

Научная статья

УДК 639.2.081.19

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2025-74-17

EDN: WCDLYV

## Сравнение результатов замеров усилия выборки тралового мешка с уловом на натурном судне с результатами, полученными на макете и с помощью зависимости

Николай Александрович Скуратов<sup>1</sup>, Анатолий Владимирович Суконнов<sup>2</sup>,  
Сергей Вячеславович Попов<sup>3</sup>, Татьяна Евгеньевна Суконнова<sup>4</sup>,  
Екатерина Евгеньевна Львова<sup>5</sup>

<sup>1, 3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»), Атлантический филиал («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

<sup>2, 4, 5</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup> skuratov@atlant.vniro.ru

<sup>2</sup> sukonova@mail.ru

<sup>3</sup> popov@atlant.vniro.ru

<sup>4</sup> tatyana.sukonnova@klgtu.ru

<sup>5</sup> ekaterina.lvova@klgtu.ru

**Аннотация.** Работа посвящена изучению физического процесса подъёма уловов на траулерах кормового траления слиповым методом. Как показывает практика, при работе слиповым методом возникают пиковые нагрузки, приводящие к аварийным ситуациям, которые в свою очередь угрожают здоровью членов экипажа и сказываются на качестве продукции и долговечности эксплуатации промысловых механизмов. Выполненные ранее исследования на макетной экспериментальной установке позволили получить зависимость усилия, возникающего в вытяжном конце вытяжной лебёдки, от различных факторов, характеризующих судовые конструкции и промысловую схему. С целью проверки адекватности полученной зависимости для выполнения расчётных действий по определению усилия выборки тралового мешка с уловом для натуральных траловых систем были выполнены морские испытания на научно-исследовательском судне СТМ «Атлантида». Результатами морских испытаний явились силовые динамограммы, описывающие изменение усилия, возникающего в вытяжном конце во время выборки траловых мешков. При сопоставлении расчётных значений усилия выборки, полученных по экспериментальной зависимости, и дополнительных экспериментальных работ на макетной установке, повторяющих условия, возникшие при замерах на СТМ «Атлантида», были уточнены масштабные коэффициенты и проведена проверка критериев подобия. Сопоставление результатов натуральных испытаний с результатами, полученными на макетной установке, и расчётными величинами, полученными с помощью зависимости, показало хорошую сходимость. Это позволяет рекомендовать к применению экспериментальную зависимость, полученную на макетной установке, для оценки расчётным путём усилия выборки траловых мешков на промысловых судах. Морская проверка подтвердила возможность исследования физического процесса подъёма трала с уловом на макетной установке, обеспечивающей реальные условия эксплуатации промысловых схем тралового лова.

**Ключевые слова:** промысловое оборудование, трал, улов, слип, модель, эксперимент, факторы, пиковые нагрузки

**Финансирование:** исследование выполнено в ФГБОУ ВО «КГТУ» в рамках выполнения государственного задания Росрыболовства по теме «Разработка беспроводной системы контроля параметров трала с элементами искусственного интеллекта «Автотрал».

**Для цитирования:** Скуратов Н. А., Суконнов А. В., Попов С. В., Суконнова Т. Е., Львова Е. Е. Сравнение результатов замеров усилия выборки тралового мешка с уловом на натурном судне с результатами, полученными на макете и с помощью зависимости // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 74, № 4. С. 164–171.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2025. Vol. 74, no. 4. P. 164–171.

## FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

### Original article

## Comparison of the results of measurements of the effort of haul of a trawl bag with a catch on a full-life vessel with the results obtained on a model and with the help of the dependence

**Nikolay A. Skuratov<sup>1</sup>, Anatoliy V. Sukonnov<sup>2</sup>, Sergey V. Popov<sup>3</sup>,  
Tatiana E. Sukonnova<sup>4</sup>, Ekaterina E. Lvova<sup>5</sup>**

<sup>1, 3</sup> Atlantic Branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("AtlantNIRO"), Kaliningrad, Russia

<sup>2, 4, 5</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> skuratov@atlant.vniro.ru

