



Об оптимизационном проектировании судов для донного ярусного лова рыбы

Канд. техн. наук В.П. Иванов – Калининградский государственный технический университет

Как известно, донный ярусный промысел привлекателен тем, что при своей экологической чистоте, высокой селективности и низкой энергоемкости обеспечивает поставку рыбы ценных пород из районов со сложным рельефом дна. Рассмотрим вопросы оптимизационного проектирования рыболовных судов для донного ярусного лова.

Оптимизация характеристик рыболовного судна предусматривает предваряющий выбор исходного судна-претендента из числа современных, наиболее эффективных отечественных или зарубежных судов или их проектов. Известны основные технические характеристики этого судна, а также технико-экономические условия (ТЭУ), в которых оно будет эксплуатироваться. Выбрана критериальная функция. Требуется определить основные эксплуатационные характеристики судна, при которых обеспечиваются экстремальное значение критериальной функции, а также качество проектного синтеза для обеспечения наглядного представления судна как объекта проектирования.

Поставленная задача разделяется на две части. Первая связана с разработкой математической модели судна (ММС) как автоматизированного инструмента проектирования. Результатом ее работы является техническое решение, соответствующее принятым значениям эксплуатационных характеристик судна. Вторая часть предполагает поиск оптимального решения, осуществляемый с помощью ММС методами теории оптимизации.

Математическая модель для оптимизационного проектирования рыболовных судов (ДМРС) разработана Калининградским Государственным техническим университетом совместно с ФГУП «Гипрорыбфлот». Изначально она была ориентирована на траловый лов, доминирующий в современном промышленном рыболовстве. В ходе разработки аналогичной модели для донного ярусного лова стала очевидной общность используемой методологии. Современная версия модели ДМРС распространяется и на суда донного ярусного лова.

Для ярусников, так же как и для траулеров, бюджет времени рейса включает переходы из порта приписки в район промысла и обратно, собственно промысел (автономный, экспедиционный или с базированием на близкий к промыслу порт), стоянку в порту для разгрузки и подготовки к очередному рейсу. Предусматривается время на межрейсовое техническое обслуживание и ремонт судна. Время на лову определяется величиной грузоподъемности, среднесуточным выловом судна и степенью обработки улова с учетом производительности технологических линий. Факторами, ограничивающими время на лову, являются автономность судна по запасам топлива, а также сроки хранения рыбной продукции для судов рефрижераторных или с теплыми трюмами. Таким образом, номенклатура составляющих времени рейса ярусника идентична номенклатуре траловых судов.

Особенности ярусных судов, получившие свое отражение в модели, заключаются в следующем. Имеется трюм для наживки. Во входные данные модели внесен его объем Z_{VNAZ} (м³), который может быть задан в 10 % вместимости трюмов для рыбной продукции. Наличие трюма повлекло в модели изменения нагрузки судна, центра его тяжести, вместимости, мощности судовой электростанции, эксплуатационных затрат. Трюм используется для рыбной продукции, увеличивая расчетную грузоподъемность судна (P_{GRR}). Стоимость наживки ($C_{ЕНН}$) также задается во входных данных модели.

Для ярусников характерен низкий расход топлива для главных двигателей (ГД) в режиме промысловых операций. Во входные данные модели введена характеристика $d_{КГД}$, определяющая долю

расхода топлива для ГД в режиме лова по отношению к режиму свободного хода.

Существенное внимание при подготовке входных данных должно быть уделено гидрометеороусловиям промысла. Они учитываются предельной балльностью волнения (G_W) и соответствующей ей повторяемостью волнения (K_{SH}). Величина G_W зависит от размеров судна. Так, для среднетоннажных судов она может быть принята в 5 балл. Попытка уйти от погодной зависимости предприятия при разработке норвежского ярусника «Geir», на котором для выборки яруса предусмотрено отверстие в корпусе (система «moon pool»). Норвежские специалисты утверждают, что эта система способна работать до 6-балльного волнения.

