

УДК 504.062.2

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАБОТЫ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

**Ребрушкин М.Н., Васильев С.А., Пачурин Г.В.**

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru*

Рассмотрена важная и актуальная проблема автоматизации и компьютеризации выбора оптимальных, экономически, экологически и технически выгодных режимов работы главных двигателей транспортных судов внутреннего и смешанного плавания в зависимости от постоянно изменяющихся сложных путевых, гидрометеорологических и экономических условий эксплуатации. В работе эта задача решена на основе современных методов судовождения, базирующихся на достоверной теории работы судового комплекса «корпус судна – средства управления – судовые главные двигатели». Предложенные принципиальная схема и конструкция судового электронного управляющего комплекса были отработаны по результатам натуральных испытаний опытного образца на грузовых судах в реальных условиях эксплуатации и пробной эксплуатации малой серии (5 единиц). Выявилось снижение экологической нагрузки на водные пути и высокую экономическую эффективность – экономия топлива при прохождении сложных участков пути 23%, а средние показатели по экономии топлива за навигацию не опускались ниже 8%.

**Ключевые слова:** суда внутреннего и внешнего плавания, двигатели транспортных судов, судовождение, грузовые суда, экологическая нагрузка, экономия топлива

## MAKING A GREENER OF TRANSPORT AND INLAND NAVIGATION OF MIXED

**Rebrushkin M.N., Vasiliev S.A., Pachurin G.V.**

*FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev,  
Nizhny Novgorod, e-mail: PachurinGV@mail.ru*

Considered important and urgent problems of automation and computerization of the selection of optimal, economically, environmentally and technically advantageous modes of the main engines of cargo ships sailing inland and depending on the ever-changing complex travel, meteorological and economic conditions. In this paper this problem is solved on the basis of modern methods of navigation, based on sound theory of the ship's complex «hull – management – marine main engines». The proposed concept and design of marine electronic control of the complex were worked out by the results of field tests of the prototype in cargo ships under real operating conditions and test operation of a small series (5 units). Showed a reduction of environmental loads on waterways and high economic efficiency – fuel economy by passing the path difficult areas 23%, and average fuel economy for the navigation did not drop below 8%.

**Keywords:** Court of internal and external navigation of cargo ships engines, navigation, cargo ships, the environmental load, fuel economy

В настоящее время наблюдается тенденция к развитию внутренних водных путей для разрешения транспортных проблем, занимающих одно из ведущих мест в развитии экономики страны. Достаточно упомянуть государственную программу «Возрождение Российского флота», а также планы развития мультимодальных перевозок иностранными судоходными компаниями по внутренним водным путям Европейской территории РФ (коридор «Север-Юг»).

Естественно, что при реализации этих планов значительно возрастет количество и тоннажность судов, перемещающихся по внутренним водным путям, что вызовет существенное увеличение нагрузки на них. Это, в свою очередь, может заметно сказаться на экологической ситуации регионов, по которым проходят внутренние водные пути.

### **Влияние транспортных судов внутреннего и внешнего плавания на экологическую ситуацию регионов с водными путями**

Известно, что движение даже одного судна может существенно влиять на окру-

жающую среду. Это связано с наличием выбросов в атмосферу выхлопных газов от работы главных двигателей, дизель-генераторов, котельных установок, а также изменением энергетики акватории при движении крупногабаритного тела, что не может не отражаться на динамике русловых потоков и, следовательно, формировании русла реки или канала. Существенно также влияние тепловых сбросов и гидрошумов от работы движительно-рулевого комплекса и т.п. Естественно, что при увеличении количества и тоннажности судов такие воздействия не могут не вызывать нежелательных антропогенных изменений окружающей среды.

