



На правах рукописи

Рязанова Татьяна Валерьевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАУЛЕРОВ НА ОСНОВЕ
ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ИХ ТЯГ**

05.18.17 Промышленное рыболовство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

- 1 ДЕК 2011

Калининград – 2011

Работа выполнена в Керченском государственном морском технологическом университете (КГМТУ)(Украина) и в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Калининградском государственном техническом университете» (ФГБОУ ВПО КГТУ)(Россия).

Научный руководитель:
заслуженный работник рыбного хозяйства России,
кандидат технических наук, доцент Долин Геннадий Макарович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Минько Виктор Михайлович
кандидат технических наук, доцент Данилов Юрий Аронович

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП АтлантНИРО)

Защита состоится « 20 » декабря 2011 г. в 13.00 ч на заседании диссертационного совета Д 307.007.01 при Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет» по адресу: 236022 г. Калининград, Советский проспект, 1, аудитория 255.


Факс: 8 (4012) 91-68-46

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»

Автореферат разослан « 18 » ноября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

 Н.И. Великанов

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации определяется практической потребностью проектировщиков и эксплуатационников в рекомендациях по методам проектирования, подбора, замены или модернизации тралов в условиях снижения тяги судна в течение рейса, эксплуатационно-ремонтного цикла (ЭРЦ) или всего срока службы траулера.

Обычно тралы проектируют, строят и снабжают ими суда исходя из тяги новых судов, но они в период эксплуатации динамично меняют свои тяговые характеристики. Практика показала, что пределы изменения тяги очень широки – до 50% от начального значения. Не учет этого явления приводит к необходимости форсированной эксплуатации судов, что сопровождается повышенным темпом износа главных двигателей, их авариями и потерями промыслового времени.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности промысловой эксплуатации траулеров на основе оперативной оценки фактической тяги судна и гидродинамического сопротивления трала.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить анализ научных исследований по влиянию эксплуатационных факторов на техническое состояние пропульсивных комплексов траулеров;
- выполнить сбор статистических данных о тяговых характеристиках траулеров;
- разработать метод определения в судовых условиях фактической тяги траулера;
- разработать метод определения степени загрузки главного двигателя траулера;
- разработать метод оперативной оценки эксплуатационно-технических характеристик тралов в условиях промысла;
- выполнить натурные эксперименты с тралами судов пр. 1330 типа «Керчанин»;

- разработать рекомендации для проектировщиков и эксплуатационников по методам подбора тралов для траулеров с учётом их фактической тяги.

Положения, выносимые на защиту:

- метод определения в судовых условиях фактической тяги траулера;
- математические модели зависимости гидродинамического сопротивления тралов от факторов влияния (паспорта тралов);
- рекомендации по оценке соответствия фактической тяги траулера и гидродинамического сопротивления трала.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке методологии технической эксплуатации системы судно-трал на основе оперативной оценки фактической тяги судна и гидродинамического сопротивления трала. Впервые получены цифровые данные о величинах тяг судов во время их эксплуатации, темпы износа тяг во время рейсов. Впервые введено понятие о промысловой годности траулера по тяге. Впервые предложен метод прогнозирования тяги судна на любой период времени в рейсе, что позволит более обоснованно подбирать тралы на рейс и брать запасные части к ним для целей их модернизации в рейсе.

Практическое значение заключается в возможности повышении эффективности промысловой эксплуатации системы судно-трал на основе оперативной оценки тяговых характеристик траулера и гидродинамического сопротивления трала. Положительный эффект может заключаться в возможностях: снижения износа главного двигателя и сокращения расходов на его текущий и аварийный ремонт; увеличения вылова рыбы за счёт сокращения аварийных потерь промыслового времени; увеличения вылова рыбы за счёт подбора трала с эффективными параметрами.

Личный вклад диссертанта состоит: в сборе и обработке статистических данных о тягово-скоростных характеристиках траулеров; в постановке натурного эксперимента с тралами на судах проекта 1330 типа «Керчанин»; в обработке статистических и опытных данных по техническим характеристикам тралов; в разработке рекомендаций для промышленности.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на 10-ти научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Керченского государственного морского технологического университета (Керчь, 1998-2009 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, все в изданиях, рекомендованных ВАК (7 – ВАК Украины и 2 - ВАК Минобрнауки России).

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и 6 приложений. Включает 170 страниц машинописного текста, 62 таблицы, 15 рисунков. Список литературы содержит 49 источников, из которых 4 иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи диссертации, оценена ее научная новизна, теоретическая и практическая ценность, реализация работы, область применения, приведены объём и структура работы.

В первой главе проведен анализ литературы по трем главным направлениям: во-первых, по методам расчетов тяговых характеристик судов; во-вторых, по методам определения относительной мощности, развиваемой ГД; в-третьих, по проблеме идентификации технических характеристик тралов. По первому направлению мы ограничили свои исследования литературных источников публикациями только по рыболовным судам, учитывая их ярко выраженные особенности. В этом направлении мы исследовали работы: В.Д. Кулагина (1982), Б.И. Германа (1982), Ю.Л. Макова (1982), Ф.М. Кацмана (1972, 1987), А.Ф. Пустошного (1972), В.М. Штумпфа (1972), Л.М. Ногида (1976), В.Г. Сизова (1969), Б.С. Гуральника (1979), В.А. Ерошина (1975, 1977), Ю.М. Короля (2004), С.О. Дудченко (2004). Было выяснено, что при установившемся движении располагаемая тяга судна равна:

$$P_p = P_E - R_K, \quad (1)$$

где P_p – располагаемая тяга, кН,

P_E – упор винта, кН,

R_K – сопротивление корпуса судна, кН.