Промысловые возможности ярусника специалисты связывают с использованием современных автоматизированных ярусных систем, их емкостью (количеством крючков) и численностью экипажа. Увеличение водоизмещения судна D_R (до 2000–2500 т) обеспечивает круглосуточную работу с орудиями лова и обработку улова. Дальнейший рост D_R не ведет к росту уловов, ограничиваемых производительностью ярусных систем. Уменьшение водоизмещения сопровождается снижением емкости ярусных систем, ухудшением условий их обслуживания, сокращением численности экипажа и пр., что снижает среднесуточную промысловую производительность судна. Скоростные качества судна и мощность его ГД для режима выборки яруса не существенны. Вместе с тем на промысле, в условиях морского волнения, необходимо обеспечить оперативность переходов судна от одного ярусного порядка к другому, что повышает значимость его скоростных качеств.

С учетом изложенного выше среднесуточный вылов для ярусника определяется по формуле:

$$\overline{P_{ув}} = 10 K_D K_V K_{PRS} K_{SB}$$

где 10 – принятый стандарт среднесуточного вылова для судна без ограничений по водоизмещению и скорости свободного хода, т;

K_D – коэффициент уменьшения уловов с уменьшением размеров судна;

K_V – коэффициент уменьшения уловов с уменьшением скорости судна;

K_{PRS} – коэффициент, учитывающий изменения уловов при качественных изменениях промысловой системы проекта по сравнению с прототипом (определяется экспертизой);

K_{SB} – коэффициент отклонение фактических среднесуточных уловов от принятого стандарта.

Для оценки K_{SB} целесообразно привлекать данные по судам, наиболее полно и эффективно использующим возможности сырьевой базы. Диапазон значений коэффициентов K_D и K_V – от 0 до 1. В дальнейшем зависимость промысловых возможностей ярусника от его эксплуатационных характеристик будет уточнена.

Представленное обеспечение сопоставительной расчетной оценки возможного среднесуточного вылова позволяет осуществлять оптимизационные расчеты технических и эксплуатационных характеристик ярусника. В модели предусмотрена также возможность задавать величину среднесуточного вылова (Z_{PUL}), определенную экспертным методом.

Закон распределения уловов за промысловый цикл ярусного лова, так же как и тралового, принимается экспоненциальным (Раков А.И. Оптимизация основных характеристик и элементов промысловых судов. Л.: Судостроение, 1978, с. 232). Выловленная рыба сразу на-

правляется на обработку. Таким образом, входной процесс в вероятностных расчетах среднесуточной производительности судна при заданной производительности его технологических линий также характеризуется экспоненциальным распределением.

Работа на ярусном промысле имеет практически непрерывную цикличность. Осредненный за промысловый цикл улов, не обработанный за время осредненного промыслового цикла, будет предполагать соответствующее снижение среднесуточной производительности судна по сравнению с его среднесуточными промысловыми возможностями. Полное освоение уловов предполагает соответствующее резервирование производительности технологического оборудования судна. Экономически оправданное резервирование определяется в результате оптимизационных расчетов, при осуществлении которых решается задача взаимодействия добывающего и обрабатывающего комплексов рыболовного судна (Иванов В.П. Методика расчета суточной производительности рыболовного траулера для задач исследовательского проектирования. «Известия КГТУ», 2003, № 3, с. 20–29).

Использование модели позволяет осуществлять широкий диапазон исследований технических, эксплуатационных и нормативных характеристик рыболовных судов, а также организационных решений по вопросам их эксплуатации в рамках предконтрактного оптимизационного проектирования. Обеспечивается оперативная экономическая экспертиза рыболовных судов и их проектов для заданных ТЭУ их эксплуатации. Модель используется и в студенческих проектах КГТУ: в частности, проведены условная экспертиза среднего морозильного ярусника «Капитан Карташов», а также оптимизация его характеристик.

