

УДК 639.2.081.117.212

**О.Н. Кручинин, Е.А. Захаров, Д.Л. Шабельский\***  
Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),  
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАЛОВОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ФОРМЕ КАНАТНО-СЕТНОЙ ОБОЛОЧКИ РАЗНОГЛУБИННЫХ ТРАЛОВ

Приведены формулы для вычисления горизонтального раскрытия устья тралов, полученные по математической модели разноглубинной траловой системы В.И. Габрюка. Анализ показал, что для разноглубинных тралов 57/360 м и 80/396 м средняя погрешность расчетов по этим формулам составляет соответственно 25,4 и 32,9 %. Существенное различие экспериментальных и расчетных значений и большая погрешность расчетов могут указывать на неадекватность модели разноглубинной траловой системы В.И. Габрюка. На основе экспериментальных данных о форме канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов получены аппроксимирующие уравнения, позволяющие рассчитывать горизонтальное раскрытие в различных сечениях канатно-сетной оболочки трала. Показано, что для разноглубинных тралов 57/360 м и 80/396 м средняя погрешность расчетов горизонтального раскрытия в устье тралов по этим уравнениям составляет соответственно 13,7 и 6,1 %. Это дает основание для применения этих аппроксимирующих уравнений в общей схеме расчета рабочих параметров разноглубинной траловой системы. По схеме (модели) Ф.И. Баранова с использованием этих аппроксимирующих уравнений определены рабочие параметры разноглубинной траловой системы и показана адекватность модели. Для определения погрешности расчетов и адекватности моделей использовались экспериментальные, измеренные гидроакустическими приборами данные по горизонтальному раскрытию в устье и расстоянию между досками разноглубинных тралов 57/360 м и 80/396 м, полученные при проведении учетных траловых съемок в 2012–2015 гг. в Охотском море на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский».

**Ключевые слова:** рабочие параметры разноглубинной траловой системы, канатно-сетная оболочка трала, горизонтальное раскрытие трала, аппроксимирующие уравнения, погрешность расчетов, адекватность моделей разноглубинной траловой системы.

DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-193-209.

**Kruchinin O.N., Zakharov E.A., Shabelsky D.L.** Determining of operational parameters for trawl system taking into account experimental data on shape of the rope-net shell of midwater trawls // *Izv. TINRO*. — 2020. — Vol. 200, Iss. 1. — P. 193–209.

---

\* Кручинин Олег Николаевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: oleg.kruchinin@tinro-center.ru; Захаров Егор Андреевич, заведующий сектором, e-mail: egor.zakharov@tinro-center.ru; Шабельский Дмитрий Леонидович, ведущий специалист, e-mail: dmitriy.shabelsky@tinro-center.ru.

Kruchinin Oleg N., D.Tech., principal researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: oleg.kruchinin@tinro-center.ru; Zakharov Egor A., head of section, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: egor.zakharov@tinro-center.ru; Shabelsky Dmitry L., leading specialist, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: dmitriy.shabelsky@tinro-center.ru.

Calculating of horizontal opening for a trawl mouth using the mathematical model of midwater trawl system developed by V.I. Gabryuk gives the errors 25.4 and 32.9 %, on average, for the trawls RT 57/360 m and RT 80/396 m, respectively. The significant errors cause doubts about correctness of this model equations application for calculation of the catch zone that is necessary for assessment of abundance and biomass of marine biological resources. New empirical equations are proposed on the basis of experimental data on shape of the rope-net shell of a midwater trawl, which allow to calculate the horizontal opening for its certain sections. The errors of the horizontal opening calculation with these new equations are 13.7 and 6.1 %, on average, for the trawls RT 57/360 m and RT 80/396 m, respectively, that is satisfactory for using them for calculating operational parameters of a midwater trawl system. The operational parameters of the midwater trawls RT 57/360 m and RT 80/396 m are calculated using Baranov's approach with these new empirical equations, and their good adequacy is shown in the experiment with hydroacoustic measurements of the trawls mouth horizontal opening and the distance between the trawl doors conducted aboard RV TINRO and RV Professor Kaganovsky in the Okhotsk Sea in 2012–2015.

**Key words:** operational parameter of midwater trawl system, rope-net shell of trawl, horizontal opening of trawl, empirical equation, calculation error, model of midwater trawl system.

### Введение

Известно, что величина зоны облова трала лежит в основе определения площадной или объемной концентрации объекта лова и, в конечном итоге, величины обилия водных биологических ресурсов (ВБР) по результатам учетных работ. По результатам учетной съемки разноглубинными тралами численность и биомасса каждого вида на единицу обловленной площади (плотность концентрации) для каждой траловой станции (галса траления) вычисляются по следующим формулам [Атлас количественного распределения nekтона в северо-западной части Японского моря, 2004]:

$$\rho(N) = \frac{Np}{(1,852v_{mp}t_{mp}0,001B_{ycm})\varphi_{mp}}; \quad (1)$$

$$\rho(M) = \frac{Mp}{(1,852v_{mp}t_{mp}0,001B_{ycm})\varphi_{mp}}, \quad (2)$$

где  $\rho(N)$ ,  $\rho(M)$  — соответственно плотность концентрации численности и биомассы ВБР (экз./км<sup>2</sup>, кг/км<sup>2</sup>);  $N$ ,  $M$  — соответственно численность и масса улова на траловой станции (экз., кг);  $v_{mp}$  — скорость траления, уз;  $t_{mp}$  — продолжительность траления, час;  $B_{ycm}$  — горизонтальное раскрытие устья трала, м;  $p$  — поправочный коэффициент объемности или компенсации ступенчатого траления ( $p \geq 1$ );  $\varphi_{mp}$  — коэффициент ловистости трала ( $0 < \varphi_{mp} < 1$ ).

Однако методика оценки запасов на основе траловых съемок во многом несовершенна и зачастую приводит к искаженным результатам [Engås and Godø, 1986; Вдовин, Дударев, 2000; Кручинин и др., 2012; Волвенко, 2013; Захаров и др., 2013; Захаров, Емелин, 2016]. Так, например, при проведении учетных работ донным тралом ДТ 27,1/24,4 м его горизонтальное раскрытие (зону облова) принимают в среднем равным 16 м, что составляет 60 % длины верхней подборы трала. Проведенные нами работы показали, что в действительности такое горизонтальное раскрытие бывает не более чем в 32 % тралений, а в остальных тралениях оно изменяется от 10 до 22 м и напрямую зависит от глубины траления и, соответственно, от длины вытравленных ваеров [Захаров и др., 2013]. Поэтому, принимая во всех случаях для расчета зоны облова среднее значение горизонтального раскрытия, заранее предопределяем, что по результатам около 68 % тралений расчет плотности распределения и численности гидробионтов был сделан с погрешностью.

Таким образом, способ определения горизонтального раскрытия, не учитывающий влияние различных факторов на формирование зоны облова, приводит к погрешности определения плотности скоплений гидробионтов в отдельно взятых галсах. Соответственно, эта погрешность в конечном итоге пропорционально влияет на оценку

численности биоресурсов. Проведенные нами расчеты по формулам (1) и (2) на примере донной съемки в Беринговом море показали, что погрешность определения численности и биомассы некоторых видов гидробионтов с использованием среднего горизонтального раскрытия донного трала ДТ 27,1/24,4 м составляет более 20 % как в сторону недоучета, так и в сторону переучета [Захаров, Емелин, 2016].

Учитывая вышеизложенное, повышение достоверности оценок обилия ВБР неразрывно связано с повышением точности оценки геометрических параметров учетных тралов, определяющих их зону облова. Отчасти эта проблема может быть решена с помощью гидроакустической аппаратуры, предназначенной для контроля рабочих параметров траловой системы, такой как кабельный комплекс «Simrad FS 20/25» и бескабельный траловый комплекс «Scanmar». Однако в реальных условиях промысла не всегда удастся разместить датчики этих гидроакустических комплексов в нужном месте на трале из-за большой вероятности их потери при жестких режимах эксплуатации, например, в результате зацепов при донных тралениях и перекручивания канатных элементов крыльев трала при разноглубинных тралениях.