При внешней простоте зависимости (1) расчет по ней труден. Все входящие в нее факторы являются сложными функциями. Так упор винта является функцией от плотности воды, гидродинамического коэффициента винта K_1 , частоты вращения винта, диаметра винта. В свою очередь, плотность воды есть функция от температуры и солености, а K_1 является сложной функцией от относительной поступи винта, коэффициентов попутного потока и засасывания. Сложность расчетов увеличивается еще и оттого, что одни расчеты соответствуют чистому изолированному винту, а за ними следуют расчеты винта с учетом растущей эксплуатационной шероховатости, с учетом потерь в гребном вале, помещение винта в кормовой подзор и, может быть, в поворотную насадку.

Не менее сложным является расчет сопротивления корпуса судна, которое по своей природе делится на три составляющих: вязкого трения, формы и волновое. Тут тоже имеются расчеты чистого корпуса и корпуса с учетом обрастания. Имеются методики по всем этапам расчетов, о которых говорилось здесь. Воспользоваться этими методиками экипажам судов затруднительно, т.к. многие входящие в них факторы для экипажей не доступны. В качестве примера можно привести работу Ф.М. Кацмана (1987) по влиянию эксплуатационного обрастания на пропульсивный комплекс судна. Он предлагает в качестве обобщенного критерия влияния обрастания принять коэффициент «С» в уравнении динамической связи между ГД и гребным винтом. Для его расчета надо знать $\Delta\xi$ – надбавку на сопротивление корпуса от обрастания - величину, которая для судовых специалистов не известна. Кроме того, анализ литературных источников показал, что некоторые важные коэффициенты, например, ω – коэффициент попутного потока и t – коэффициент засасывания, определенные по разным действующим методикам, дают результаты, которые сильно отличаются. Для примера отметим, что сравнение результатов расчетов ω и t по методикам Папмеля, Тейлора, Хекшера, Ерошина с модельными опытами дает расхождение до 54%.

По второму направлению проанализировали работы В.В. Щагина(1978), Г.Ф. Левшина(1975), Л.Н. Васильчука(1975), В.Г. Кузькина(1984), В.С. Богомолова(1996) и ГОСТ 10150 «Дизеля стационарные судовые и тепловозные. Технические требования». Было выяснено, что прямых методов определения мощности, развиваемой ГД нет, а есть методы расчетов по косвенным характеристикам. В работе Левшина Г.Ф. приводится очень важная информация об информационной значимости косвенных характеристик. В работе В.Г. Кузькина имеется методика расчета относительной мощности ГД по косвенным характеристикам, характеризующим процесс сгорания топлива в цилиндрах. Проверка методики показала, что она с абсолютной точностью совпадает с результатами опытов, но только на 100% -ном режиме нагружения машины. На долевых нагрузках ошибки возрастают тем больше, чем дальше от 100% отходит нагрузка. Следовательно, на долевых нагрузках ГД надежных методик нет.

По третьему направлению (методика идентификации ЭТХ тралов) мы проанализировали работы В.К. Короткова(1998), А.Л. Обвинцева(1987), Г.М. Долина(1981), Г.Д. Силукова(1984), Н.И. Заикина(1984), В.А. Яшина(1984), Э.Л. Карпенко(1986), А.Н. Литвина(1986), Н.М. Кудрявцева(1985), Ю.И. Бондаренко(1985), П.С. Гюльбадамова(1986), К.Л. Павлова(1986). Анализ работ перечисленных авторов помог составить полную номенклатуру эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) тралов и придти к выводу, что попытка расширить число факторов, приводит к тупику. Рост числа факторов прямо ведет к увеличению объёма экспериментальных работ. Так при подходе А.Л. Обвинцева к проблеме паспортизации тралов необходимо учитывать 16 факторов. В этом случае для проведения одноразовых опытов методом планирования экспериментов по простейшему линейному плану ПФЭ типа 2^K требуется 65536 опытов, что совершенно не реально.

Проведенный анализ литературы позволил сформулировать задачи собственных исследований.

Во второй главе приведены результаты исследований тяговых характеристик новых траулера. С метрологической точки зрения для того, что бы оп-

ределять такую сложную характеристику, какой является фактическая тяга, нужен не менее сложный эталон тяги. Таким эталоном может быть только тяга новых судов, получаемая частично расчетом и частично опытным путем во время ходовых испытаний при сдаче новых судов. При выводе формул тяг новых судов мы учитывали и тот факт, что тяга траулера равна нулю при какой-то существенной мощности, потребной для вращения коленвала ГД, гребного вала и винта при нулевом упоре. Эту величину мощности рассчитывают с помощью выражения

$$Ne_{\phi=0} = (2\pi\rho K_2 n_c^3 D^5) \cdot 10^{-3} + (1 - \eta_{вп}) Ne_{ГДН}. \quad (2)$$

Расчеты по зависимости (2) по типам судов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Расчет мощности ГД судов при нулевом упоре винта

Тип судна	K_2	Частота вращения винта n_c об/с	Диаметр винта D , м	Потери в гребном вале, кВт	Потери в редукторе кВт	Мощность ГД при нулевом упоре винта $Ne_{\phi=0}$, кВт
Атлантик	0,005	2,9167	3,4	51,2	100	519,4
Орленок	0,007	3,3833	2,9	52,9	100	516,1
Прометей	0,007	3,567	2,9	85,6	0	511,2
Пр.1288	0,005	2,43	3,7	154	100	580
Моонзунд	0,007	2,55	4,0	159	200	1135

Математическая модель тяги новых судов типа «Атлантик» имеет вид

$$Pp = 0,4194Ne - 1,0747 \cdot 10^{-4} Ne^2 - 5,846V - 0,794V^2 - 180,2. \quad (3)$$

Зависимость (3) описывает опытные данные с точностью $\sigma = \pm 5,9\%$ $\epsilon = \pm 3,7\%$. Можно считать это вполне приемлемой точностью, т.к. она сравнима с точностью прибора для прямого измерения этой величины. Зависимость (3) получена для следующих условий: водоизмещение 2212 т, ветер – 3 балла, море – 2 балла, груза и снабжения нет, экипаж сокращенный и без багажа, т.е. таким судно может быть только один раз – на ходовых сдаточных испытаниях. В процессе эксплуатации все характеристики будут другими, но в этом и состоит роль эталона. Сравнивая тягово-скоростные характеристики судна с ним, узнаем о потерянной тяге.