<sup>2</sup> sukonova@mail.ru

<sup>3</sup> popov@atlant.vniro.ru

<sup>4</sup> tatyana.sukonnova@klgtu.ru

<sup>5</sup> ekaterina.lvova@klgtu.ru

**Abstract.** This paper examines the physical process of hauling catches on stern trawler trawlers using the slipway method. Experience has shown that slipway operations can result in peak loads, leading to emergency situations that threaten crew health and impact product quality and the longevity of fishing machinery. Previous studies using a mock-up experimental setup allowed us to determine the relationship between the force generated in the haul-out end of the haul-out winch and various factors characterizing the vessel's design and fishing system. To validate the validity of this relationship for calculating the haul-out force of a trawl bag containing the catch, sea trials were conducted for full-scale trawl systems on the research vessel STM Atlantis. The results of these sea trials included force charts describing the change in the force generated in the haul-out end during haul-in of trawl bags. By comparing the calculated hauling force values obtained using the experimental relationship with additional experimental work on a mock-up rig replicating the conditions encountered during measurements on the Atlantis STM, the scaling factors were refined and similarity criteria were verified. Comparison of the full-scale test results with those obtained on the mock-up rig and the calculated values obtained using the relationship showed good convergence. This allows us to recommend the experimental relationship obtained on the mock-up rig for calculating the hauling force of trawl bags on fishing vessels. The sea trial confirmed the feasibility of studying the physical process of raising a trawl with a catch on a mock-up rig that simulates the actual operating conditions of commercial trawling schemes.

**Keywords:** fishing equipment, trawl, catch, slipway, model, experiment, factors, peak loads

**Funding:** the study was conducted at KSTU as part of a state assignment from the Federal Agency for Fisheries on "Development of a wireless trawl parameter monitoring system with artificial intelligence elements "Autotral".

**For citation:** Skuratov N. A., Sukonov A. V., Popov S. V., Sukonova T. E., Lvova E. E. Comparison of the results of measurements of the effort of haul of a trawl bag with a catch on a full-life vessel with the results obtained on a model and with the help of the dependence. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2025; 74(4): 164–171. (In Russ.).

### Актуальность темы исследования

Выполненные ранее исследования позволили получить зависимости усилия выборки траловых мешков от факторов, характеризующих систему судно–трал–промысловая машина. Для апробации и применения результатов исследований на практике провели исследования на натуральных траловых системах. Для проведения анализа и возможности дальнейшего применения зависимостей необходимо разработать методику определения усилия выборки траловых мешков с уловом по слипам судов для натуральных траловых систем. Результаты расчётов и экспериментальные данные, полученные во время промысла, необходимо проанализировать с целью проверки работоспособности зависимости и метода пересчёта и уточнения. Применение уточнённой зависимости позволит проводить оценку усилий, возникающих в вытяжных концах промысловых лебёдок, с целью выбора рационального режима работы промыслового комплекса, обеспечивающих безопасность выполнения промысловых операций, и исключить аварийные ситуации при работе с тралом.

### Проверка соответствия результатов макетных испытаний с натурными замерами

На НИС СТМ «Атлантида» были проведены НИР, связанные с замером усилия выборки траловых мешков с уловом с различным весом (табл. 1).

Таблица 1

#### Вес улова и усилия выборки для натурной траловой системы СТМ «Атлантида»

Table 1

#### Catch weight and hauling effort for the STM Atlantis full-scale trawl system

№ п/п	Вес натурального мешка, Н	Значение усилия выборки в районе слиповой канавки, Н
1	1376,67	1425,72
2	5797,71	6798,33
3	4179,06	4473,36
4	10555,56	10202,4
5	2893,95	2707,56

Для сопоставления усилий и весовых характеристик траловых мешков натурной траловой системы с макетными испытаниями значения были пересчитаны применительно к макетной установке с учётом силового масштабного коэффициента  $C_R$  (табл. 2).

С целью проведения сравнительного анализа и сопоставления натуральных и макетных данных был проведён переход к безразмерным величинам.