Стоит отметить, что существуют теоретические методы оценки геометрических параметров тралов. Весьма простой теоретический метод определения горизонтального раскрытия донных тралов предложен ранее в ТИНРО с целью уточнения ретроспективных данных по количественной оценке биоресурсов [Кручинин и др., 2012]. Однако этот метод не универсален, имеет существенные ограничения и не раскрывает связи между силовыми и геометрическими параметрами траловой системы.

Теоретические методы определения геометрических и силовых параметров разноглубинных тралов разрабатывались многими исследователями [Баранов, 1947; Сучков, 1972; Розенштейн, 1976, 2000; Carrothers, 1980; Фридман, 1981; Габрюк и др., 1982; Шевченко, Бойцов, 1983; Савин, 2017].

Они базируются на условии равновесия траловой системы в целом или отдельных ее частей. Некоторые из них показали приемлемую сходимость с результатами экспериментальных измерений параметров разноглубинных тралов [Бойцов, Астафьев, 1983; Бойцов и др., 1985].

Для расчета расстояния между досками обычно используется предложенная Ф.И. Барановым схема (модель) взаимозависимости между силовыми и геометрическими параметрами траловой системы, представляющая собой проекцию траловой системы на горизонтальную плоскость [Баранов, 1960, 1969]. Благодаря своей универсальности эта схема анализируется и используется во многих, в том числе и наших, научных работах [Фридман, 1981; Gómez and Jiménez, 1994; Розенштейн, 2000; Захаров, Кручинин, 2016; Савин, 2017]. Однако к этой схеме есть одно немаловажное замечание. В схеме Ф.И. Баранова определение угла атаки кабелей возможно лишь в предположении, что линия образующей трала является продолжением линии кабелей. Это означает, что углы атаки кабелей и сетной оболочки трала должны быть одинаковыми. Тем не менее известно, что в процессе траления образующая сетной оболочки трала принимает криволинейную форму [Розенштейн, 2000; Розенштейн и др., 2013; Савин, 2017], из чего следует, что углы атаки различных частей сетной оболочки трала (крыльев и мотни) неодинаковы. К настоящему времени не разработан теоретический метод определения формы гибкой оболочки (к которой можно отнести и сетную оболочку трала) при воздействии на нее гидродинамических сил. Вместе с тем под руководством проф. М.М. Розенштейна проведено экспериментальное исследование формы канатно-сетной части разноглубинных тралов [Розенштейн и др., 2013], результаты которого целесообразно использовать в теоретической схеме (модели) Ф.И. Баранова для расчета геометрических и силовых параметров траловых систем.

Основной целью настоящей статьи является доработка математической модели формирования геометрии траловой системы на основе схемы Ф.И. Баранова с использованием результатов экспериментального исследования формы канатно-сетной части разноглубинных тралов. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью

уточнения зоны облова разноглубинных тралов при проведении учетных съемок на научно-исследовательских судах.

### Материалы и методы

Расчет рабочих параметров траловой системы основывается на схеме (модели) Ф.И. Баранова [1969] и формулах для определения расстояния между досками, представленных в работах А.Л. Фрийдмана [1981] и М.М. Розенштейна [2000]. Схема траловой системы, учитывающая нелинейность формы сетной оболочки трала, с обозначениями, используемыми в данной статье, приведена на рис. 1.

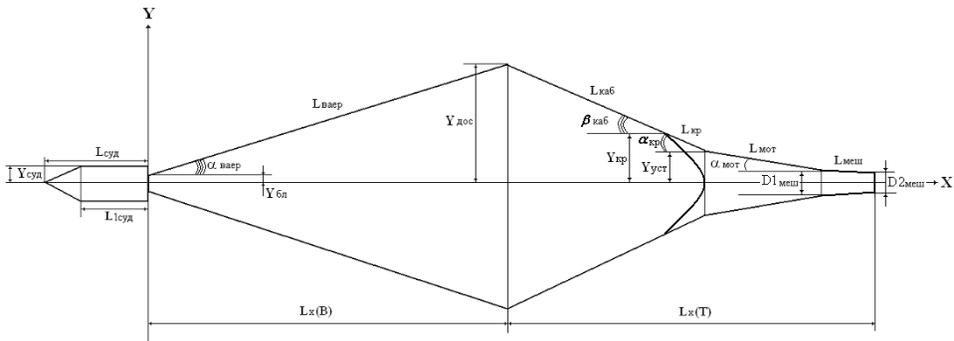


Рис. 1. Схема траловой системы, учитывающая нелинейность формы сетной оболочки трала

Fig. 1. Scheme of trawl system accounting nonlinearity of the net shell shape

В результате преобразования формулы М.М. Розенштейна [2000] нами получена следующая формула для расчета расстояния между досками с учетом силовых и геометрических параметров траловой системы [Захаров и др., 2019]:

$$Y_{доc} = \frac{R_Y L_{x(T)} L_{x(B)}}{R_T L_{x(B)} + T_X L_{x(T)}}, \quad (3)$$

где  $Y_{доc}$  — половина расстояния между досками, м;  $L_{x(B)}$ ,  $L_{x(T)}$  — соответственно проекция длины ваера и проекция длины топенантов трала вместе с кабелями на плоскость XY, м (параллельно оси X направлен поток и векторы сил лобового сопротивления, а параллельно оси Y — векторы распорных сил);  $R_Y$ ,  $R_T$  — соответственно суммарная распорная сила элементов траловой системы и сопротивление трала с оснасткой, Н;  $T_X$  — суммарное сопротивление траловой системы, определяющее натяжение ваеров, Н.

Сопротивление и распорную силу элементов траловой системы (ваеров, досок, кабелей и канатно-сетной оболочки трала) определяем, используя теоретические методы, изложенные в работах специалистов промышленного рыболовства. Поскольку параметры, рассчитываемые в правой части формулы (3), зависят от расстояния между досками, она является трансцендентной и решается методом последовательных приближений (итераций). Цикл вычислений производится до тех пор, пока не выполнено условие:

$$100\% \left| \frac{Y_{доc(ввод)} - Y_{доc(итер)}}{Y_{доc(ввод)}} \right| = \sigma_{min(итер)}, \quad (4)$$

где  $Y_{доc(ввод)}$ ,  $Y_{доc(итер)}$  — вводимое и расчетное (итерационное) значения половины расстояния между досками;  $\sigma_{min(итер)}$  — минимальная погрешность итерации.

При компьютерном решении трансцендентных уравнений не всегда удается сразу найти решение из-за неопределенности при выборе шага итерации. Поэтому разработанный нами алгоритм расчета расстояния между досками включает подпрограмму (процедуру) нахождения минимального значения погрешности итерации [Захаров и др., 2019]. Сущность этой процедуры заключается в том, что значения  $Y_{доc(ввод)}$  последовательно с ничтожно малым шагом итерации, составляющим 0,01 м, вводятся в общую программу и для

каждого вводимого значения по формуле (4) рассчитывается погрешность итерации  $\sigma_{итер}$ . Из всего массива значений  $\sigma_{итер}$  автоматически выбирается минимальное значение, при котором считается, что трансцендентное уравнение (3) решено с достаточной точностью.

Погрешность вычисления зоны облова разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м при проведении учетных работ определялась на основе анализа формул, приведенных в вышеупомянутом Атласе количественного распределения nekтона в северо-западной части Японского моря [2004]. Эти формулы, представляющие эмпирические уравнения [Волвенко, 1998; Volvenko, 2000], полученные методом пошагового множественного регрессионного анализа данных расчета, выполненного по математической модели разноглубинной траловой системы В.И. Габрюка [1988, 1995], имеют вид

$$B_{уст} = \frac{h_{уст}^{0,95064} 1,03149 V_{суд} (H_{мп} + 1)^{0,12683}}{1,02002 h_{уст} 1,00013 L_{ваер}} \text{ — для РТ 57/360 м,} \quad (5)$$

$$B_{уст} = \frac{h_{уст}^{0,12848} V_{суд}^{0,60955} (H_{мп} + 1)^{0,00083} L_{ваер}^{0,88926}}{1,01237 h_{уст} 1,13102 V_{суд} 1,37044 (L_{ваер})^2} \text{ — для РТ 80/396 м,} \quad (6)$$

где  $B_{уст}$ ,  $h_{уст}$  — соответственно горизонтальное и вертикальное раскрытие устья трала, м;  $V_{суд}$  — скорость судна при тралении, уз;  $H_{мп}$  — глубина хода трала, м;  $L_{ваер}$  — длина ваеров, м. При этом в соответствии с обозначениями на рис. 1  $B_{уст} = 2Y_{уст}$ .