По аналогии была получена зависимость тяги новых судов типа «Прометей», приведенных к одному водоизмещению (минимальному), которое составило 3200 т:

$$P_p = 0,3369Ne - 4,5 \cdot 10^{-5} Ne^2 - 20,75V - 0,41V^2 - 157,4 . \quad (4)$$

Точность зависимости (4) характеризуется следующими данными: $\sigma(P_p) = \pm 4,8 \text{ кН}$; при числе опытных данных 29 и доверительной вероятности $p = 0,9$ коэффициент распределения Стьюдента $t_\alpha = 1,7$; $\epsilon(P_p) = \pm 2,1\%$, что является достаточной точностью.

Тяга новых судов типа «Орленок» может быть рассчитана по зависимости (5):

$$P_p = 0,462Ne - 1,223 \cdot 10^{-4} Ne^2 - 5,2634V - 0,891V^2 - 194,7 . \quad (5)$$

Достоверность зависимости (5) так же характеризуется $\epsilon(P_p) = \pm 4,4\%$ при $p = 0,9$.

Тяга новых судов пр. 1288 может быть рассчитана по зависимости

$$P_p = 0,2616Ne - 2,525 \cdot 10^{-5} Ne^2 - 18,05V - 0,6366V^2 - 142,7 . \quad (6)$$

Тяга новых судов пр. А-488 типа «Моонзунд»

$$P_p = 0,483Ne - 5,1 \cdot 10^{-5} Ne^2 - 14,76V - 1,7759V^2 - 481,7 . \quad (7)$$

Тяга нового судна пр. 1330 типа «Керчанин»

$$P_p = 0,677\bar{N}e - 2,575 \cdot 10^{-3} \bar{N}e^2 - 0,3V - 0,324V^2 - 10,4 , \quad (8)$$

где $\bar{N}e$ – относительная мощность ГД, %.

В зависимостях (3)-(8) P_p в кН, V – в узлах, в зависимостях (3)-(7) Ne в кВт.

Ne – это мощность, пошедшая на винт. Она рассчитывается по зависимостям (9) и (10)

$$Ne_{ГД} = \frac{\overline{Ne_{ГД}}}{100\%} Ne_{ГДн} , \quad (9)$$

$$Ne = Ne_{ГД} - \frac{N_{ВГ}}{\eta_{ВГ}} , \quad (10)$$

где $Ne_{ГДн}$ – номинальная мощность ГД, кВт,

$N_{ВГ}$ – мощность, отбираемая валогенератором, кВА,

$\eta_{вг}$ – кпд валогенератора.

Основные выводы по второй главе: впервые получены высокоточные модели тяг 6-ти типов судов, находящихся в новом состоянии; по этим эталонным моделям можно путем сравнения получать величины фактических тяг судов, находящихся в эксплуатации.

В третьей главе приведены результаты разработки методики определения степени загрузки ГД. Необходимость в этом объясняется тем, что для точного знания тяги судна надо точно знать мощность, развиваемую ГД. Имеющиеся в настоящее время судовые приборы для определения относительной мощности ГД не отвечают требованиям к точности. Рассмотренные в первой главе методы расчета мощности ГД по косвенным характеристикам так же не подходят по точности на долевых режимах нагружения ГД. В связи с этим потребовалось разрабатывать математические модели, связывающие относительную мощность ГД с косвенными параметрами. Источниками послужили судовые документы о ходовых испытаниях новых судов. Качество собранного материала будем характеризовать по типам судов, т.к. оно разное. Так по судам пр. А-488 типа «Моонзунд», где в качестве ГД установлены по два дизеля 6VDS 48/42 AL-2, была собрана информация о 16-ти дизелях. В этом случае объём выборки составляет: 1728 измерений для таких косвенных характеристик, как температура выхлопных газов и максимальное давление в цилиндрах и 288 измерений таких косвенных характеристик, как давление наддува избыточное и часовой расход топлива. Обработка статистики дала зависимости:

$$\bar{N}_e = 0,09214t_r + 0,4818P_H - 14,54, \quad (11)$$

$$\bar{N}_e = 0,0788t_r + 0,4571P_H + 0,7304P_z - 13,52, \quad (12)$$

$$\bar{N}_e = 0,1905t_r + 0,1365P_H + 2,9165P_z + 0,0515G - 60,34. \quad (13)$$

Зависимость (11) имеет достоверность $\sigma(\bar{N}_e) = \pm 5,3\%$ при $r=0,9$, причем ошибка воспроизведения составляет лишь $0,35\%$, а остальные $4,94\%$ - из-за разброса параметров в статистике, коэффициент информативности этой зависимости (по Левшину) $K_{и}=2,3$ – это достаточно высокий коэффициент. Зависимость (12) имеет достоверность $\sigma(\bar{N}_e) = \pm 4,98\%$ при $r=0,9$, коэффициент инфор-

мативности равен 3,7. Зависимость (13) имеет достоверность $\sigma(\bar{N}e) = \pm 1,5\%$ при $p=0,9$, $K_H=5,18$. Таким образом, зависимость (11) можно рекомендовать для повседневной практики ориентировочной оценки нагружения машины, зависимость (13) для целей точных работ, связанных с определением тяги судна.