Понятно, что интенсивность таких воздействий, прежде всего, связана с режимами движения судов по внутренним водным путям, с параметрами работы их энергетических установок, с работой судового комплекса «корпус судна – судовые движители – главные двигатели» [1]. Поэтому оптимизация режимов движения судов и параметров их энергетических установок связаны не только с решением проблемы

повышения эффективности работы транспортного флота, экономией топлива, увеличением моторесурса силовых установок, но и с обеспечением экологичности работы флота, снижением его воздействия на окружающую среду [2].

Движение судна по внутренним водным путям происходит в самых разнообразных и постоянно изменяющихся путевых и гидрометеорологических условиях. К ним относятся ширина и извилистость фарватера, течения разных направлений и интенсивности, ограничения по глубине акватории, разнообразные по направлению и силе ветра, различная загрузка самого судна, а также путевые ограничения. Как показывает практика эксплуатации транспортных судов [3], для каждого из сочетаний этих условий характерны свои целесообразные режимы движения судна и, следовательно, параметры работы его энергетической установки. При этом целесообразные режимы работы судового комплекса могут значительно отличаться от номинальных. Одновременно наблюдается значительное снижение нагрузки на судовые двигатели, что приводит к существенной экономии топлива, а также снижению вредных выбросов и сбросов в окружающую среду [4].

#### **Пути повышения экологичности и экономичности транспортных судов**

Постоянное и трудно прогнозируемое изменение условий движения судна сильно затрудняет предварительное назначение оптимальных режимов работы силовых комплексов судов. Естественно, что судоводитель не в состоянии оперативно реагировать на изменение этих условий, так как количество параметров, подлежащих одновременному учёту, достаточно велико. Поэтому реальные режимы движения транспортных судов в настоящее время далеки от оптимальных.

Проблема оптимизации режимов работы главных двигателей транспортных судов внутреннего и смешанного плавания в зависимости от постоянно изменяющихся условий является весьма актуальной и серьёзной. Примечательно, что оптимизация режимов работы судового комплекса связана не только со снижением нагрузок на судовые двигатели, экономией их моторесурса и расхода топлива, но и заметным, целесообразным снижением экологической нагрузки на внутренние водные пути [3].

Известно, что движение судна по речному фарватеру с номинальными скоростями вращения главных двигателей (движителей) вовсе не является экономически наиболее выгодным.

Действительно, при сокращении общего ходового времени в рейсе, повышении производительности работы судна, улучшении использования фонда заработной платы заметно ухудшаются другие эксплуатационные составляющие, такие как расход топлива главным двигателем за рейс, износ механизмов и, в первую очередь, элементов силовой установки, снижается безопасность плавания. Наоборот, если судно движется со слишком малыми скоростями, то ухудшение экономических и эксплуатационных показателей будет наблюдаться за счет увеличения доли заработной платы, ходового времени, снижения объема перевозок. Картина еще более ухудшается, если при работе судна появляются незапланированные простои при ожидании разгрузки, шлюзования и т.п. [4].

С давнего времени предпринимались попытки определения такой оптимальной скорости движения судна в рейсе, при которой эксплуатационные характеристики работы главных двигателей оказались бы экономически наиболее выгодными. При этом к понятию «оптимальная скорость» добавлялись ограничения в виде некоторой «безопасной» скорости, при которой прохождение мелководных участков происходило бы без сильного увеличения волнообразования, заметной просадки кормовой оконечности судна, недопустимой перегрузки главных двигателей, без опасного увеличения вибрации. Эта сложная задача нашла свое разрешение в работах многих специалистов, однако, такие решения оказались лишь приближенными, не учитывающими полную картину эксплуатации судна [5].

Это обусловлено тем, что в каждый момент рейса судно движется в постоянно изменяющихся путевых и гидрометеорологических условиях. К ним, в первую очередь, можно отнести переменную глубину фарватера, извилистость судового хода, ветроволновые условия, ожидание шлюзования и т.д. Эти величины не поддаются точному прогнозированию, могут приниматься лишь как средние за рейс, однако, очень сильно влияют на режимы работы главных двигателей, рулевого комплекса судна, на технико-экономические показатели его работы.