Ярусник был «направлен» для автономного промысла в район, удаленный от порта базирования на 1500 миль. Повторяемость штормов – 20 %. С учетом принятых $K_{SE} = K_{PRS} = 1$ возможный среднесуточный вылов составил 7,2 т. На разделку направлялась половина улова (коэффициент выхода готовой продукции $K_{OBR} = 0,6$). Стоимость 1 т разделанной рыбы принята в 2200 долл. США, неразделанной – 1000 долл. С учетом высокой производительности морозильной и рыбомучной установок ($Q_{MOR} = 23$ т/сут., $Q_{RМУ} = 15$ т/сут.) улов осваивался судном полностью. Годовая производительность судна составила 1,76 млн долл. США, а эксплуатационные затраты – 1,41 млн долл. При стоимости судна около 4 млн долл. эффективности капиталовложений составила 8,9 %, а срок окупаемости судна – 11,2 лет.

Оптимизация характеристик этого судна в тех же ТЭУ эксплуатации показала экономическую целесообразность уменьшения Q_{MOR} с 23 до 10,5 т/сут.; $Q_{RМУ}$ – с 15 до 1,8 т/сут.; вместимости трюмов с рыбной мукой – с 60 до 24 т; мощностей ГД – с 790 до 290 кВт, а вспомогательных дизель-генераторов – с 850 до 443 кВт; полного водоизмещения судна – с 1266 до 1226 т. Соответственно изменились размеры судна, численность экипажа не менялась (28 человек). Среднесуточные промысловые возможности судна снизились с 7,2 до 6,1 т/сут. Среднесуточная производительность судна составила 5,74 т (т.е. осваивалось 94 % возможного вылова). Расчетная грузоподъемность судна (с учетом трюма для наживки) увеличилась с 227 до 465 т; запасы топлива возросли с 215 до 290 т. Время автономного рейса (с учетом долевого расхода топлива на промысле $d_{RTL} = 0,64$) возросло с 56 до 128 сут. Снизились годовая производительность судна (до 1,6 млн долл. США) и эксплуатационные затраты (до 1,1 млн долл.). За счет значительного сокращения комплектующего оборудования судна его стоимость уменьшилась до 2,2 млн долл. В результате эффективность капиталовложений возросла до 22,6 %, а срок окупаемости снизился до 4,4 лет.

Представленные выше цифры иллюстрируют возможности модели и значимость ТЭУ эксплуатации судна при оптимизации его характеристик. Другие исходные данные приведут к другим результатам. Практические тенденции развития ярусных судов представлены в сборнике «Рыбопромысловый флот» (Белкин С.И., Гапанович Ю.В. и др. / Под ред. Романова В.А. СПб.: Гипрорыбфлот, 2002, с. 78–81). Они ориентированы на более высокие среднесуточные выловы, т.е. предполагают значения коэффициента сырьевой базы 2–2,5.

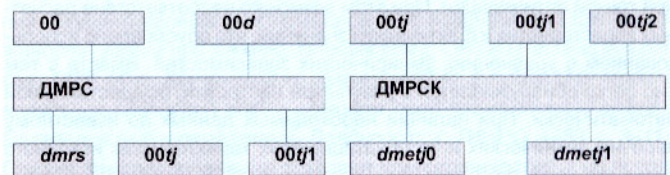
Рыболовное судно, оптимальное для заданных ТЭУ эксплуатации, будет иметь худшие показатели работы при других ТЭУ (например, в другом районе промысла). **Осредненная оценка показателей осуществляется их средневзвешенным значением F:**

$$F = F_1 d_{TEXP1} + F_2 d_{TEXP2}$$

где F_1 и d_{TEXP1} – соответственно показатели работы судна и доли его годового эксплуатационного времени в разных промысловых районах.