Погрешность определяли путем сравнения данных расчета по формулам (5) и (6) с фактическими (измеренными приборами) данными по горизонтальному раскрытию устья разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м, полученными нами при проведении учетных траловых съемок в 2012–2015 гг. в Охотском море на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский». В этих съемках для определения глубины хода тралов и измерения их геометрических параметров использовались кабельный комплекс «Simrad FS 20/25» и бескабельный траловый комплекс «Scanmar».

Углы атаки крыльев и мотни разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м определяются по следующим формулам:

$$\alpha_{кр} = \arcsin \left( \frac{Y_{кр} - Y_{уст}}{L_{кр}} \right), \quad (7)$$

$$\alpha_{мот} = \arcsin \left( \frac{Y_{уст} - Y_{меш}}{L_{мот}} \right), \quad (8)$$

где  $Y_{кр}$ ,  $Y_{уст}$ ,  $Y_{меш}$  — соответственно половина горизонтального раскрытия канатно-сетной оболочки трала по крыльям, в устье (по гужу) и в месте присоединения мешка к мотне трала, м;  $L_{кр}$ ,  $L_{мот}$  — соответственно длина крыла и мотни трала по топенанту, м.

Горизонтальные раскрытия определяли на основе анализа экспериментальных данных по исследованию формы канатно-сетной части разноглубинных тралов [Розенштейн и др., 2013; Савин, 2017]. Заметим, что в этих исследованиях представлены данные измерений горизонтального раскрытия начиная от устья (в сечении по гужу) до места присоединения мешка к мотне трала. Как видно по формуле (7), интерес представляет также горизонтальное раскрытие по крыльям трала, определяющее угол атаки крыльев. Поэтому мы путем сглаживания дополнили экспериментальные данные М.В. Савина [2017] до горизонтального раскрытия по крыльям трала. В результате анализа сглаженных экспериментальных данных с коэффициентом достоверности более 0,998 и средней погрешностью от 0,3 до 2,5 % получены следующие уравнения, аппроксимирующие усредненные экспериментальные данные о форме меридиана трала в зависимости от длины трала по топенанту (в безразмерном виде):

$$\begin{aligned} Y1_{тр(отн)} &= -5,487(X_{мон(отн)})^3 + 5,552(X_{мон(отн)})^2 - 2,100X_{мон(отн)} + 1,000, \\ Y2_{тр(отн)} &= 8,108 \exp(-4,716X_{мон(отн)}), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $Y_{тр(отн)}$  — половина горизонтального раскрытия канатно-сетной оболочки трала от крыльев до мешка, отн. ед.;  $X_{мон(отн)}$  — длина трала по топенанту от крыльев до мешка,

отн. ед. При этом соблюдаются условия:  $X_{\text{топ(крыло)}} = 0$ ;  $X_{\text{топ(мешок)}} = 1$ ;  $YI_{\text{тр(отн)}}$  действительно для  $X_{\text{топ(отн)}} \leq 0,57$ ;  $Y2_{\text{тр(отн)}}$  действительно для  $X_{\text{топ(отн)}} > 0,57$ .

Экспериментальные данные и данные расчета по аппроксимирующим уравнениям (9) приведены на рис. 2, где видна хорошая сходимость этих данных.

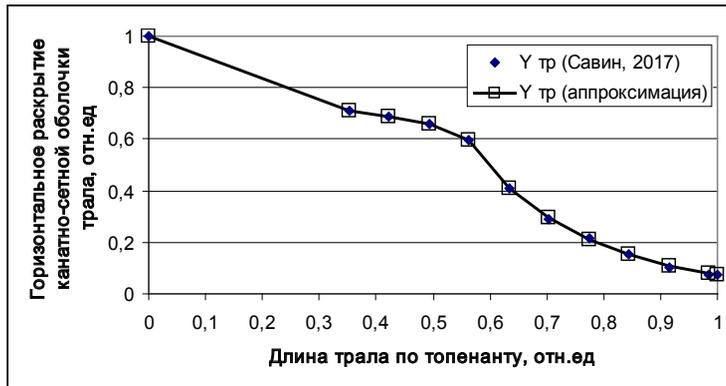


Рис. 2. График зависимости формы меридиана разноглубинного трала от длины трала по топенанту (в безразмерном виде)

Fig. 2. Dependence of the trawl meridian shape on the trawl length along the selvedge, for a midwater trawl (dimensionless)

Переход от относительных к абсолютным (в метрах) значениям горизонтального раскрытия в отдельных частях канатно-сетной оболочки трала производится по следующему алгоритму:

1) рассчитываем относительные значения длины топенанта для анализируемых точек канатно-сетной оболочки трала:

$$X_{i(\text{отн})} = X_{i(\text{мп})} / X_{\text{max}}, \quad (10)$$

где  $X_{i(\text{мп})}$  — длина трала по топенанту от начала крыла до анализируемой точки, м;  $X_{\text{max}}$  — длина трала по топенанту от начала крыла до места присоединения мешка к мотне трала, м;

2) для анализируемых точек по аппроксимации (9) рассчитываем относительные значения горизонтального раскрытия канатно-сетной оболочки трала  $Y_{i(\text{отн})}$ ;

3) для анализируемых точек рассчитываем абсолютные значения горизонтального раскрытия канатно-сетной оболочки трала:

$$Y_{i(\text{мп})} = Y_{i(\text{отн})} Y_{\text{кр}}, \quad (11)$$

где  $Y_{\text{кр}}$  — половина горизонтального раскрытия трала по крыльям, м:

$$Y_{\text{кр}} = Y_{\text{дос}} - L_{\text{каб}} \sin \beta_{\text{каб}}, \quad (12)$$

где  $Y_{\text{дос}}$  — экспериментальное значение половины расстояния между досками трала, м;  $L_{\text{каб}}$  — длина кабелей с голыми концами, м;  $\beta_{\text{каб}}$  — угол атаки кабелей:

$$\beta_{\text{каб}} = \arcsin\left(\frac{Y_{\text{дос}} - Y_{\text{меш}}}{L_{\text{каб}} + L_{\text{мот}} + L_{\text{меш}}}\right), \quad (13)$$

где в соответствии с обозначениями на рис. 1  $Y_{\text{меш}} = DI_{\text{меш}}/2$  — радиус окружности сетной оболочки мешка в месте его крепления к мотне, м;  $L_{\text{мот}}$  — длина мотни по топенанту, м;  $L_{\text{меш}}$  — длина мешка по топенанту, м.

Отметим, что результаты расчета угла атаки кабелей по формуле (13) хорошо согласуются с экспериментальными данными. Так, погрешность расчета при различных значениях расстояния между досками для РТ 57/360 м составляет от 0,1 до 9,3 % (в среднем — 2,9 %), а для РТ 80/396 м — от 0,4 до 9,2 % (в среднем — 3,5 %). Небольшие значения погрешности расчета подтверждают адекватность формулы (13), что позволяет применять ее при расчете рабочих параметров разноглубинной траловой системы.

Погрешность расчета рабочих параметров тралов определяли путем сравнения данных расчета по формуле (3) с использованием аппроксимации (9) и алгоритма (10)–(13) с фактическими (измеренными приборами) данными по расстоянию между досками, полученными в наших экспериментальных работах по исследованию геометрии траловой системы при проведении учетных траловых съемок разноглубинными тралами РТ 57/360 м и РТ 80/396 м на НИС «Профессор Кагановский» и «ТИНРО» с 2012 по 2015 г. Степень адекватности математической модели расчета рабочих параметров тралов оценивали с помощью величины погрешности между экспериментальными и расчетными данными по формуле

$$100\% \left| \frac{Y_{доc(эксп)} - Y_{доc(расч)} }{Y_{доc(эксп)}} \right| = \sigma_{мод}, \quad (14)$$

где  $Y_{доc(эксп)}$ ,  $Y_{доc(расч)}$  — экспериментальные (измеренные приборами) и рассчитанные по модели значения половины расстояния между досками;  $\sigma_{мод}$  — погрешность расчетов по модели.

