad (1)$$

$$t_k^{\min} \leq t_k \leq t_k^{\max}, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^N t_k \leq T, \quad (3)$$

где  $k$  – номер элементарного участка,

$N$  – число элементарных участков,

$t_k$  – искомое время движения на каждом элементарном участке, которое определяется в интервале минимального и максимального времени движения по участку,

$T$  – заданное время рейса.

Минимальное время или максимальная скорость определяются с помощью специальных программ с учетом ограничений, диктуемых условиями плавания. Максимальное время или минимальная скорость находятся либо исходя из условий управляемости судна, либо из условия устойчивого режима работы главных двигателей или ограничений, диктуемых правилами плавания.

Ограничение (3) необходимо тогда, когда задано время прибытия судна в конечный пункт рейса.

Как отмечено в [1,2,7], применение таких моделей при нормировании повышает эффективность работы флота. Так, использование оптимальных норм времени следования и расхода топлива в 2004 г. [14, 15] в пароходстве «Волготанкер» позволило сократить расход топлива в среднем по всем перевозкам на 16% , в том числе на 7% – за счет оптимизации и на 9% – за счет повышения контроля за расходом топлива в результате использования таких норм.

### Необходимость совершенствования нормирования

Однако при современном уровне развития средств вычислительной техники, съёма и передачи данных возможно и необходимо дальнейшее совершенствование нормирования, а, следовательно, и повышение эффективности работы судов. Необходимость диктуется повышением точности или устранением погрешности, особенно для решения задач в реальном масштабе времени. Такие погрешности возникают по разным причинам. Одной из них является используемая структура разбивки водного пути на элементарные участки, которая содержит данные для полноводного (весеннего) и меженного периодов. Разность норм времени и расхода топлива, приведенная в сборниках [14,15], между весенними и меженными периодами в зависимости от участков и направления движения (вверх, вниз) по времени находится в пределах (3–17%), а по расходу топлива – в пределах (6–45%). Разный интервал отклонений для норм времени и расхода топлива

объясняется кубической зависимостью расхода топлива от скорости движения судна [7]. При этом большие резкие изменения характерны для относительно небольших глубин и свободной реки (скорости течения), направления движения (вверх, вниз), с грузом или порожнем, что также вытекает из приведенных зависимостей [7]. Такая погрешность наиболее заметна на переходных периодах между весной и меженью, которые могут длиться на некоторых водных путях до трех месяцев и одновременно на разных участках следования судна могут быть высокие и низкие уровни воды и, соответственно, скорости течения. Кроме того, для каждого элементарного участка приняты усредненные глубины и скорости течения без учета их колебаний по длине участка, а также не учитываются существенные изменения глубин и скоростей течения внутри суток, связанные с расходом воды на ГЭС.

Вторым направлением снижения погрешности и повышения эффективности работы судов является переход на индивидуальное нормирование для каждого судна и состава. Метод [7] позволяет учитывать не только условия плавания, но и индивидуальные конструктивные и эксплуатационные особенности конкретных судов, а также изменения в процессе их эксплуатации, такие как изношенность корпуса и двигателя, обрастание корпуса, ветро-волновой режим, температура воды и воздуха. Однако нерешенной проблемой является учет этих особенностей при оперативном регулировании работы флота.

Третьим направлением повышения эффективности нормирования является контроль за соблюдением норм времени движения судна и расхода топлива как составной части нормирования, а также проверка степени адекватности расчетных оперативных норм фактическим величинам.

### **Возможность совершенствования нормирования**

Одно из направлений решения обозначенных выше проблем возможно на базе систем контроля отдельных эксплуатационных параметров судна. В настоящее время уже разработаны два варианта автоматических систем контроля некоторых эксплуатационных параметров. Первый позволяет непрерывно контролировать расход топлива путем определения уровня топлива в цистернах на каждый момент времени и снимать частоту вращения двигателя. Примером такой системы является система, разработанная ООО «ЭЛКОМ» [16]. Второй вариант позволяет непрерывно контролировать частоту вращения гребных валов и расход топлива, определять позицию судна, накапливать информацию при отсутствии возможности отправить ее на сервер. Эта система на основе статистики позволяет также осуществлять анализ потребления топлива и смазки при различных режимах хода судна с учетом фактической наработки механизмов по оборотам и мощности. Примером такой системы является «Система fleeteco» украинского предприятия Digital Technology Group [17]. Однако системы в обоих вариантах контролируют разные параметры и не обеспечивают контроля скорости судна, а, следовательно, не обеспечивают совершенствования нормирования.

Поэтому нами на основе анализа функций, выполняемых стандартным оборудованием, предлагается система [18], обеспечивающая решение обозначенных выше проблем. Эта система должна снимать, передавать на сервер посредством GSM и хранить при необходимости следующие параметры: обороты гребных валов, мощность дизель генераторов, расход топлива главными двигателями, скорость движения судна относительно воды и берега, запас воды под корпусом судна. Она же позволит в режиме ONLINE контролировать работу судна, автоматически вести историю показаний параметров во время выполнения судном каждого рейса отдельно. Для функционирования этой системы необходим следующий основной состав стандартного оборудования: судовой компьютер MC-7210-DC-CP-T; датчики частоты вращения главных двигателей SM-12 по числу двигателей; трансформаторы тока «ASK» по числу генераторов; интеллектуальные вихревые расходомеры Rosemount 8800D по числу главных и вспомогательных двигателей, а также, возможно, и котлов; антенна для передачи данных, COM-порт и аналогово цифровой преобразователь; модем для передачи GSM сигнала и др. Кроме того, используется стандартное оборудование судов, оснащенных гироскопом, лагом, эхолотом и GPS.