Оптимизация характеристик судна, ориентированного на разные районы промысла, может быть осуществлена в ходе раздельной оптимизации по районам с последующим поиском компромиссных решений. Однако проще решить эту задачу, если использовать **новую эксплуатационную модель судна комбинированного лова (ДМРСК)**, предусматривающую долевые режимы эксплуатации судна и расчеты показателей его эффективности. Она предполагает в качестве входных данных использовать те характеристики, которые получены в ходе проектных расчетов на модели ДМРС. Подготовка этих данных осуществляется автоматически программными средствами. Организация работы моделей отражена на схемах.

Схемы организации работы моделей ДМРС и ДМРСК



Входными файлами модели ДМРС являются файлы 00 и 00d. В результате ее работы формируются выходной файл dmrs, а также дополнительно предусмотренные выходные файлы 00tj и 00tj1. Файл 00tj включает в себя технические и эксплуатационные характеристики судна, а 00tj1 – ТЭУ его эксплуатации, которые определяют ТЭУ первого режима эксплуатации модели ДМРСК. При формировании этого файла доля режима d_{TEXP1} по умолчанию принимается равной единице. Соответственно, проверочный запуск модели ДМРСК (без изменения входных данных, сформированных моделью ДМРС) обеспечивает полное соответствие результатов ее расчетов полученным на модели ДМРС.

Входными файлами модели ДМРСК являются файлы 00tj и 00tj1, сформированные моделью ДМРС, а также файл 00tj2. Этот файл формируется в результате копирования файла 00tj1 с последующим занесением входных данных ТЭУ, соответствующих второму режиму эксплуатации судна. Файл 00tj2 остается неизменным до конца расчетов оптимизации судна с двумя режимами его эксплуатации. Перед рабочим запуском программы ДМРСК в файле 00tj1 необходимо откорректировать значение характеристики d_{TEXP1} , заменив единицу, принятую в ДМРС, на задаваемое значение доли первого режима. Доля второго режима определяется автоматически.

Структурная схема модели ДМРСК позволяет для характеристик судна, представленных моделью ДМРС, получить экономические показатели его эксплуатации и за год в целом, и раздельно по его режимам. Спаренная работа двух моделей позволяет осуществлять оптимизацию характеристик судна, ориентированного на два режима его использования. При этом одним из режимов может быть траловый промысел, что предполагает в модели ДМРС соответствующий учет особенностей судна при совмещении тралового и ярусного лова.

Оптимизационные расчеты характеристик траулера-ярусника выполнены как продолжение рассмотренных выше академических расчетов при тех же ТЭУ, но при разном сочетании долей ярусного (я) и тралового (т) лова: 100 % я + 0 % т; 75 % я + 25 % т; 50 % я + 50 % т; 25 % я + 75 % т; 0 % я + 100 % т. Расчеты показали, что с ростом доли тралового лова по параболе возрастают оптимальные значения: водоизмещения судна – с 1226 до 3041 т; мощности ГД – с 287 до 2408 кВт и судовой электростанции – с 443 до 1845 кВт; грузоподъемности судна по рыбе – с 465 до 878 т и рыбной муке – с 24,5 до 45,2 т; производительности морозильной (с 10,5 до 46,8 т/сут.) и рыбомучной (с 1,8 до 8,5 т/сут.) установок; возможного среднесуточного вылова, осваиваемого судном на 82–94 %, – с 6,1 до 38,5 т; годовой производительности судна – с 1,6 до 8,1 млн долл. США, эксплуатационных затрат – с 1,1 до 3,8 млн и его стоимости – с 2,2 до 10,0 млн долл.; эффективности капиталовложений – с 22,6 до 41,1 %. Использование этих судов только на донном ярусном промысле привело бы к росту среднесуточных выловов с 6,1 до 9,8 т и к снижению

эффективности капиталовложений, которая для последнего варианта (0 % я + 100 % т) была бы отрицательной (-1,2 %).