На судах типа «Прометей» в качестве ГД используется дизель 8ZD 72/48 AL-1. Была собрана статистика по 11 двигателям, что дало объём выборки 1584 данных по температуре выхлопных газов и максимальному давлению в цилиндрах и 198 измерений по давлению наддува и часовому расходу топлива. Получены зависимости:

$$\bar{N}e = 0,1943t_r + 59,66P_H - 26,05, \quad (14)$$

$$\bar{N}e = 0,1427t_r + 35,32P_H + 0,824P_Z - 50,75, \quad (15)$$

$$\bar{N}e = 0,107t_r + 26,49P_H + 0,618P_Z + 0,043G - 39,0. \quad (16)$$

Зависимость (14) имеет достоверность $\sigma(\bar{N}e) = \pm 7,2\%$ при $p=0,9$; зависимость (15) - $\sigma(\bar{N}e) = \pm 3,9\%$ при $p=0,9$, а зависимость (16) $\sigma(\bar{N}e) = \pm 2,9\%$ при $p=0,9$.

На судах типа «Атлантик» в качестве ГД устанавливали пару дизелей 8NVD 48 A – 2U. Была собрана статистика по 20-ти этим двигателям. Получены зависимости:

$$\bar{N}e = 0,1841t_r + 145,18P_H - 18,26, \quad (17)$$

$$\bar{N}e = 0,1227t_r + 96,79P_H + 0,189G - 13,6. \quad (18)$$

Достоверность зависимостей (17),(18) составила соответственно 10,2% и 7,4% при $p=0,9$. Более низкая точность этих зависимостей объясняется тем, что при ходовых испытаниях дизелей данного типа не измерялось давление P_Z на долевых режимах, а расход топлива на долевых режимах измерялся лишь на 10% судов.

На судах пр. 1288 типа «Пулковский меридиан» и пр. 16080 типа «Антарктида» в качестве ГД установлена пара дизелей 6 ЧН 40/46. Удалось собрать статистику по 6-ти дизелям. Получены зависимости:

$$\bar{N}e = 0,323t_r + 22,27P_H - 72,75, \quad (19)$$

$$\bar{N}_e = 0,215t_r + 14,85P_H + 0,372P_Z - 60,47, \quad (20)$$

$$\bar{N}_e = 0,16t_r + 11,14P_H + 0,28P_Z + 0,047G - 45,76. \quad (21)$$

Достоверность зависимостей (19)-(21) составляет соответственно 14,5%, 9,1% и 6,6% при $p=0,9$.

На судах пр. А-333 типа «Орлёнок» в качестве ГД устанавливали пару дизелей 8VD 26/20 AL-2. Удалось собрать информацию о 14-ти двигателях, и была получена зависимость:

$$\bar{N}_e = 0,2486t_r + 10,36P_H^2 + 4,8P_H - 49,46. \quad (22)$$

Достоверность зависимости (22) 10,9% при $p=0,9$. Невысокая точность объясняется тем, что на долевых режимах во время ходовых испытаний не измерялись P_Z и G . В зависимостях (11)-(22) \bar{N}_e – в процентах, t_r – в градусах стоградусной шкалы, P_H – в кГ/см^2 для всех случаев, кроме судов пр. А-488, у которых этот параметр в кПа , P_Z – в кГ/см^2 во всех случаях, кроме судов пр. А-488, у которых этот параметр в МПа и G – в кг/ч .

Разные единицы измерения обусловлены приборами, которые установлены на судах, названных типов.

Таким образом, нами получены численные модели, позволяющие определять эффективную относительную мощность судовых дизелей нескольких типов судов по косвенным характеристикам.

В четвертой главе приведены результаты исследований фактических тяг траулеров.

В процессе эксплуатации судна его тяга не остаётся постоянной. В период, который называется эксплуатационно-ремонтным циклом (ЭРЦ), его тяга постоянно снижается. Причин для этого много, назовём лишь основные: обростание корпуса судна и его винта, изменение посадки и осадки судна в зависимости от загрузки, уменьшение мощности ГД за счет износа цилиндропоршневой группы (ЦПГ), топливной аппаратуры (насосов высокого давления и форсунок) нарушения регулировок ГД, влияния ветра и волнения. По этим причинам в текущий момент времени тяга судна равна не тяге нового судна, а какой-то другой величине, которую можно выразить:

$$P_{P\phi} = P_{P_H} - \Delta P_P. \quad (23)$$

В зависимости (23) ΔP_P – это величина потери тяги в текущий момент времени. Потеря тяги в данном случае рассматривается как комплексное явление, обусловленное действием всех перечисленных причин. В связи с этим комплексную величину потери тяги можно разделить на потерю из-за износа машинно-двигательного комплекса (МДК) и корпуса (К).

$$\Delta P_P = \Delta P_{P_{МДК}} + \Delta P_{P_K}. \quad (24)$$

В диссертации разработана методика определения входящих в (24) составляющих. Эта методика предусматривает проведение ходовых испытаний судов силами экипажей в два этапа. На первом этапе судно испытывается на прямом курсе в режиме «Полный вперёд». Этот режим не отрывает судно от выполнения его производственной программы, на таком режиме любое судно в рейсе движется по многу часов в сутки. Во время проведения опыта нужно соблюсти следующее условие: от последнего маневра машиной или рулём должно пройти не менее 30 минут, чтобы судно устойчиво пришло в новое положение равновесия. Во время опыта измеряются параметры: V – скорость судна относительно воды в узлах, $N_{вг}$ – мощность, отбираемую валогенераторами в кВА и относительную мощность, развиваемую ГД в %. Обработка результатов опыта сводится к следующему: по относительной мощности ГД определяется размерная мощность; по этой размерной мощности и по мощности, отбираемой валогенераторами, определяют мощность, пошедшую на винт; по величине мощности, пошедшей на винт и скорости с помощью уравнений тяг по типам судов, определяют величину потери тяги судна на свободном ходу.