### Результаты и их обсуждение

*Анализ погрешности теоретического метода, принятого в ТИНРО для определения зоны облова разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м при проведении учетных работ*

Сравнительный анализ экспериментальных (измеренных приборами) и рассчитанных по формулам (5) и (6) величин горизонтального раскрытия устья тралов  $B_{уст}$  РТ 57/360 м и РТ 80/396 м приведен на рис. 3.

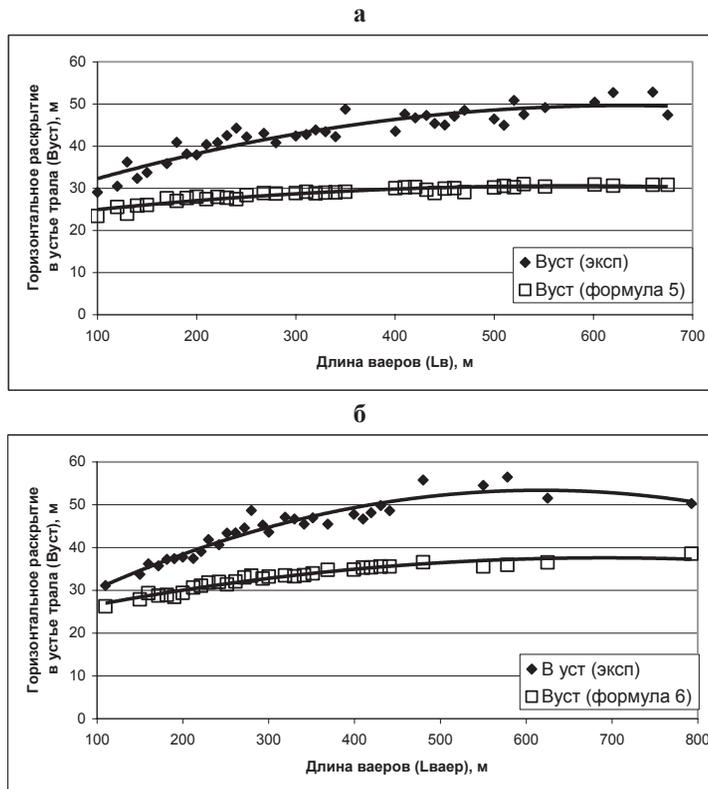


Рис. 3. Экспериментальные и рассчитанные по формулам (5) и (6) горизонтальные раскрытия устья тралов: **а** — РТ 57/360 м; **б** — РТ 80/396 м

Fig. 3. Experimental and calculated by formulas (5) and (6) horizontal opening of trawl mouth for the trawls RT 57/360 m (**a**) and RT 80/396 m (**b**)

На графиках рис. 3 видно явное различие измеренных и расчетных величин  $V_{уст}$ . Погрешность расчетов по формуле (5) для РТ 57/360 м составляет от 16,2 до 42,0 % (в среднем — 32,9 %), а по формуле (6) для РТ 80/396 м — от 15,7 до 36,4 % (в среднем — 25,4 %) при различных значениях  $V_{уст}$ .

Существенное различие экспериментальных и расчетных значений  $V_{уст}$  и большая погрешность расчетов могут указывать на неадекватность модели разноглубинной траловой системы В.И. Габрюка. Это вызывает сомнение в правильности применения созданных на основе этой модели эмпирических уравнений, по которым рассчитываются значения горизонтального раскрытия тралов, используемых в оценке численности и биомассы ВБР.

*Анализ результатов расчета горизонтального раскрытия канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м, выполненного по методике, разработанной на основе экспериментального исследования формы канатно-сетной части разноглубинных тралов*

Пример расчета горизонтального раскрытия в отдельных частях канатно-сетной оболочки тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м, выполненного по аппроксимации (9) с применением алгоритма (10)–(13), показан на рис. 4. При этом для расчета приняли максимальные экспериментальные значения горизонтального раскрытия по крыльям, которые для тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м составили соответственно 29 и 38 м.

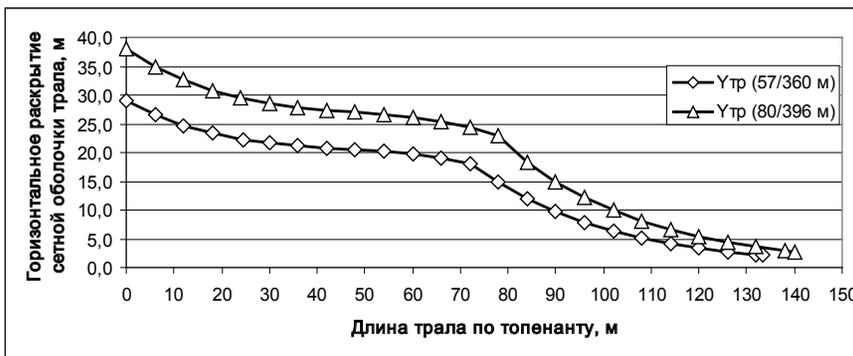


Рис. 4. Горизонтальное раскрытие в различных сечениях канатно-сетной оболочки тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м

Fig. 4. Horizontal opening in certain sections of rope-net shell for the trawls RT 57/360 m and RT 80/396 m

По данным расчета, приведенного на рис. 4, определили коэффициенты раскрытия в сечении по устью и мешку тралов, которые численно равны следующим отношениям:

$$k_{уст} = \frac{Y_{уст}}{Y_{кр}}; \quad k_{меш} = \frac{Y_{меш}}{Y_{кр}}. \quad (15)$$

Численные значения коэффициентов раскрытия следующие:

— для трала РТ 57/360 м:  $k_{уст} = 0,7676$ ;  $k_{меш} = 0,0726$ ;

— для трала РТ 80/396 м:  $k_{уст} = 0,7339$ ;  $k_{меш} = 0,0726$ .

Экспериментальные значения горизонтального раскрытия по крыльям тралов ( $Y_{кр(эксн)}$ ) приняли в размере, определенном по формуле (12) с использованием выражения (13), где значение  $Y_{меш(эксн)} = 2,3$  м. Теоретические значения горизонтального раскрытия по крыльям тралов ( $Y_{кр(теор)}$ ) определяли по той же формуле (12) с той разницей, что значение  $Y_{меш(теор)}$  в формуле (13) вычисляли с применением численного значения коэффициента раскрытия в сечении по мешку трала:  $Y_{меш(теор)} = k_{меш} Y_{кр(эксн)}$ . Теоретические значения горизонтального раскрытия в устье ( $Y_{уст(теор)}$ ) вычисляли с применением численного значения коэффициента раскрытия в сечении по устью трала:  $Y_{уст(теор)} = k_{уст} Y_{кр(эксн)}$ .

Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических значений горизонтального раскрытия по крыльям тралов приведен на рис. 5, где  $B_{кр} = 2Y_{кр}$ .

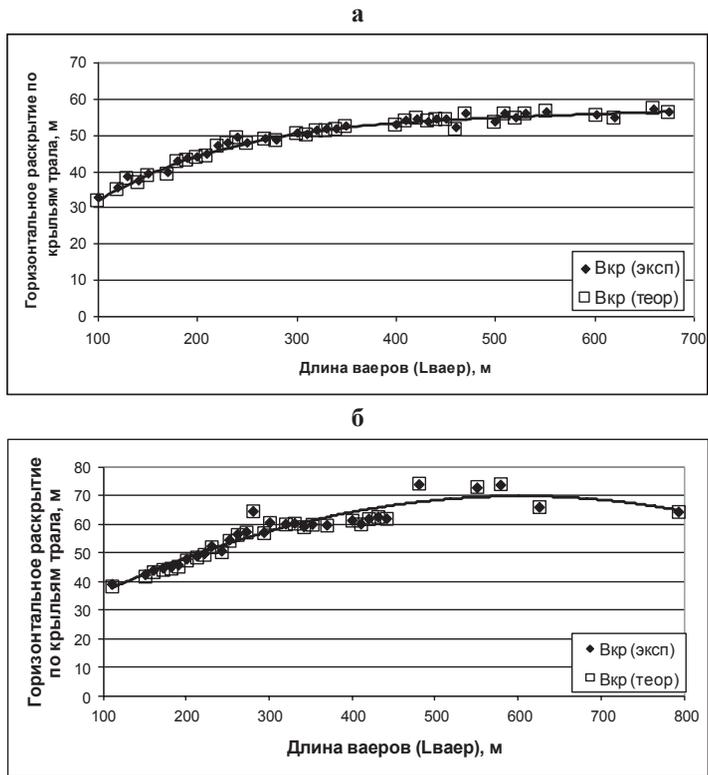


Рис. 5. Экспериментальные и рассчитанные с применением аппроксимации (9) горизонтальные раскрытия по крыльям тралов: **а** — РТ 57/360 м; **б** — РТ 80/396 м