Предпринимались и предпринимаются попытки разделить вероятные основные рейсы судов на отдельные участки, для которых определяют оптимальные скорости и режимы работы силовой установки. Но и эти попытки далеки от совершенства, особенно если принимать во внимание изменение уровня воды в реке на протяжении навигации. Кроме того, такой подход возлагает дополнительную нагрузку на судоводи-

телей и они, естественно, не принимают его в практику судовождения. Поэтому оптимистические результаты испытаний судов при таком подходе искусственны, наблюдаются только при проведении самих испытаний [5]. Кроме того, оптимальные скорости зависят и от технического состояния судна, количества перевозимого груза (посадки судна), характера груза (провозной платы), других условий рейса, например, возможных премий за срочную доставку или, наоборот, штрафов за опоздание и других. Поэтому потребовалась бы огромная работа по составлению объемистых томов по величинам оптимальных скоростей для разнообразных условий, пользоваться которыми было бы крайне затруднительно. А если принять во внимание и разное техническое состояние силовых установок конкретных теплоходов, то такой подход к решению задачи оказывается просто неосуществимым.

Естественно, что управление режимами главных двигателей в целях наиболее выгоднейшей работы судна, экономии топлива и, одновременно, повышению экологичности целесообразно поручить автоматизированному комплексу, который в любой момент времени мог бы достоверно обеспечивать наиболее рациональные режимы движения судна с учетом не только внешних условий, но и его конкретных технических параметров. Таким образом, одной из узловых задач автоматизации и компьютеризации судоходства является задача обеспечения оптимальных, экономически и технически выгодных режимов работы движительно-рулевых комплексов судов, особенно главных двигателей в постоянно меняющихся сложных путевых, гидрометеорологических и экономических условиях их эксплуатации.

Эта задача не может быть возложена только на судоводителей, т.к. постоянная оценка многочисленных изменяющихся факторов, выработка в каждом конкретном случае единственно правильного решения находится за пределами человеческих возможностей. Попытки, хотя бы и не в полной мере, обязать судоводителей отрабатывать оптимальные режимы приведут к усложнению и без того напряженной их работы, увеличат число ошибок, снизят показатели безопасности плавания.

#### **Судовые электронные управляющие комплексы**

Вместе с тем эта задача вполне разрешима на основе современных методов судовождения, базирующихся на достоверной теории работы судового комплекса «корпус судна – средства управления – судовые

главные двигатели» [1]. На этой основе проводилась совместная работа сотрудников Нижегородского государственного технического университета и АО «Волга-флот» по созданию и внедрению судовых электронных управляющих комплексов (СЭУК) по управлению главными двигателями грузовых судов внутреннего плавания типа «Волго-Дон» пр.507Б [4].

Судовой электронный управляющий комплекс (СЭУК) представляет собой систему, состоящую из вычислительного комплекса (ПК) и электронного регулятора оптимальных режимов работы главных двигателей (ЭРД). Электронный регулятор оптимальных режимов работы главных двигателей, или электронный регулятор движения (ЭРД), представляет собой электронно-механическое устройство, которое может осуществлять оптимальное регулирование как автономно, так и совместно с ПК. Он включает в себя электронный блок регулирования, датчики обратной связи и электромеханические исполнительные механизмы [2, 4].

Прежде всего, СЭУК предназначен для расчета на ПК и автоматического поддержания таких режимов работы главных двигателей, при которых затраты за рейс являются минимальными, а прибыль – максимальной. Кроме того, задачей СЭУК является обеспечение минимума расхода топлива в обеспокоенных случаях (прежде всего, при наличии резерва ходового времени).