В первом приближении такую систему можно использовать для повышения эффективности нормирования в следующих направлениях. На основе контролируемых данных можно сравнивать фактическое время движения с нормативным, определяемым по модели (1–3), и сопоставлять все другие параметры с расчетными. На основе анализа полученной информации могут корректироваться исходные данные модели применительно к конкретному судну, т.е. будут учитываться его индивидуальные характеристики и более точные условия плавания на момент прохождения судном конкретных участков, что, в свою очередь, приведет к снижению погрешности нормирования, в том числе и за счет учета изменения глубин по периодам навигации и суточных колебаний. Это во-первых. А во-вторых, очевидным является и то, что система обеспечивает и контроль за соблюдением установленного режима выполнения каждого конкретного рейса путем непрерывного мониторинга и последующего регулирования движения в режиме «Online». Реализация только таких возможностей уже обеспечивает гарантированный экономический эффект. Нами в работе [16] рассчитана эффективность двух вариантов работы танкеров проекта 1577/550А на линиях Татьяна-Высоцк и Татьяна-Кавказ. На этих линиях в расчет были взяты только те участки водных путей, на которых гарантированно возможно получить экономию за счет регулирования режимов движения судна на основе ежесуточных перепадов уровней воды. Так, при стоимости дополнительного оборудования (включая и его монтаж) 1691 тыс. руб., экономический эффект за жизненный цикл на линии Татьяна-

Высоцк составил 2398 тыс. руб., а на линии Татьяна-Кавказ – 5793 тыс. руб. с дисконтированными сроками окупаемости соответственно 3,5 и 1,79 года.

Как видно из приведённых данных, использование такой системы эффективно. Однако её возможности по повышению эффективности не исчерпываются для совершенствования нормирования в свете отмеченных выше задач. Однако, для этого необходимы методические, алгоритмические и программные разработки.

### **Выводы и предложения**

На основании изложенных выше доводов, можно сделать следующие выводы.

В большинстве судоходных предприятий методы нормирования и контроля ходового времени и расхода топлива не соответствуют современному уровню информационных технологий, несмотря на то, что они разработаны и проверены на практике. Для их реализации требуются следующие методические, алгоритмические и программные разработки.

Во-первых, в условиях цифровизации необходимо наличие автоматизированной системы с отслеживанием глубин и течений.

Во-вторых, требуется обеспечить нормирование времени движения конкретных судов и составов и расхода топлива с привязкой к календарному времени выполнения рейса, в том числе, прогнозирование подхода к ГЭС.

В-третьих, следует определять и выдавать необходимые судовые показатели контроля выполнения заданного режима движения с оценкой их погрешности.

В-четвертых, необходимо производить динамический пересчет режима движения с любого времени выполнения рейса в связи с изменением условий плавания и эксплуатационной обстановки. Для этого необходимо разработать соответствующие офисные модели, а возможно, и судовые.

### **Список литературы:**

1. Платов А.Ю., Платов Ю.И. Проблемы внедрения аналитических информационных технологий на речном транспорте. Наука и техника транспорта / Москва, №3, 2010. С. 42–45.
2. 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.
3. 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.
4. Caroll J.L. Simulation of Waterway Transport Systems / J.L. Caroll, M.S. Bronzini. Transportation Engineering Journal, Vol. 97, No. 3, August 1971. P. 527–539.
5. Ronen D. Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1983, No 12. P. 119–126.
6. Ronen D. Ship Scheduling: The Last Decade / D. Ronen // European Journal of Operatio [28,29,30], nal Research, 1993, No 71. P. 325–333.
7. Платов А.Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях: дис. док. техн. наук: 05.22.19 / А.Ю. Платов. – Н.Новгород, 2010. – 314 с.
8. Малышкин А.Г., Платов А.Ю., Платов Ю.И., Смирнов С.Г. Система автоматизированного расчета норм времени следования и расхода топлива. Наука и техника на речном транспорте / ФГУП ЦБНТИ Минтранса РФ. – М., 2003. – С. 80–84.
9. Harilaos N. Psaraftis and Christos A. KontovasGreen. Green Maritime Transportation: Speed and Route Optimization. Transportation Logistics The Quest for Win-Win Solutions. Springer International Publishing Switzerland, 2016. PP. 299-351.
10. Ronen D. Effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of the Operational Research Society, 33 (11), 1982, pp. 1035–1040.
11. Barras B. Ship design and performance for masters and mates. Oxford: Elsevier, 2004.
12. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.: Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011.
13. 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.
14. Эксплуатационные нормативы для планирования работы транспортного флота. ООО «Волготанкер» АМС, Москва. 2003– 43 с.
15. Нормы расхода топлива для планирования работы транспортного флота. ООО «Волготанкер» АМС. Москва. 2003– 71 с.
16. Группа компаний ЭЛКОМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: el-com.ru (дата обращения: 20.04.20)
17. Digital marine. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: digitalmarine.net (дата обращения: 10.04.20)
18. Уставщиков И.В. Регулирование режима движения грузового судна на базе системы контроля условий эксплуатации: маг. дис. 23.04.01 / И.В. Уставщиков. – Н.Новгород, 2018. – 95 с.