Fig. 5. Experimental and calculated using equation (9) horizontal opening of trawl wing for the trawls RT 57/360 m (**а**) and RT 80/396 m (**б**)

На графиках рис. 5 видно практически полное совпадение экспериментальных и теоретических значений  $Y_{кр}$ . Погрешность расчетов с применением аппроксимации (9) для РТ 57/360 м составляет от 0,40 до 3,30 % (в среднем — 1,10 %), а для РТ 80/396 м — от 0,02 до 1,90 % (в среднем — 0,50 %) при различных значениях  $B_{кр}$ .

Сравнительный анализ экспериментальных (измеренных приборами) и рассчитанных с применением аппроксимации (9) значений горизонтального раскрытия в устье тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м приведен на рис. 6, где  $B_{уст} = 2Y_{уст}$ .

На графиках рис. 6 видно некоторое различие измеренных и расчетных значений горизонтального раскрытия в устье тралов. Погрешность расчетов с применением аппроксимации (9) для РТ 57/360 м составляет от 4,7 до 20,4 % (в среднем — 13,7 %), а для РТ 80/396 м — от 1,7 до 11,8 % (в среднем — 6,1 %) при различных значениях  $B_{уст}$ . Следует отметить, что средняя погрешность расчетов горизонтального раскрытия в устье трала по аппроксимации (9) в 2,4–4,2 раза меньше, чем соответствующая погрешность расчетов по формулам (5) и (6).

Известно, что гидродинамические характеристики (сопротивление и распорная сила) крыльев и мотни трала зависят от угла ( $\alpha$ ) атаки канатных и сетных элементов, из которых выполнены эти части трала [Обвинцев и др., 2005]. Расчет рабочих параметров траловой системы по нашей математической модели показал, что канатная часть не вносит существенного вклада в сопротивление и распорную силу канатно-сетной оболочки трала. Так, например, сопротивление сетной части мотни трала РТ 80/396 м больше сопротивления канатной части крыльев в 14 раз, а распорная сила — в 50 раз.

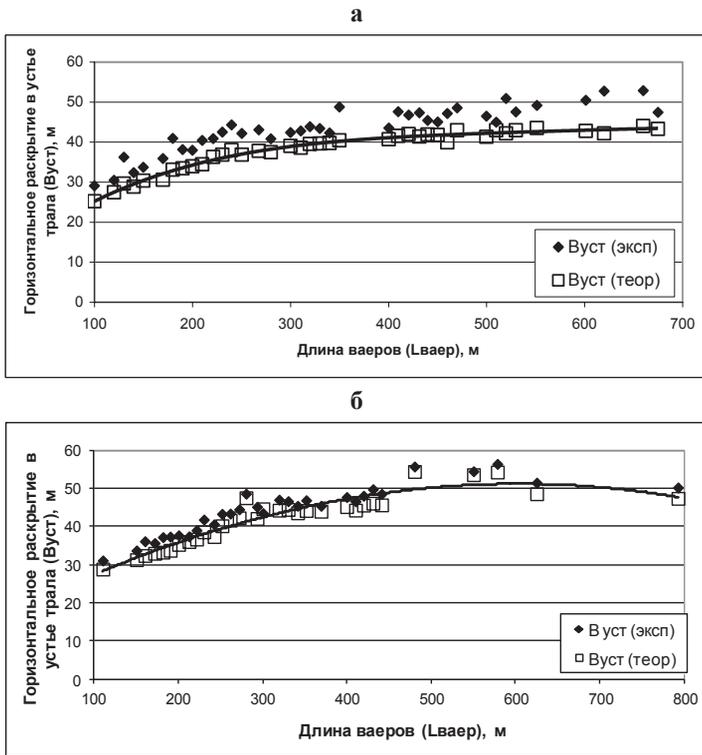


Рис. 6. Экспериментальные и рассчитанные с применением аппроксимации (9) горизонтальные раскрытия устья тралов: **а** — РТ 57/360 м; **б** — РТ 80/396 м

Fig. 6. Experimental and calculated using equation (9) horizontal opening of trawl mouth for the trawls RT 57/360 m (**а**) and RT 80/396 m (**б**)

Учитывая этот факт, провели сравнительный анализ экспериментальных ( $\alpha_{мот(эксп)}$ ) и рассчитанных по формуле ( $\alpha_{мот(расч)}$ ) (8) с применением аппроксимации (9) только углов атаки канатно-сетной оболочки мотни тралов. Результаты расчета для тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м приведены на рис. 7.

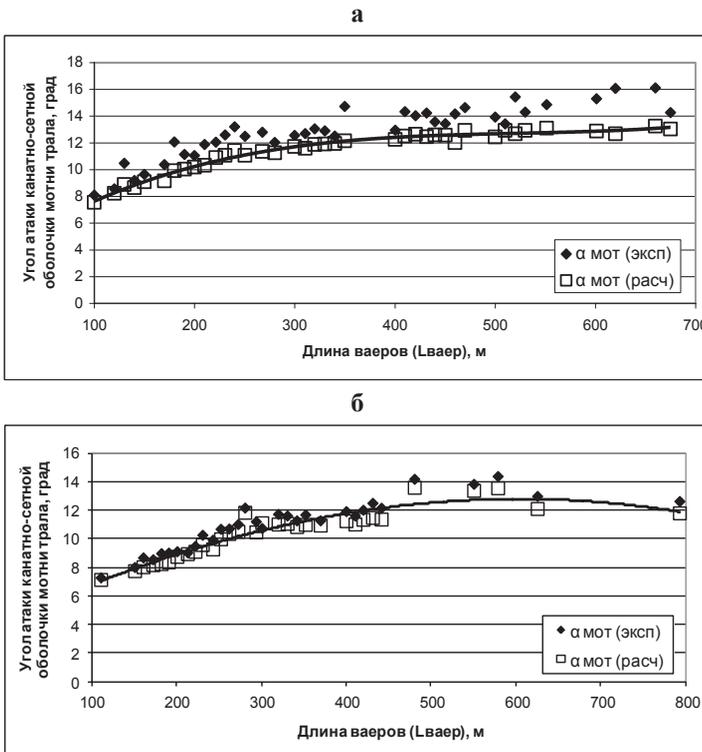


Рис. 7. Экспериментальные и рассчитанные с применением аппроксимации (9) углы атаки мотни тралов: **а** — РТ 57/360 м; **б** — РТ 80/396 м

Fig. 7. Experimental and calculated using equation (9) angles of trawl belly attack for the trawls RT 57/360 m (**а**) and RT 80/396 m (**б**)

На графиках рис. 7 заметно некоторое различие экспериментальных и рассчитанных с применением аппроксимации (9) значений углов атаки канатно-сетной оболочки мотни тралов. Погрешность расчетов для РТ 57/360 м составляет от 3,8 до 23,4 % (в среднем — 12,1 %), а для РТ 80/396 м — от 1,0 до 8,9 % (в среднем — 5,4 %) при различных значениях  $B_{уст}$ .

Таким образом, вышеприведенные расчеты, выполненные с учетом результатов экспериментального исследования формы канатно-сетной части разноглубинных тралов, показали приемлемую погрешность. Это дает основание для применения аппроксимации (9) при определении горизонтального раскрытия в устье тралов и угла атаки мотни тралов в общей схеме расчета рабочих параметров разноглубинной траловой системы.