Среднее значение соотношения веса мешка с уловом к усилию выборки при прохождении мешком слиповой канавки на натурном судне было равно 0,97. То есть для вытягивания улова весом в одну тонну необходимо приложить усилие, равное 1040 кгс (10198,92 Н).

Таблица 2

**Расчётные значения веса улова и усилия выборки натурной траловой системы СТМ «Атлантида» применительно к макетной установке**

Table 2

**Estimated catch weight and hauling effort values for the full-scale STM Atlantis trawl system applied to the mock-up setup**

№ п/п	Вес натурного мешка в пересчёте на модель, Н	Значение усилия выборки в районе слиповой канавки в пересчёте на модель, Н	Соотношение веса мешка к усилию выборки
1	6,12	6,34	0,97
2	25,77	30,21	0,85
3	18,57	19,88	0,93
4	46,91	45,34	1,03
5	12,86	12,03	1,07
		Ср. знач.	0,97

При выполнении макетных испытаний в соответствии с масштабными коэффициентами были обеспечены значения влияющих факторов и условия эксплуатации натурной траловой системы судно–трал–промысловая машина для СТМ «Атлантида».

После проведения серии экспериментальных работ на макетной установке с учётом методов физического моделирования были получены значения усилия выборки и веса мешка (табл. 3).

Таблица 3

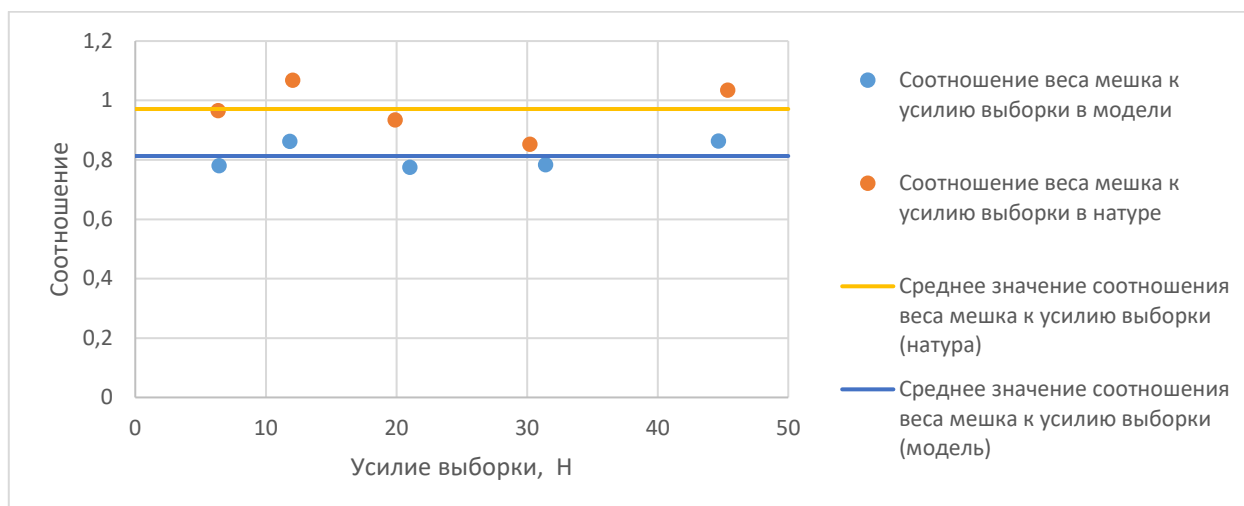
**Вес улова и усилия выборки для макетной установки**

Table 3

**Catch weight and hauling effort for the model setup**

№ п/п	Вес мешка модели, Н	Значение усилия выборки в районе слиповой канавки, Н	Соотношение веса мешка к усилию выборки
1	5,00	6,41	0,78
2	10,20	11,83	0,86
3	16,28	21,01	0,77
4	24,61	31,41	0,78
5	38,54	44,64	0,86
		Ср. знач.	0,81

Для проведения сравнительной оценки экспериментальных данных, полученных на макетной установке, с результатами испытаний на СТМ «Атлантида» были построены графические зависимости, представленные на рисунке.