Одновременно, вычислительно-управляющий комплекс СЭУК имеет и другие дополнительные возможности, такие как расчеты оптимальной погрузки и разгрузки судна, обеспечения заданного времени подхода к шлюзам и портам, расходования топлива, ведение «колпита», бухгалтерский учет и многое другое, что существенно облегчает труд судоводителей и вносит дополнительный вклад в повышение рентабельности работы флота [2]. При дальнейшем внедрении СЭУК на судах внутреннего плавания могут быть достигнуты более лучшие показатели по экономии топлива, снижению эксплуатационных расходов и повышению прибыли, а также налажен автоматизированный учет и контроль расхода топлива главными двигателями и других показателей работы судна и флота в целом.

#### **Результаты натурных испытаний и их обсуждение**

Принципиальная схема и конструкция СЭУК были отработаны по результатам натурных испытаний опытного образца на грузовых судах в реальных условиях эксплуатации [3]. Затем была проведена пробная эксплуатация малой серии (5 единиц)

СЭУКов, показавшая их высокую экономическую эффективность при одновременном снижении экологической нагрузки на водные пути. Так, экономия топлива при прохождении сложных участков пути достигала 23%, а средние показатели по экономии топлива за навигацию не опускались ниже 8% [4].

Необходимо заметить, что судоводители-практики дают хорошие отзывы о работе СЭУК и относятся с большим интересом к его работе. Однако они еще не в полной мере освоились с проведением вычислений на ЭВМ. Кроме того, не были налажены действительная заинтересованность судоводителей в экономии топлива и постоянный независимый контроль использования СЭУК. Поэтому положительные результаты по экономии топлива по итогам навигации, хотя и имеются, но заметно ниже расчетных.

Опыт экспериментальной эксплуатации СЭУК на теплоходах типа «Волго-Дон» [4], несмотря на общее положительное заключение, выявил не только достоинства СЭУК, но и некоторые принципиальные недостатки.

Во-первых, настройка электронного регулятора движения (ЭРД) по расчетным данным, проведенным на ПК, производилась судоводителями вручную. При этом возможно появление неточностей, связанных с различной квалификацией и личными качествами настраивающих. Случаются волевые отклонения от оптимальных режимов, или же настройка ЭРД вообще без предварительного расчета. Поэтому представляется необходимой автоматическая настройка ЭРД непосредственно от ПЭВМ. Существенно, что такая настройка даёт возможность не только избежать ошибок при работе с комплексом, но и позволяет существенно упростить и удешевить его конструкцию, а также расширить функциональные возможности комплекса в целом.

Во-вторых, программа, заложенная в СЭУКе, разработана только для теплоходов типа «Волго-Дон», оборудованных движительно-рулевыми комплексами (ДРК) с поворотными насадками. Для других типов ДРК, а также для силовых установок судов других типов необходима переделка этой программы, т.к. она построена по жесткому принципу. Поэтому внесение изменений, связанных с коренным изменением параметров системы «корпус судна – двигатель – главный двигатель» в действующей конструкции СЭУК хотя и возможно, но затруднительно. Поэтому СЭУКи для судов и движительно-рулевых комплексов разных типов не взаимозаменяемы и при переносе требуют существенной корректировки.

В-третьих, конструкция СЭУК не предусматривает контроль его использования. Это приводит к тому, что судоводители, не заинтересованные напрямую в учете расходования топлива, действуя по разнообразным субъективным соображениям, отключают СЭУК из работы или же эксплуатируют его на режимах, далеких от оптимального. Поэтому необходимо введение не только счетчика моточасов работы СЭУК, но и независимой фиксации времени включения и отключения СЭУК с указанием причин, а также автоматизированное ведение журнала рабочих параметров СЭУК на ПЭВМ.

В-четвертых, в структурной схеме СЭУК содержится информация о мгновенном и суммарном расходе топлива главными двигателями. Однако эта информация участвует в работе СЭУК в неявном виде. Вместе с тем точный учет и контроль расходования топлива – важная эксплуатационная задача, решение которой приведет к резкому снижению эксплуатационных расходов и увеличению прибыли. В действующей конструкции СЭУК извлечение такой информации и представление ее в доступном виде весьма затруднительно. Поэтому существующий СЭУК может быть только дополнен взаимосвязанным с ним, но отдельным устройством – автоматическим расходомером топлива главными двигателями, что заметно увеличит его стоимость.