Затем проводятся испытания судна по второму этапу. Этот этап состоит в том, что судно испытывают в дрейфе без хода с ГД, работающим на винт при нулевом упоре. Этот режим не вызывает затруднений у экипажа судна, поскольку он характерен для промысла в самом конце траления, после подъёма мешка с уловом на палубу. При проведении этого опыта так же необходимо соблюсти условие - должно пройти не менее 20 мин после перевода винта на нулевой упор. Затем измеряют относительную мощность, развиваемую ГД (по

зависимостям Главы 3 по типам ГД) и мощность, отбираемую валогенераторами. После обработки результатов опыта получают мощность, пошедшую на винт при нулевом упоре. Эту мощность подставляют в уравнение тяги и получают потерю тяги из-за износа МДК. В Главе 4 выдвинута гипотеза о линейном законе изменения потери тяги от скорости, а так же проверена адекватность этой гипотезы по опытным данным. Проверка показала, что с приемлемой для практики точностью линейным законом пользоваться можно. Тогда зависимость потери тяги будет иметь вид:

$$\Delta P_p = \Delta P_{p_{мдк}} + \frac{(\Delta P_{p_{сх}} - \Delta P_{p_{мдк}})}{V_{сх}} V. \quad (25)$$

По зависимости (23) с использованием зависимости (25) рассчитывается фактическая тяга траулера.

Нами была собрана статистика по фактическим тягам судов разных типов и находившихся в эксплуатации разное время. Для однородности исходного статистического материала данные по судам выбирались при близких значениях степени загрузки машины ($\bar{N} \approx 95\%$) и скорости траления ($V \approx 5$ узлов). Такая работа была проведена для судов типов: «Атлантик», «Прометей» и «Моонзунд». В статистику судов типа «Прометей» были включены 26 судов, «Моонзунд» - 3 судна и «Атлантик» - 7 судов. По судам типа «Прометей» получились статистические характеристики: математическое ожидание фактической тяги $M(P_{pф})=238,4$ кН, $\sigma(P_{pф})=\pm 32,4$ кН, $\varepsilon(P_{pф})=\pm 13,6\%$. По судам типа «Моонзунд»: $M(P_{pф})=410$ кН, $\sigma(P_{pф})=\pm 82,5$ кН, $\varepsilon(P_{pф})=\pm 20\%$. По судам типа «Атлантик» $M(P_{pф})=140$ кН, $\sigma(P_{pф})=\pm 10,8$ кН, $\varepsilon(P_{pф})=\pm 7,7\%$.

При расчетах фактических тяг по судам «Прометей» и «Атлантик» принималось $N_{вг}=0$, а для судов типа «Моонзунд» средняя статистическая величина $N_{вг}=1032$ кВА и в этом случае мощность, пошедшая на винт составляла $N_e=3678$ кВт. Для анализа технического состояния флота нами была внедрена в технический оборот расчетная величина промысловой годности судна по тяге (ПГСт). Эта величина рассчитывается по формуле

$$ПГС_r = \frac{P_{рф} - P_{рл}}{P_{рн} - P_{рл}} \cdot 100\% . \quad (26)$$

В зависимости (26) $P_{рл}$ – это декретированная тяга, т.е. такое минимальное значение тяги, при достижении которой судно направляется на ремонт. Этот уровень тяги должен назначаться приказом по типам судов. Величина декретированной тяги зависит от принятой системы технической эксплуатации флота, имеющегося объёма судоремонта и экономических соображений. Таких приказов по базам флота не было, суда направлялись на ремонт по другим соображениям, но анализ тяг судов, направляющихся на ремонт, у нас есть, как и статистические значения этих минимальных тяг. По типам судов это составило: «Прометей» $P_{рл} = 180$ кН, «Атлантик» $P_{рл} = 90$ кН, «Моонзунд» $P_{рл} = 200$ кН. Введение понятия о ПГСт позволило посмотреть на наличный флот с другой точки зрения. Так математическое ожидание ПГСт по судам типа «Прометей» составило $M(ПГСт) = 50\% \pm 27,7\%$, по судам типа «Моонзунд» $M(ПГСт) = 73,3\% \pm 28,8\%$, а по судам типа «Атлантик» $M(ПГСт) = 64,1\% \pm 13,8\%$.

Введение понятия о ПГСт позволило проанализировать темпы потери этой характеристики во время промысловых рейсов. Так было обработано 22 рейса 5-ти судов типа «Прометей». Были получены: средняя суточная потеря ПГСт, которая составила $0,221\% \pm 0,055$; среднее значение ПГСт в начале рейсов составило $81,2\% \pm 15,1\%$, а средняя величина в конце рейсов $47,15\% \pm 15,1\%$. На величину потери ПГСт в сутки влияет метод эксплуатации судна экипажем. Так были зафиксированы минимальные значения этого параметра $0,121\%$ в сутки, что соответствует «осторожной» манере нагружения судна, и максимальные $0,289\%$ в сутки, что, на наш взгляд, соответствует манере «план любой ценой». Все материалы получены путем обработки судовых журналов из архивов баз флотов. При обработке мы устраивали параллельные проверки для исключения ложной информации.