*Анализ результатов расчета рабочих параметров тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м, выполненного по математической модели на основе схемы Ф.И. Баранова с использованием результатов экспериментального исследования формы канатно-сетной части разноглубинных тралов*

Для расчета рабочих параметров траловой системы в качестве исходных данных использовали экспериментальные значения глубины траления, длины ваеров, скорости траления и расстояния между досками. По этим исходным данным в общем алгоритме расчета [Захаров и др., 2019], используя формулу (3), получили итерационные значения рабочих параметров траловой системы: расстояние между досками ( $Y_{дос(итер)}$ ), расстояние между крыльями ( $Y_{кр(итер)}$ ) и горизонтальное раскрытие в устье трала ( $Y_{уст(итер)}$ ). Расчеты выполнены в программе Microsoft©Office Excel с привлечением языка программирования Visual Basic.

Результаты итерационного расчета рабочих параметров для тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м и сравнение их с экспериментальными значениями показаны на рис. 8 и 9.

На графиках рис. 8 и 9 видно некоторое различие экспериментальных и расчетных (итерационных) значений рабочих параметров. Погрешность расчетов при различных глубинах траления составляет:

— для трала РТ 57/360 м: по расстоянию между досками — от 0,1 до 14,0 % (в среднем — 7,1 %); по расстоянию между крыльями — от 0,5 до 16,6 % (в среднем — 7,9 %); по горизонтальному раскрытию в устье — от 2,5 до 31,0 % (в среднем — 16,6 %);

— для трала РТ 80/396 м: по расстоянию между досками — от 0,1 до 13,5 % (в среднем — 3,7 %); по расстоянию между крыльями — от 1,4 до 12,8 % (в среднем — 3,5 %); по горизонтальному раскрытию в устье — от 0,1 до 19,1 % (в среднем — 6,5 %).

Наглядное представление о погрешности расчетов дает сравнение графических изображений геометрии траловой системы, полученных по математической модели на основе схемы Ф.И. Баранова [1969] с использованием экспериментальных и рассчитанных по аппроксимации (9) значений горизонтального раскрытия канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов. На рис. 10 показаны графические изображения геометрии траловой системы при следующих режимах траления:

— для трала РТ 57/360 м (рис. 10, а) — на глубине 129 м, с длиной ваеров 400 м и скоростью траления 4,0 уз;

— для трала РТ 80/396 м (рис. 10, б) — на глубине 126 м, с длиной ваеров 440 м и скоростью траления 4,1 уз.

Почти полное совпадение на графиках рис. 10 результатов расчета координат точек траловой системы, полученных с использованием экспериментальных (эксп) и аппроксимационных (аппр) данных, служит еще одним подтверждением адекватности математической модели, созданной на основе схемы Ф.И. Баранова [1969] с использованием данных экспериментального исследования формы канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов [Розенштейн и др., 2013; Савин, 2017].

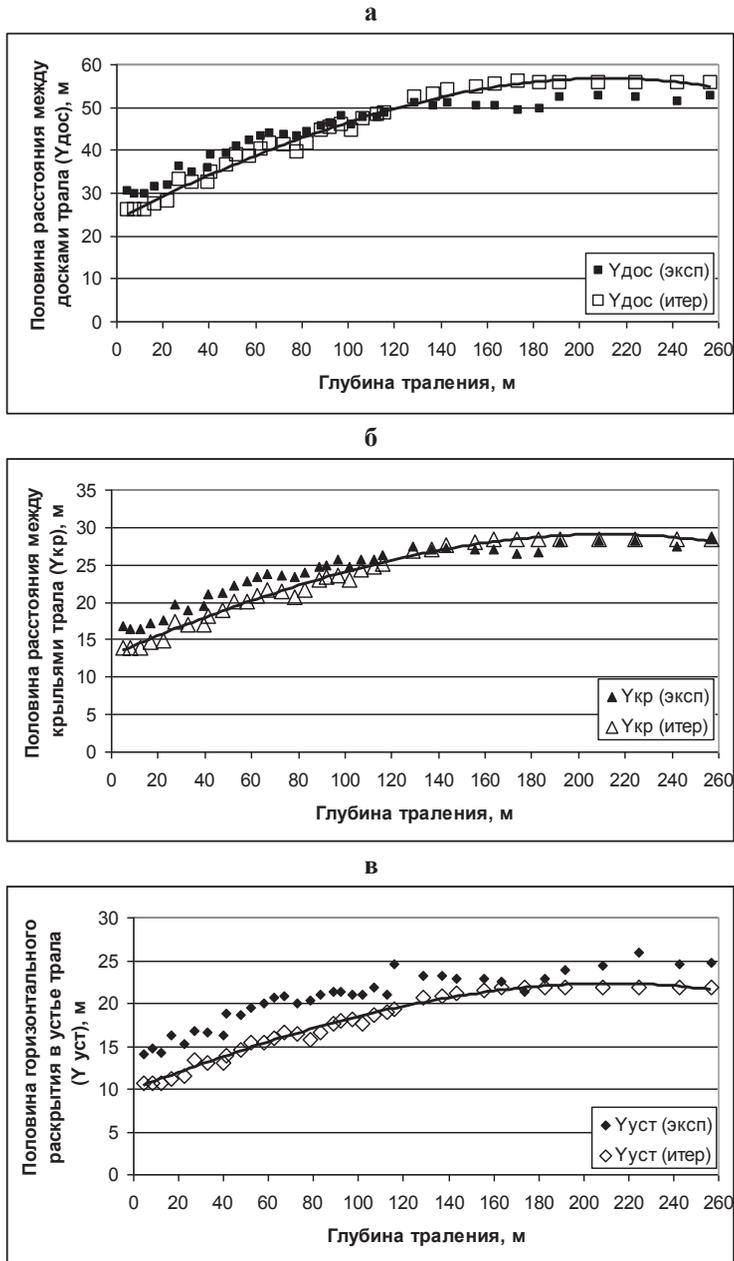


Рис. 8. Экспериментальные и рассчитанные по уравнению (3) значения рабочих параметров траловой системы для РТ 57/360 м: **а** — половина расстояния между досками; **б** — половина расстояния между крыльями; **в** — половина горизонтального раскрытия в устье

Fig. 8. Experimental and calculated using equation (3) operational parameters of trawl system for the trawl RT 57/360 m: **a** — half distance between doors; **б** — half distance between wings; **в** — half mouth opening

### Заклучение

Таким образом, на основе схемы Ф.И. Баранова нами разработана математическая модель для определения рабочих параметров разноглубинной траловой системы, отличающаяся тем, что в ней используются аппроксимирующие уравнения, полученные на основе экспериментальных данных о форме канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов. Апробирование математической модели в программе Microsoft®Office Excel с применением