Стремление устранить эти, а также некоторые другие, не принципиальные, недостатки, удешевить конструкцию без ухудшения ее параметров и надежности, расширить функциональные возможности ставят задачу дальнейшего развития прикладной теории «корпус судна–средства управления–главные двигатели» и создания на этой основе современных и более совершенных автоматизированных комплексов управления режимами работы главных двигателей судов различных типов. Естественно, что такая работа может быть продолжена лишь на основе полученных ранее достижений с учётом большого практического и теоретического опыта специалистов – создателей СЭУК.

#### **Разработка цифрового автоматизированного управляющего комплекса**

Продолжение работы по созданию судовых управляющих комплексов привело к разработке нового цифрового автоматизированного управляющего комплекса, существенно отличающегося от своего прообраза.

Прежде всего, представилось нецелесообразным применение довольно сложного

в изготовлении и наладке электронного блока регулирования, т.к. функции сравнения поступающих от датчиков сигналов и выработки выходных сигналов для управления исполнительными механизмами могут быть поручены непосредственно персональному компьютеру. При этом настройка комплекса вручную вообще исключается. Действия судоводителя сводятся лишь к включению комплекса и вводу начальных условий рейса. Дальнейшая работа с комплексом может проводиться в диалоговом режиме.

Далее, возможности современных ПК, в отличие от ранее примененных в СЭУКе, по быстродействию, объёму оперативной и постоянной памяти позволяют отказаться от использования атласов карт для определения осредненных величин предстоящих путей и гидрометеорологических условий. Расширенные возможности ПК позволяют не только внести данные лоции в память компьютера и определять осреднённые данные предстоящего рейса автоматически, но и оперативно учитывать метеорологические и гидрологические сводки диспетчерского аппарата, причём, в перспективе, с использованием цифровых электронных информационных средств. Кроме того, появляется возможность разбития всего рейса на «минирейсы» с характерными путевыми и гидрометеорологическими условиями (наличие или отсутствие течения, мелководье или глубокая вода, извилистость фарватера, открытая вода или защищённый фарватер, узкости и т.п.). Это, несомненно, значительно повысит точность и достоверность работы комплекса при одновременном упрощении работы с ним.

Вместе с тем важная функция учета расхода топлива также может быть поручена ПК и без установки расходомеров, причём этот учёт может проводиться автоматически с постоянным фиксированием фактического расхода топлива главными двигателями непосредственно в памяти ПК. Помимо того может быть осуществлён точный и постоянный учёт и контроль расхода топлива иными механизмами (дизель-генераторами, вспомогательными котлами и т.п.). Примечательно, что эта информация может быть получена непосредственно судовладельцем независимо от участия капитана – механика судна.

Кроме того, серийный цифровой автоматизированный управляющий комплекс (ЦАУК) может быть выполнен вполне универсальным, допускающим его применение на грузовых судах различных проектов, т.к. это в основном связано с настройкой программного обеспечения комплекса. Одновременно становится возможным постоян-

ный независимый контроль использования ЦАУКов.

Поставленные выше задачи далеко не полностью используют возможности современного персонального компьютера. Располагая такими возможностями, можно значительно расширить сферу деятельности ЦАУКа, поручив ему не только управленческие режимы работы главных двигателей и некоторые хозяйственно-культурные задачи деятельности судовой команды, как это было в существующем СЭУКе, но и задачи технического обеспечения работы судна в целом. Особо полезно в этом случае представляется реализация диагностики исправности судовых механизмов и, прежде всего, механизмов СЭУ, подобно тому, как это реализуется на современных автомобилях.