В итоге исследований нами разработан метод определения в судовых условиях фактической тяги траулера и предложено ввести понятие о расчетной величине промысловой годности судна по тяге (ПГСт).

В пятой главе приведены результаты разработки методики идентификации эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) тралов. В своем подходе к этому мы стремились к максимальному сокращению перечня факторов и функций отклика для того, чтобы работа по паспортизации тралов обрела реальность. В настоящее время ни один судовладелец не пойдет на большие расходы в силу своей ограниченной финансовой «мощности». Исходя из этого, в качестве факторов выбрали такие характеристики тралов, которые действительно варьируются в рейсе и, даже, в течение суток. К факторам отнесли: L – длину вытравленных ваеров, V – скорость траления, M – массу грузов углубителей на одно крыло и l_k – длину кабелей и голых концов. В качестве функций отклика: R – агрегатное сопротивление трала, H – горизонт хода трала, h – вертикальное раскрытие трала и l_T – расстояние между досками. Работы по получению технических паспортов тралов выполняли, опираясь, более всего, на работы Г.М. Долина. Как и у него, технический паспорт трала – это система линейных уравнений, коэффициенты к которым получают методом планирования экспериментов. В качестве плана выбрали простейший – полно факторный эксперимент ПФЭ типа 2^K , где K – число факторов. Следовательно, для получения системы линейных уравнений необходимо выполнить 16 опытов (без повторения). При проведении указанной работы руководствовались соображениями: в действительности связи функций отклика и факторов (например, $R=f(V)$) не линейны, но известно, что в некотором диапазоне варьирования фактора нелинейную зависимость можно аппроксимировать линейной с какой-то, наперед заданной точностью. Эту точность задаем, исходя из технических соображений, и, если точность (адекватность) линейной модели окажется неприемлемой, то в этом случае следует просто уменьшить диапазон варьирования фактора до нужных размеров.

Мы взяли на себя лишь часть работы: провели опыты на натуре с судов типа «Керчанин», вооруженных тралами для лова шпрота в Черном море, а для получения технических паспортов тралов для лова в океане использовали публикации в отраслевой литературе и в руководящих документах (РД), которые

выпускались МариНПО. Методика идентификации ЭТХ тралов для судовых экипажей подробно описана в диссертации. Для лова шпрота в Черном море с судов типа СЧС-225 применяется трал 30,8/125 и его модификации. Перед проведением опытов необходимо описать факторы. В Черноморском эксперименте число факторов сократилось на один, т.к. при специфическом лове шпрота (траления только днем) не варьируется длина кабелей и голых концов. Описание факторов приведено в таблице 2.

Таблица 2 - Описание факторов

Факторы	Значения			
	Минимальное	Максимальное	Основной уровень	Интервал варьирования
X ₁ -длина вагров, м.	25	300	162,5	137,5
X ₂ -скорость траления, узлы	2,9	3,6	3,25	0,35
X ₃ -масса грузов, кг	40	75	57,5	17,5

По методике планирования экспериментов были рассчитаны значения основного уровня, интервала варьирования каждого фактора, а также значения факторов в безразмерном виде по формулам:

$$X_{i0} = \frac{(X_{i\max} + X_{i\min})}{2}, \quad (27)$$

$$i_i = \frac{(X_{i\max} - X_{i\min})}{2}, \quad (28)$$

$$\bar{X}_i = \frac{(X_i - X_{i0})}{i_i}. \quad (29)$$

В безразмерном виде все минимальные значения факторов превращаются в (-1), а максимальные в (+1). План опытов (матрица) приведен в таблице 3.

Таблица 3 - План и результаты испытания трала 30,8/125

№ _о	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	R	H	h	l _т	№ _о	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	R	H	h	l _т
1	-1	-1	-1	12	14	13	42	5	-1	-1	+1	13,7	18	14	42
2	+1	-1	-1	13,1	85	13,5	47	6	+1	-1	+1	14,6	90	14	46
3	-1	+1	-1	17,2	4	12	40	7	-1	+1	+1	18,8	10	12,5	39
4	+1	+1	-1	18,1	75	12	44	8	+1	+1	+1	19,8	80	13	43

Математическая модель трала 30,8/125 при факторах в размерном виде имеет вид:

$$R = 0,00355L + 7,31V + 0,046M - 11,1, \quad (30)$$

$$H = 0,258L - 13,57V + 0,143M + 40,95, \quad (31)$$

$$h = 0,00091L - 1,79V + 0,021M + 17,42, \quad (32)$$

$$l_r = 0,0015L - 3,93V - 0,02M + 54,37. \quad (33)$$

Достоверность полученных материалов характеризуется следующими данными: силовые параметры $\varepsilon(R)=\pm 4,4\%$ при $p=0,9$; горизонт хода $\varepsilon(H)=\pm 9,8\%$ при $p=0,9$; вертикальное раскрытие $\varepsilon(h)=\pm 3,5\%$ при $p=0,9$; ошибка воспроизведения расстояния между досками $\varepsilon(l_r)=\pm 1,4\%$. При проведении опытов все остальные факторы оставались на постоянном уровне: диаметр ваеров – 14 мм, длина кабелей – 50 м, длина голых концов – 15 м, площадь досок – 1,4 м², масса досок – 110 кг, верхняя подбора оснащена шестью пластмассовыми кухтылями диаметром 300 мм, нижняя подбора оснащена пятью отрезками цепи калибра 17 мм длиной по 1 м.

В диссертации исследован вопрос о достаточности размерного ряда тралов для имеющегося в наличии флота траулеров. По нашему мнению для судов проектов: 1288, 1386, 16080 и А-488 соответствующего их тяге трала нет. Нами были проведены работы на уровне эскизного проекта для ликвидации этого пробела. Предложены две конструкции тралов для этих судов, одна из которых из капроновых материалов – 131/1225, а вторая из современного прочного материала «Дупеета» - 180/1680. Последний трал примерно соответствует выпускаемому за рубежом тралу «Gюgia» для судов примерно с такой мощностью ГД.