Зависимость соотношения веса мешка к усилию выборки от усилия выборки. Составлено авторами  
Dependence of the ratio of bag weight to sampling effort on the sampling effort. Compiled by the authors

Анализ полученной зависимости позволяет сделать следующие выводы:

- характер изменения усилий для натурального судна и на макетной установке идентичен;
- отклонение результатов макетных испытаний от промысловых составляет в среднем 19 %;
- отклонение полученного расчётным путём по экспериментальной зависимости (для прямого слипа) от натурального усилия составляет 3 % для соответствующих соотношений усилия выборки к весу улова (составил 0,94);
- изменение соотношения усилия выборки к весу мешка при изменении веса улова колеблется в незначительных пределах.

### Проверка соответствия результатов расчётов усилия выборки по зависимости с натурными замерами

С целью проведения проверки работоспособности зависимости, полученной на первом этапе исследований, применительно к данным, полученным на СТМ «Атлантида», воспользовались зависимостью (1) и формулами пересчёта.

$$T = 19,85 + 4,59x_1 + 2,09x_2 - 1,63x_3 + 0,42x_1x_2 - 0,79x_1x_3 - 0,01x_2x_3 + 0,15x_1x_2x_3, \quad (1)$$

где  $T$  – усилие выборки тралового мешка, Н;  $x_1, x_2, x_3$  – значения заполнения мешка, угла наклона слипа и выхода вытяжного конца соответственно, записанные в кодированном виде (кодированные значения факторов ( $x_1, x_2, x_3$ ) изменяются от -1 до +1, что соответствует минимуму и максимуму).

После нахождения расчётного значения усилия  $R_p$  вычисляем отклонение расчётных величин от экспериментальных (модельных) по формуле (2):

$$\Delta = \left(1 - \frac{R_p}{R_M}\right) 100 \%, \quad (2)$$

где  $R_p$  – значение усилия выборки, полученное с помощью зависимости (1), Н;  $R_M$  – значение усилия, полученное в результате натуральных замеров и пересчитанное с помощью масштабного коэффициента  $C_R$  на макетную установку, Н.

Результаты расчётов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная оценка результатов макетных и расчётных значений (1)

Table 4

Comparative evaluation of the results of model and calculated values (1)

№ п/п	Значение усилия выборки в районе слиповой канавки в пересчёте на модель, Н	Расчётное значение усилия выборки в районе слиповой канавки, Н	Отклонение расчётных величин от экспериментальных, %
1	6,34	8,08	21
2	30,21	34,14	11
3	19,88	24,60	19
4	45,34	62,17	27
5	12,03	17,02	29
		Ср. знач.	21

Анализ приведённых данных на рисунке и в табл. 4 показал, что при равном усилии выборки отклонение значения веса мешка на макете от природы составляет 19,5 %, что говорит о завышенном усилии выборки на макетной установке. Сравнительный анализ результатов, полученных с помощью зависимости, также превышает результаты натуральных замеров на 20 %. Данное обстоятельство обусловлено объектом, находящимся в траловом мешке натурального судна.

Таким образом, действительный масштаб коэффициента трения  $C_{\mu d}$  находится по формуле

$$C_{\mu d} = 0,8C_{\mu} = 0,8.$$

Уточнённый силовой масштабный коэффициент определяется по формуле

$$C_{Rd} = C_v C_{\mu d} C_l = 0,067 * 0,8 * 0,067 = 0,0036.$$

**Проверка соответствия масштабов подобия критериям подобия, уточнение масштабных коэффициентов**

Проверим работоспособность метода и проведённых исследований, воспользовавшись критерием Струхаля:

$$Sh \rightarrow \frac{C_v C_t}{C_l} = \frac{0,067 * 1}{0,067} = 1$$

и критерием подобия теории трения:

$$\Pi^{wi} \rightarrow \frac{C_v C_{\mu} C_l^2}{C_l C_{Rd}} = \frac{0,067 * 0,8 * 0,0045}{0,067 * 0,0036} = 1,00.$$

Для простоты применения зависимости (1) были получены уточнённые масштабные коэффициенты, позволяющие проводить макетные испытания и пересчёт (табл. 5).