В настоящее время работы по созданию ЦАУКов находятся на стадии подготовки натуральных испытаний опытного образца. Вместе с тем введенные в ЦАУК принципиальные и конструктивные разработки и предварительные расчеты позволяют надеяться на существенное повышение эффективности работы флота от их внедрения в практику грузовых перевозок.

#### Выводы

Создание судовых управляющих комплексов было направлено, прежде всего, на снижение эксплуатационных затрат на перевозку грузов. При определении принципов работы СЭУК основным являлось достижение максимальной прибыли за рейс и навигацию в целом, за счёт оптимального сочетания производительности судна, платы за перевозку и эксплуатационных затрат. Среди них наиболее важную роль играет сокращение расхода топлива при назначении целесообразных режимов работы ДРК реальных речных грузовых судов, соответственно обеспечивающих такое сочетание. Вместе с тем воздействие движущегося судна на окружающую среду, гидродинамическое воздействие на акваторию, сбросы в гидросферу и выбросы в атмосферу оказываются тем значительнее, чем интенсивнее работают силовые установки отдельных судов и флота в целом. Иными словами, значительная часть топлива, потребляемая главными двигателями, при заниженных КПД работы силовой установки судна идёт на разрушение окружающей среды. Разумеется, такое использование природных ресурсов, в частности углеводородов, весьма нерационально. Примечательно, что снижение расхода топлива на перевозки грузов по внутренним водным путям и соответственно уменьшение воздействия средств флота на окружающую среду путем внедрения на

судах внутреннего и смешанного плавания цифровых автоматизированных управляющих комплексов целесообразно не только экономически, но и экологически.

#### Список литературы

1. Васильев А.В. Управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
2. Васильев С.А., Пачурин Г.В., Васильев М.С. Устройства повышения эффективности и экологичности работы флота // Безопасность и экология технологических процессов и производств: тезисы докл. Всерос. конф. (Ростовская область, п. Персиановский, 23-25 мая 2007 г.). – С. 21–28.
3. Фундаментальные исследования эффективности судового электронного управляющего комплекса / А.В. Васильев, Г.И. Беззубов, А.Б. Ваганов и др. В 3 т. Т.1. – Н. Новгород.: НГТУ, 1994. – 94 с.
4. Фундаментальные исследования эффективности судового электронного управляющего комплекса / А.В. Васильев, Г.И. Беззубов, А.Б. Ваганов и др. В 3 т. Т.3. – Н. Новгород.: Тр. НГТУ, 1995. – 107 с.
5. Экономичные режимы работы судовых энергетических установок / Ю.М. Кулибанов, П.А. Малый, В.В. Сахаров. – М.: Транспорт, 1987. – 205 с.

#### References

1. Vasiliev A.V. controllability of courts. Л: Shipbuilding, 1989. 328 p.

2. Vasilev S.A., Pachurin G.V., Vasilev M.S. Devices of increase of efficiency and ecological compatibility of work of fleet «Safety and ecology of technological processes and manufactures: Theses of reports of the All-Russia conference» (The Rostov region, the item Persianovsky, on May, 23-25rd, 2007). pp. 21–28.

3. Basic researches of efficiency of a ship electronic operating complex. A.V. Vasilev, G.I. Bezzubov, A.B. Vaganov etc. In 3 t. T.1. N. Novgorod.: NGTU, 1994. 94 p.

4. Basic researches of efficiency of a ship electronic operating complex. A.V. Vasilev, G.I. Bezzubov, A.B. Vaganov etc. In 3 t. T.3. N. Novgorod.: Works NGTU, 1995. 107 p.

5. Economic operating modes of ship power installations. J.M. Kulibanov, P.A. Malyj, V.V. Saharov. M: Transport, 1987. 205 p.

#### Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, директор ИПТМ (Институт промышленных технологий машиностроения), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород;

Этин В.Л., д.т.н., профессор кафедры «Теория корабля и экология судоходства» (ТКиЭС), Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ), г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 12.03.2012.