В диссертации имеются рекомендации по подбору тралов к траулерам по их фактической тяге. Кратко рекомендации заключаются в следующем:

- в главе 5 диссертации приведены технические паспорта на 10 типов пелагических тралов, из которых 3 типа для маломерных траулеров (25,2/115, 30,8/125, 31,8/175); 4 типа для средних и больших траулеров (70/370, 76/336, 78,7/416, 78/420) и 3 типа для больших и супертраулеров (110/620, 118/620, 120/1120);

- все паспорта имеют одинаковую форму, аналогичную зависимостям (30)-(33) и различаются лишь коэффициентами при факторах;

- при выборе трала во все зависимости $R = (L, V, M, l_k)$ по форме зависимости (30) необходимо подставить значения факторов: V – необходимую скорость траления для заданного объекта лова, а также условные значения факторов $L=1000$ м, $M=1000$ кг и $l_k=100$ м;

- из полученных значений R выбирают трал, у которого сопротивление ближе всех подходит к фактической тяге траулера;

- для этого трала из паспорта выписывают оставшиеся три зависимости $H, h, l_T = f(L, V, M, l_k)$ по форме зависимостей (31)-(33);

- левые части выписанных из паспорта зависимостей заменяют числами: $H = m_h$, $h = h_{\min}$, $l_T = l_{T\min}$, где m_h – математическое ожидание глубины хода стай в заданном районе промысла, h_{\min} и $l_{T\min}$ – минимальные требования к вертикальному и горизонтальному раскрытию трала в районе промысла;

-цифровые значения параметров m_h , h_{\min} и $l_{T\min}$ известны по всем районам промысла, т.к. отечественный опыт работы в них исчисляется многими десятилетиями;

- решение трех уравнений по форме (31)-(33) дает три значения для факторов L , M , l_k , которые округляют до удобных для практики величин;

- полученные решения L , M , l_k , а также заданную скорость траления V , подставляют в уравнение сопротивления по форме (30) и сравнивают величины сопротивления трала и фактической тяги;

- в случае если разница между R и $R_{pф}$ не превышает 5%, решение о выборе трала считается окончательным. Таким образом, выбирается трал на первую половину рейса.

На промысле за один рейс тяга судна меняется в существенных пределах. Проиллюстрируем это примером. БМРТ типа «Прометей» имеют в начале рейса математическое ожидание тяги $274 \pm 17,8$ кН, в конце рейса $235,2 \pm 22,6$ кН. Рассмотрим трал 120/1120 пр. 2888 НПО, рекомендованный РД 22-007/90, для этих судов, у которого при основной оснастке ($F_d=9$ м², $F_{ц}=5$ м², $M=1500$ кг, $l_k=150$ м) на постоянной мощности, пошедшей на винт $N_e=2350$ кВт в зависи-

мости от длины ваеров варьируется скорость траления и агрегатное сопротивление трала (см. таблицу 4).

Таблица 4 - Некоторые характеристики трала 120/1120

Длина ваеров $L_B, м$	Скорость $V_T, узлы$	Сопротивление трала $R_{TP}, кН$
600	5,3	249
900	5,2	278
1200	5,05	281

Как видно из таблицы 4, сопротивление трала в случае траления с длиной вытравленных ваеров 1200 м больше тяги судна даже в начале рейса, а в конце рейса трал не подходит судну на любом режиме. Причем указанная выше мощность, пошедшая на винт, не случайна, она соответствует большинству случаев нагружения машины на промысле ($\bar{N}_{eГД}=95\%$, $N_{eГД}=2707$ кВт, $N_{BГ}=340$ кВА, $N_e=2350$ кВт). В данном примере видно, что во второй половине рейса на судне возникает ситуация, которую можно характеризовать как дефицит тяги. Мы хотим показать, как решить возникшую проблему путем модернизации имеющихся на борту тралов.

Нами предложены три варианта модернизации трала: уменьшение размеров пластин мотенной части трала; замена части пластин мотни на другие пластины с большим шагом ячеек и замена части пластин мотни трала, изготовленных из капрона, на пластины из Дупеета. Расчеты, проведенные в диссертации, показали, что модернизация трала, направленная на снижение его сопротивления носит характер небольшой переделки, вполне доступной для условий палубы судна. При проведении модернизации трала учитывалось то обстоятельство, что на палубе судна трудно работать с канатной частью, в связи с ограниченностью пространства, в тоже время пластины мотни имеют небольшую высоту, и работа с ними, не затруднительна.

По этой причине при модернизации тралов принято решение модернизировать только мотенные части, не меняя канатную часть и переднюю кромку мотни с тем, чтобы не менять цикл соединения канатной и мотенной частей.

Для условий примера (стр.19) имеем $C_R=235/274=0,8577$. Если принять, что $C_A=C_K=C_p=C_d=1$, то тогда по условию силового подобия имеем, что

$C_L = \sqrt{C_R} = \sqrt{0,8577} = 0,9261$. При условии, что канатная часть не подлежит модернизации, мотенную часть необходимо модернизировать с другим линейным масштабом, величину которого не сложно подсчитать. Масштаб площадей равен:

$$C_F = C_L^2; \quad C_{FM} = \frac{C_{FT} F_{HT} - F_{HK}}{F_{HM}} = \frac{0,8577 \cdot 326 - 135,7}{190,2} = 0,7562,$$

где C_{FM} – масштаб площадей мотенной части, тоже с индексом Т – трала, с индексом К – канатной части, площади трала, канатной и мотенной частей подсчитаны по чертежу трала, приведенного в РД22-007/90. Масштабу площадей 0,7562 соответствует масштаб линейных размеров 0,87. В таблице 5 приведены сведения о мотенной части трала до модернизации, модернизации по первому методу (уменьшение размеров пластин), по второму методу (замена части пластин на пластины с большим шагом ячеи) и по третьему методу (замена пластин из капрона на пластины из Дунеема).