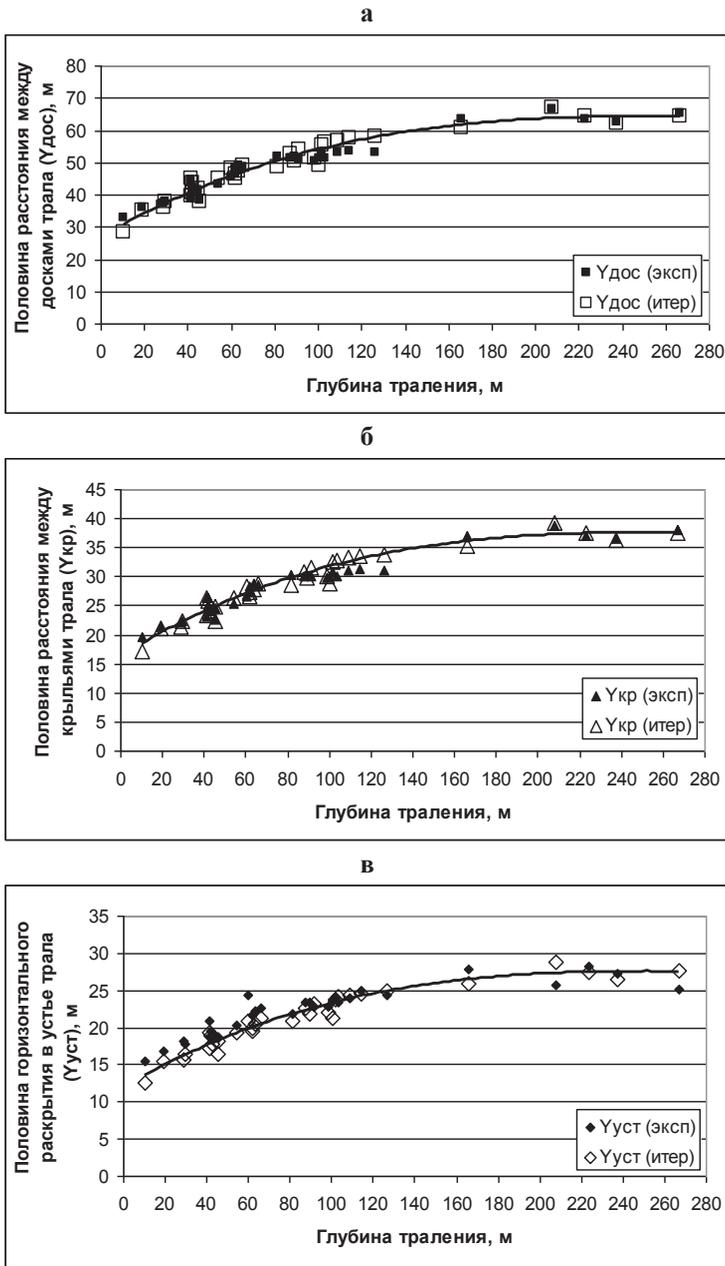


Рис. 9. Экспериментальные и рассчитанные по уравнению (3) значения рабочих параметров траловой системы для РТ 80/396 м: **а** — половина расстояния между досками; **б** — половина расстояния между крыльями; **в** — половина горизонтального раскрытия в устье

Fig. 9. Experimental and calculated using equation (3) operational parameters of trawl system for the trawl RT 80/396 m: **а** — half distance between doors; **б** — half distance between wings; **в** — half mouth opening

языка программирования Visual Basic (на примере разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м) выявило удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных по расстоянию между досками и горизонтальному раскрытию по крыльям и в устье тралов. Полученные результаты указывают на адекватность математической модели расчета рабочих параметров траловой системы, разработанной с учетом данных экспериментального исследования формы канатно-сетной части разноглубинных тралов.

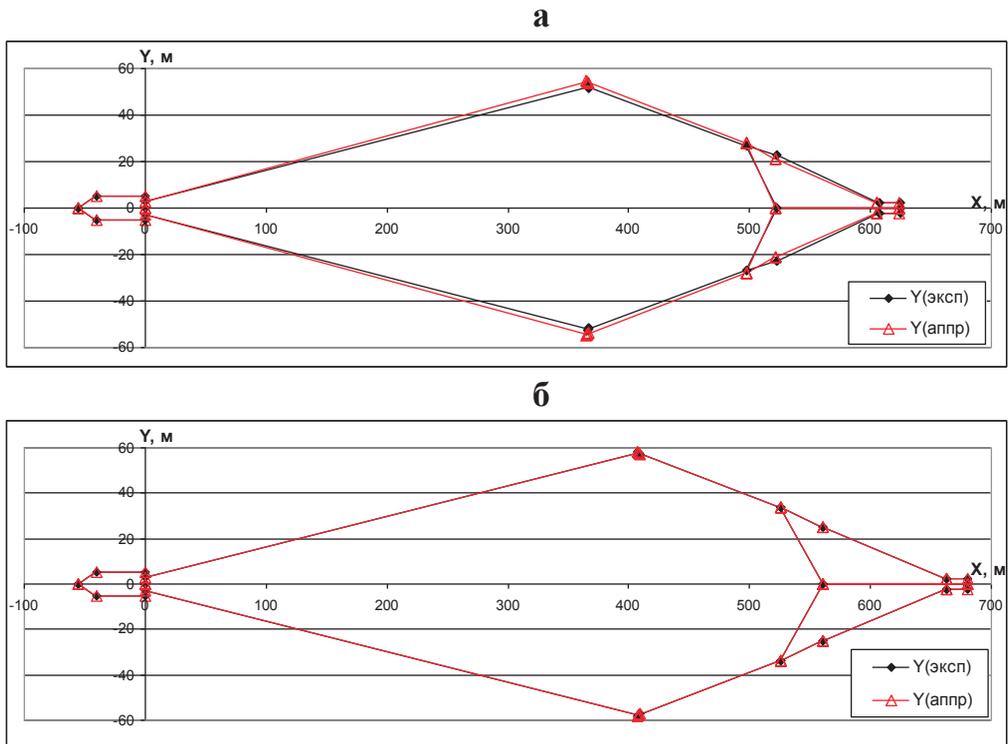


Рис. 10. Графические изображения геометрии траловой системы в проекции на плоскость XY: **а** — РТ 57/360 м; **б** — РТ 80/396 м

Fig. 10. Geometry of trawl system in projection on XY plane: **a** — RT 57/360 m; **b** — RT 80/396 m

### Благодарности

Авторы благодарны проф. М.А. Мизюркину за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

### Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

### Соблюдение этических стандартов

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов.

Авторы заявляют, что данный обзор литературы не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Информация о вкладе авторов

О.Н. Кручинин проанализировал экспериментальные данные о форме канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов, разработал математическую модель для определения рабочих параметров разноглубинной траловой системы и схему расчета в программе Microsoft®Office Excel.

Е.А. Захаров собрал, обработал и предоставил экспериментальные данные по параметрам разноглубинных тралов РТ 57/360 м и РТ 80/396 м, полученные на научно-исследовательских судах с помощью аппаратуры «Simrad FS 20/25» и «Scanmar».

Д.Л. Шабельский разработал алгоритм минимизации погрешности итераций и внедрил его в программу Microsoft®Office Excel с использованием языка программирования Visual Basic.

### Дополнительная информация

Экспериментальные данные, полученные при проведении учетных траловых съемок разноглубинными тралами РТ 57/360 м и РТ 80/396 м на НИС «Профессор Кагановский» и «ТИНРО» с 2012 по 2015 г., могут быть предоставлены авторами по запросу.

### Список литературы

- Атлас количественного распределения nekтона в северо-западной части Японского моря** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2004. — 988 с.
- Баранов Ф.И.** Вертикальное раскрытие трала // Рыб. хоз-во. — 1947. — № 2. — С. 25–28.
- Баранов Ф.И.** Избранные труды : В 4 т. — М. : Пищ. пром-сть, 1969. — Т. 1 : Техника промышленного рыболовства : моногр. — 720 с.
- Баранов Ф.И.** Техника промышленного рыболовства : моногр. — М. : Пищепромиздат, 1960. — 696 с.
- Бойцов А.Н., Астафьев С.Э.** Оснастка входного устья разноглубинного трала // Поведение рыб и орудия лова. — Владивосток : ТИНРО, 1983. — С. 27–32.
- Бойцов А.Н., Астафьев С.Э., Абалтусов С.М.** Пространственное положение траловой системы // Обоснование орудий промышленного рыболовства. — Владивосток : ТИНРО, 1985. — С. 43–47.
- Вдовин А.Н., Дударев Д.А.** Сравнительная оценка количественных учетов рыбной сырьевой базы Приморья // Вопр. рыб-ва. — 2000. — Т. 1, № 4. — С. 46–57.
- Волвенко И.В.** Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.
- Волвенко И.В.** Технические проблемы адекватной интерпретации результатов траловых съемок и пути их решения // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 282–293.
- Габрюк В.И.** Компьютерные технологии в промышленном рыболовстве : моногр. — М. : Колос, 1995. — 541 с.
- Габрюк В.И.** Параметры разноглубинных тралов : моногр. — М. : Агропромиздат, 1988. — 212 с.
- Габрюк В.И., Бойцов А.Н., Шевченко А.И.** Определение оптимальных параметров оснастки разноглубинного трала // Физические раздражители в технике рыболовства. — Владивосток : ТИНРО, 1982. — С. 102–111.
- Захаров Е.А., Емелин П.О.** Актуальность использования аппаратуры контроля орудий лова для снижения погрешности в оценке численности гидробионтов // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 186. — С. 198–206.
- Захаров Е.А., Кручинин О.Н.** Некоторые уточнения метода расчета параметров донной траловой системы // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 184. — С. 253–263.
- Захаров Е.А., Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Сафронов В.А.** Геометрические параметры донного трала 27,1/24,4 и возможные погрешности в оценке численности гидробионтов // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 284–292.
- Захаров Е.А., Кручинин О.Н., Шабельский Д.Л.** Разработка и апробирование алгоритма расчета рабочих параметров траловых систем // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 221–229. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-221-229.
- Кручинин О.Н., Волвенко И.В., Сафронов В.А.** Расчет геометрии донных тралов по их проектным характеристикам // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 241–255.
- Обвинцев А.Л., Люторевич В.М., Батров В.Г.** Исследование гидродинамических характеристик конусообразных сетей // Промышленное рыболовство. — Калининград : КГТУ, 2005. — С. 66–73.
- Розенштейн М.М.** Механика орудий рыболовства : учеб. — Калининград : КГТУ, 2000. — 363 с.
- Розенштейн М.М.** Расчет элементов глубоководной траловой системы : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1976. — 189 с.