Таблица 5

## Уточнённые значения масштабных коэффициентов

Table 5

## Refined values of scale factors

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб $C_l$	Расчётные значения масштабов
Физические характеристики	Обозначение		
Длина	$C_l$	$C_l$	0,0667
Площадь	$C_A$	$C_l^2$	0,0044
Объём	$C_V$	$C_l^3$	0,0003
Вес	$C_m$	$C_l^2$	0,0044
Время	$C_t$	1	1
Скорость	$C_v$	$C_l$	0,0667
Сила	$C_R$	$C_l^2 C_\mu$	0,0037
Ускорение	$C_W$	$C_l$	0,0667
Плотность	$C_\rho$	1	1
Угол	$C_a$	1	1
Коэффициент трения	$C_\mu$	1	1
Коэффициент трения, с учётом объекта	$C_{\mu d}$	$08C_\mu$	0,8

Применение уточнённой таблицы масштабных коэффициентов позволяет проводить перерасчёт результатов макетных испытаний на натуре, учитывая поправку коэффициента трения, при проектировании промысловых схем и выборе промысловых комплексов, а также позволяет получить результат без применения, поправочного коэффициента.

### Заключение

Предложенная методика определения усилия выборки траловых мешков с уловом по слипам судов апробирована на макетной установке, и результаты её подтверждены на натуральных траловых системах: она позволяет проводить выбор рационального режима работы промыслового комплекса за счёт обеспечения безопасности выполнения промысловых операций и исключить аварийные ситуации при работе с тралом. В целом макетная установка воспроизводит процесс выборки и характер изменения усилий для натурального судна. Отклонение результатов макетных испытаний от натуральных составляет в среднем 19 %, что обусловлено коэффициентом трения. В связи с этим при расчёте значения усилия выборки по экспериментальной зависимости для натурной траловой системы необходимо воспользоваться поправочным коэффициентом равным 0,8.

### Список источников

1. Долин Г. М. Планирование экспериментов в промышленном рыболовстве : учеб. пособие. Калининград : Изд-во КГТУ, 1996. 119 с.
2. Скуратов Н. А., Львова Е. Е., Суконнов А. В., Суконнова Т. Е. Исследование процесса подъёма траловых мешков по слипам судов на модельной установке // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 4, ч. 1. С. 26–32.

3. Скуратов Н. А., Суконнов А. В., Суконнова Т. Е., Львова Е. Е. Морские испытания по проверке результатов макетных исследований по определению усилия выборки траловых мешков по слипам судов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 69, № 3. С. 196–206.

4. Скуратов, Н. А. Сравнение результатов испытаний по определению усилия выборки траловых мешков по слипам судов с данными натурных замеров / Н. А. Скуратов, А. В. Суконнов, Т. Е. Суконнова, Е. Е. Львова // XII Междунар. Балтийский морской форум, 30 сентября – 4 октября 2024 года [Электронный ресурс]: в 6 т.: материалы XII нац. науч. конф. с междунар. участием. Калининград : Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. Т. 2. Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии. С. 271–275.

5. Недоступ А. А. Ражев А. О. Критерии мультифизического подобия тралового комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4, т. 1. С. 237–242.

### Сведения об авторах

Н. А. Скуратов – инженер группы промышленного рыболовства.

А. В. Суконнов – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства.

С. В. Попов – начальник отдела морских экспедиций.

Т. Е. Суконнова – доцент кафедры промышленного рыболовства.

Е. Е. Львова – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства.

### Information about the authors

N. A. Skuratov – Engineer, Industrial Fisheries Group.

A. V. Sukonnov – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries.

S. V. Popov – PhD in Engineering Sciences, Head of the Marine Expeditions Department.

T. E. Sukonnova – Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries.

E. E. Lvova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries.

Статья поступила в редакцию 14.11.2025; одобрена после рецензирования 27.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

The article was submitted 14.11.2025; approved after reviewing 27.11.2025; accepted for publication 02.12.2025.