Необходимо отметить, что в рассмотренных примерах оптимизации за исходное принято судно, построенное по правилам норвежского Бюро «Веритас». Оно относится к судам, которые по сравнению с рыболовными судами отечественной постройки имеют меньшие значения относительного водоизмещения порожнем и резерва мощности судовой электростанции (Иванов В.П. *Взаимосвязь эксплуатационных характеристик рыболовного траулера, его размеров и эффективности*: В сб. научных трудов КГТУ «Кораблестроение». Калининград, 1999, с. 4–19) и обладают современным энергетическим, промысловым и технологическим оборудованием. Использование отечественных правил постройки и другого комплектующего оборудования (учет таких изменений также предусмотрен в моделях судов), соответственно, изменит результаты оптимизации.

В связи с приведенными примерами отметим следующее. Модель «настраивается» на конкретное судно, которое является исходной точкой оптимизации. При этом возможно несоответствие расчетных характеристик и фактических значений, что обусловлено использованием в уравнениях эмпирических зависимостей. Вместе с тем оно легко обнаруживается в результате настройки, осуществляемой автоматически. При наличии необходимых данных по известному перечню технических и эксплуатационных характеристик исходного судна это несоответствие легко исправляется. В результате обеспечивается полная идентичность расчетных и фактических технических характеристик исходного судна.

Аналогичен подход и к эксплуатационным и экономическим характеристикам и показателям работы исходного судна. Отсутствие таких данных по исходному судну, естественно, вносит неопределенность, которая может быть уменьшена за счет привлечения данных по другим судам. Полная неопределенность исходной информации исключает проектирование. В этом случае определяются другие задачи: конкретизация цели проектирования, поиск путей ее осуществления. Развитие концепции потребует использования логических схем и аналогий (прототипов), а также методологической базы оптимизационного проектирования.

Состав уравнений проектирования, используемых в моделях, и их содержание известны и обеспечивают адекватность изменений

элементов проектируемого судна тем изменениям, которые вносятся в эксплуатационные характеристики исходного судна и ТЭУ его эксплуатации.

Относительная простота моделей и доступность освоения этого инструмента инженерного поиска лучших технических и организационных решений определяют их необходимость не только для проектировщиков. В условиях цивилизованной экономики эксплуатационники должны пользоваться не только «эвристическими» методами. Назрела необходимость в расчетных методах технико-экономического анализа, направленного на разработку стратегии и тактики рыбопромышленных компаний по вопросам расстановки и пополнения их флота, экспертизы судов и их модернизации. Рассматриваемые модели позволяют это осуществлять.

Высказанные замечания относятся и к ярусным судам, и в целом к отечественной рыбохозяйственной деятельности как составной части «Морской доктрины». Представляется, что ее эффективные результаты начнут проявляться тогда, когда будут конкретизированы и приняты к реализации практические цели, вытекающие из осознания следующих важнейших положений:

- 1) стратегической значимости того обстоятельства, что 90 % животного белка планеты находится в океане. Это прекрасно понимали предыдущие поколения наших соотечественников, прорубавших окна в океан;
- 2) отсутствия альтернативы развитию рационального рыбохозяйствования, обеспечивающего продовольственную безопасность страны, высокопрофессиональную занятость людей и многое другое;
- 3) того, что современный рыболовный флот является главным звеном эффективного рыбохозяйствования. Одновременно это интегральный показатель уровня промышленного развития, науки, образования и благосостояния целого ряда регионов страны;
- 4) накопленного мирового опыта решения проблем судостроения (см.: *Логачев С.И., Чугунов В.В. Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития*. СПб.: Судостроение, 2001, 312 с.) и теснейшей взаимосвязи, с одной стороны, государственных концепций политического, организационного и законодательного характера для обеспечения отечественного рыбохозяйствования и промыслового судостроения, а с другой – проектных концепций и экономической эффективности рыболовных судов.