Таблица 5 - Мотенная часть трала 120/1120 до и после модернизации

№№ ПП	а мм	d мм	Нагура			1-й метод			2-й метод					3-й метод				
			п ₁	п ₂	т	п ₁	п ₂	т	а	d	п ₁	п ₂	т	а	d	п ₁	п ₂	т
1	1200	6	22	19	11,5	22	16	10	1200	6	22	12	15	1200	3	22	19	11,5
2	800	6	24	19	10,5	21	16	9	1200	6				800	3	24	19	10,5
3	400	4	36	32	10	31	28	8,5	1200	6				400	4	36	32	10
4	200	3,1	50	45	12,5	44	39	11	400	4	25	23	5	200	3,1	50	45	12,5
5	100	2,4	84	69	53,5	73	60	46,5	100	2,4	84	69	53,5	100	2,4	84	69	53,5
6	65	2,4	92	61	107,5	80	53	93,5	65	2,4	92	61	107,5	65	2,4	92	61	107,5
									C _F =0,75			C _F =0,72			C _F =0,768			

Из таблицы 5 видно, что модернизации тралов по всем трем методикам не затруднительны для выполнения в условиях палубы судна.

ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проведенные исследования показали, что тяговая характеристика траулера является не только функцией от мощности, пошедшей на винт, и скорости траления, но и от времени эксплуатации судна.
2. Для определения фактической тяги траулера в любой момент эксплуатации требуется эталон. Таким эталоном является тяга нового судна. В ра-

боте получены зависимости (3) –(8) тяги новых судов 7 типов (А-488, 16080, 1288, Прометей, Атлантик, А-333, 1330).

3. Для определения мощности, пошедшей на винт, необходимы адекватные модели (13)-(22) относительной мощности ГД, в зависимости от косвенных характеристик (t_r , P_H , P_Z , G). Такие модели были получены для дизелей 8VDS 48/42-AL-2, 6ЧН 40/46, 8ZD 72/48-AL-1, 8NVD 48А-2U, 8VD 26/20-AL-2.

4. Для анализа технического состояния флота нами предложено ввести понятие о расчетной величине промысловой годности судна по тяге (ПГСт). Эта величина рассчитывается по формуле (26).

5. Разработан метод оперативной оценки эксплуатационно-технических характеристик тралов в условиях промысла.

6. Для десяти тралов разработаны математические модели зависимости их гидродинамического сопротивления от факторов влияния (паспорта тралов).

7. Практическая апробация паспортов тралов проведена при выполнении натурных экспериментов с тралами судов пр. 1330 типа «Керчанин», которая показала, что модели обладают хорошей адекватностью и представляют практическую пользу для промысловиков при определении регулировочных параметров в меняющихся условиях лова;

8. Применение в практике тралового лова результатов и рекомендаций, разработанных в диссертации, позволяет перевести техническую эксплуатацию системы судно-трал на более высокий, научно обоснованный уровень.

9. Положительным эффектом от внедрения новой методологии эксплуатации судов тралового флота, основанной на анализе тяговых характеристик, может являться: снижение числа аварий ГД от перегрузки и увеличение вылова рыбы судами по причине роста эксплуатационного времени, морского времени и времени лова.

Основное содержание диссертации изложено в изданиях, рекомендованных ВАК Украины (1 – 6, 9) и ВАК Минобрнауки России (7,8):

1. Рязанова Т.В., Веденеев В.Л. Идентификация загрузки судовых двигателей /Рыбное хозяйство Украины. 2001. №1. С. 43-44.
 2. Рязанова Т.В. Техническая эксплуатация траулеров на основе анализа их тяг /Рыбное хозяйство Украины. 2002. №2. С. 12-13.
 3. Рязанова Т.В. Методика определения фактической тяги траулеров /Рыбное хозяйство Украины. 2002. №3, 4. С. 24-25.
 4. Рязанова Т.В. Методика технической паспортизации тралов /Рыбное хозяйство Украины. 2004. №3, 4. С. 14-16.
 5. Рязанова Т.В. Обоснование эксплуатационной мощности ГД траулеров /Рыбное хозяйство Украины. 2005. № 2. С. 26-27.
 6. Рязанова Т.В., Веденеев В.Л. Математическая формализация опытных данных эксплуатации пропульсивного комплекса морского судна //Рыбное хозяйство Украины. 2007. № 6. С. 27-30.
 7. Рязанова Т.В. Долин Г.М. Опыт технической паспортизации малого рыболовного траля /Рыбпром. 2009. № 3. С. 62-63.
 8. Рязанова Т.В. Промысловая эксплуатация траулеров на основе анализа их тяг /Рыбпром. 2009. № 4. С. 49-52.
 9. Рязанова Т.В. Веденеев В.Л. Обоснование объема экспериментальных работ для получения достоверного уравнения тяги промыслового судна /Рыбное хозяйство Украины. 2010. № 4. С. 18-22.
- Личный вклад Рязановой Т.В. в публикациях с соавторами составляет: №1 – 70%; №6 – 60%; №7 – 80%; №9 – 60%.

Заказ № 881. Подп. в печать 16.11.11. Формат 60x84/16.

Объем 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз.

Отпечатано Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ»,

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1.