## **THE IMPROVEMENT OF RATIONING RUNNING TIME AND FUEL CONSUMPTION FOR RIVER VESSELS IN THE CONTEX OF DIGITALIZATION**

**Ivan V. Ustavshchikov,**  
*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

*Abstract: The article presents a brief analysis of rationing the time of passage of vessels and convoys and fuel consumption on river transport in Russia and abroad. To improve the efficiency of the river vessels at the current stage of digitalization, the usage of the existing modern methods of calculating the standards of navigation and fuel consumption of vessels and convoys is the most appropriate for these purposes, taking into account the conditions of navigation on sections of waterways at the time of modeling. The article considers the ways of improvement of rationing based on the automated ship control system suggested by the author, for the functioning of which there is additional standard equipment on board a ship. The system provides control of the main parameters of the engine and speed along sections of waterways and fuel consumption. The effectiveness of its functioning is shown. To increase the efficiency of rationing significantly, the necessary methodological, algorithmic and software developments are identified.*

*Keywords: rationing of vessels' running time and fuel consumption; improvement of rationing, sections of waterways, a model of optimizing running time, automated ship control system, effectiveness of the control system.*

## References

1. Platov A.YU., Platov YU.I. «Problemy vnedreniya analiticheskikh informacionnykh tekhnologij na rechnom transporte. Nauka i tekhnika transporta» Moskva, №3, 2010. S. 42–45.
2. Platov A.YU., Platov YU.I. «Problemy primeneniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij na rechnom transporte. Rechnoj transport (XXI vek)». 2018. № 1 (85). S. 22–24.
3. R.A. Mundy, J.F. Campbell «Management Systems for Inland Waterway Traffic Control», Center for Transportation Research and Education. Iowa State University, 2005.
4. J.L. Caroll, M.S. Bronzini «Simulation of Waterway Transport Systems», Transportation Engineering Journal, Vol. 97, No. 3, August 1971. P. 527–539.
5. D. Ronen «Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems», European Journal of Operational Research, 1983, No 12. P. 119–126.
6. Ronen, D. «Ship Scheduling: The Last Decade», European Journal of Operational Research, [28, 29, 30] 1993, No 71. P. 325–333.
7. Platov A.YU. «Metodologiya operativnogo planirovaniya raboty rechnogo gruzovogo flota v sovremennykh usloviyah»dis. dok. tekhn. nauk: 05.22.19. N.Novgorod, 2010. 314 s.
8. Malyshkin A.G., Platov A.YU., Platov YU.I, Smirnov S.G. «Sistema avtomatizirovannogo rascheta norm vremeni sledovaniya i raskhoda topliva . Nauka i tekhnika na rechnom transporte» FGUP CBNTI Mintransa RF. M., 2003. S. 80–84.
9. Harilaos N. Psaraftis and Christos A. KontovasGreen. «Green Maritime Transportation: Speed and Route Optimization. Transportation Logistics The Quest for Win-Win Solutions» Springer International Publishing Switzerland, 2016. PP. 299–351.
10. Ronen D. «Effect of oil price on the optimal speed of ships» Journal of the Operational Research Society, 33 (11), 1982, pp. 1035–1040.
11. Barras B. «Ship design and performance for masters and mates» Oxford: Elsevier, 2004.
12. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. «Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power» Cambridge University Press, 2011.
13. 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.
14. «Ekspluatatsionnye normativy dlya planirovaniya raboty transportnogo flota» OOO «Volgotanker» AMS, Moskva. 2003, 43 s
15. «Normy raskhoda topliva dlya planirovaniya raboty transportnogo flota» OOO «Volgotanker» AMS.Moskva. 2003, 71 s
16. Gruppy kompanij ELKOM. Web. 20 Apr. 2020 <<http://www.el-com.ru>>
17. Digital marine. Web. 10 Apr. 2020 <<http://www.digitalmarine.net>>
18. Ustavshchikov I.V. «Regulirovanie rezhima dvizheniya gruzovogo sudna na baze sistemy kontrolya uslovij ekspluatatsii» mag. dis. 23.04.01, N.Novgorod, 2018. 95 s.

## ИНФОРМАЦИЯ ОТ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Уставщик Иван Викторович**, аспирант кафедры  
Управления транспортом, «Волжский государственный  
университет водного транспорта» ( ФГБОУ ВО  
«ВГУВТ»),  
603951, г.Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,  
e-mail: Ustavshchikov@yarbunker.com

**Ivan V. Ustavshchikov**, postgraduate student of the  
Department of Transport Management, Volga State  
University of Water Transport,  
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951