**Розенштейн М.М., Савин М.В., Моисеев Д.Л.** О форме канатно-сетной части разноглубинного трала // Рыб. хоз-во. — 2013. — № 4. — С. 89–90.

**Савин М.В.** Методы расчета вертикального и горизонтального раскрытия разноглубинного трала : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Калининград : КГТУ, 2017. — 22 с.

**Сучков А.И.** Аналитическое определение оптимальных параметров оснастки, посадки и рациональной скорости буксировки тралообразных сетей : ОИ / ЦНИИТЭИРХ. — 1972. — Сер. 2, вып. 5. — 29 с.

**Фридман А.Л.** Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства : учеб. — 2-е изд., перераб и доп. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. — 328 с.

**Шевченко А.И., Бойцов А.Н.** Обоснование параметров устья разноглубинных тралов // Поведение рыб и орудия лова. — Владивосток : ТИНРО, 1983. — С. 12–16.

**Carrothers P.J.G.** Estimation of trawl door spread from wing spread // J. Northw. Atl. Fish. Sci. — 1980. — Vol. 1. — P. 81–89.

**Engås A. and Godø O.R.** Influence of trawl geometry and vertical distribution of fish on sampling with bottom trawl // J. Northw. Atl. Fish. Sci. — 1986. — Vol. 7. — P. 35–42.

**Gómez J.D. and Jiménez J.R.V.** Methods for the Theoretical Calculation of Wing and Door Spread of Bottom Trawls // J. Northw. Atl. Fish. Sci. — 1994. — Vol. 16. — P. 41–48.

**Volvenko I.V.** Problems in estimation of fish abundance by trawl sampling : NPAFC Doc. 506. — 2000. — 29 p.

## References

*Atlas kolichestvennogo raspredeleniya nektona v severo-zapadnoi chasti Yaponskogo morya* (Atlas of Nekton Species Quantitative Distribution in the North-Western Part of the Japan Sea), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., Eds., Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2004.

**Baranov, F.I.**, The vertical disclosure of the trawl, *Rybn. Khoz.*, 1947, no. 2, pp. 25–28.

**Baranov, F.I.**, Selected Works of T. 1. Technique of industrial fishing. Moscow: Food industry, 1969.

**Baranov, F.I.**, *Tekhnika promyshlennogo rybolovstva* (Industrial Fishing Techniques), Moscow: Pishchepromizdat, 1960.

**Boitsov, A.N. and Astaf'ev, S.E.**, Equipment of the midwater trawl mouth, in *Povedenie ryb i orudiya lova* (Behavior of Fish and Fishing Gears), Vladivostok: TINRO, 1983, pp. 27–32.

**Boytsov, A.N., Astafiev, S.E., and Abaltusov, S.M.**, The spatial position of the trawl system, in *Obosnovaniye orudiy promyshlennogo rybolovstva* (Justification of industrial fishing tools), Vladivostok: TINRO, 1985, pp. 43–47.

**Vdovin, A.N. and Dudarev, D.A.**, Comparative assessment of quantitative surveys of the fish raw material base of Primorye, *Vopr. Rybolov.*, 2000, vol. 1, no. 4, pp. 46–57.

**Volvenko, I.V.**, Problems in quantitative estimation of fish abundance by trawl sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 473–500.

**Volvenko, I.V.**, Technical problems of adequate interpretation the results of trawl surveys and ways to solve them, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 172, pp. 282–293.

**Gabryuk, V.I.**, *Komp'yuternyye tekhnologii v promyshlennom rybolovstve* (Computer technology in industrial fishing), Moscow: Kolos, 1995.

**Gabryuk, V.I.**, *Parametry raznoglubinnykh tralov* (Parameters of deep trawls), Moscow: Agropromizdat, 1988.

**Gabryuk, V.I., Boytsov, A.N., and Shevchenko, A.I.**, Determination of the optimal equipment parameters for a deep trawl, in *Fizicheskiye razdrzhiteli v tekhnike rybolovstva* (Physical irritants in the fishing technique), Vladivostok: TINRO, 1982, pp. 102–111.

**Zakharov, E.A. and Emelin, P.O.**, Relevance of using the equipment for control of fishing gear to reduce inaccuracy in evaluation of marine organisms abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 186, pp. 198–206.

**Zakharov, E.A. and Kruchinin, O.N.**, Some updates to the method for calculation of parameters of bottom trawl system, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 184, pp. 253–263.

**Zakharov, E.A., Kruchinin, O.N., Mizurkin, M.A., and Safronov, V.A.**, Geometric parameters of the bottom trawl 27.1/24.4, and its possible errors in assessment of number of marine organisms, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 174, pp. 284–292.

- Zakharov, E.A., Kruchinin, O.N., and Shabelsky, D.L.** Development and testing of algorithm for calculation of operating parameters of trawling systems, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 221–229. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-221-229
- Kruchinin, O.N., Volvenko, I.V., and Safronov, V.A.**, Calculation of the bottom trawls geometry by their design parameters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 241–255.
- Obvintsev, A.L., Lyutovovich, V.M., and Batrov, V.G.**, Investigation of the hydrodynamic characteristics of the cone-shaped networks, in *Promyshlennoye rybolovstvo* (Industrial fishing), Kaliningrad: KGTU, 2005, pp. 66–73.
- Rozenshtein, M.M.**, Mechanics of fishing gear. Kaliningrad: KSTU, 2000.
- Rosenstein, M.M.**, *Raschet elementov glubokovodnoy tralovoy sistemy* (Calculation of the elements of a deep-sea trawl system), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1976.
- Rosenstein, M.M., Savin, M.V., and Moiseev, D.L.**, On the form of cable-net parts of a mid-water trawl, *Rybn. Khoz.*, 2013, no. 4, pp. 89–90.
- Savin, M.V.**, Methods for calculating the vertical and horizontal disclosure of a deep trawl, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation*, Kaliningrad: KGTU, 2017.
- Suchkov, A.I.**, *Analiticheskoye opredeleniye optimal'nykh parametrov osnastki, posadki i ratsional'noy skorosti buksirovki traloobraznykh setey* (Analytical determination of the optimal parameters of rigging, landing and the rational speed of towing trawl networks), Moscow: TsNIITEIRKh, 1972, ser. 2, no. 5.
- Friedman, A.L.**, Theory and design of commercial fishing gear. Moscow, Light and Food Industry, 1981.
- Shevchenko, A.I. and Boitsov, A.N.**, Substantiation of the mouth of the midwater trawls, in *Povedenie ryb i orudiya lova* (Behavior of Fish and Fishing Gears), Vladivostok: TINRO, 1983, pp. 12–16.
- Carrothers, P.J.G.**, Estimation of trawl door spread from wing spread, *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 1980, vol. 1, pp. 81–89.
- Engås, A. and Godø, O.R.**, Influence of trawl geometry and vertical distribution of fish on sampling with bottom trawl, *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 1986, vol. 7, pp. 35–42.
- Gómez, J.D. and Jiménez, J.R.V.**, Methods for the Theoretical Calculation of Wing and Door Spread of Bottom Trawls, *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 1994, vol. 16, pp. 41–48.
- Volvenko, I.V.**, Problems in estimation of fish abundance by trawl sampling, *NPAFC Doc. 506*, 2000.

*Поступила в редакцию 8.11.2019 г.*

*После доработки 29.11.2019 г.*

*Принята к публикации 20.02.2020 г.*