Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 89–95.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 89–95.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 639.2.081.1; 66.012, 621.337.1, 550.34.01, 004.032.26

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-08

Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы

Александр Алексеевич Недоступ [1], Алексей Олегович Ражев [2]

[1,2] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

[1] nedostup@klgtu.ru

[2] progacpp@live.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследований процессов моделирования канатных разноглубинных тралов в специализированном отечественном программном продукте (САПР-ОР) и в гидроканале «Фишеринг Сервис» (г. Калининград). Верификация процесса траления модели разноглубинного трала N-MWT-m1 3,3/12,0 м, проведенная на экспериментальной установке, позволит с точностью не менее 90 % применять компьютерные технологии, используемые в САПР-ОР. Производительность траловой системы зависит от мощности траловой системы, которая в свою очередь зависит от мощности главного двигателя судна и тем самым от расхода топлива. Важным, дальнейшим этапом исследований является определение возможностей снижения потребления энергии главного двигателя, его экономичности, а также снижения углеродного следа.

Ключевые слова: моделирование, траловые конструкции, модели, траловая система, гидроканал, эксперименты

Финансирование: исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов».

Для цитирования: Недоступ А.А., Ражев А.О. Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 88–95.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-08

© Недоступ А.А., Ражев А.О., 2024

Software for determination of physical and mechanical properties of synthetic fishing materials

Aleksandr A. Nedostup [1], Alexey O. Razhev [2]

[1,2] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

[1] nedostup@klgtu.ru

[2] progacpp@live.ru

Abstract. The article presents the results of research on the processes of modeling midwater rope trawls of different depths in a specialized Russian software product (CAD-FG) and in the Fishering Service flume tank (Kaliningrad). Verification of the trawling process of the N-MWT-m1 3.3/12.0 m midwater trawl model, carried out at an experimental installation, will allow for the application of computer technologies used in CAD-FG with an accuracy of at least 90 %. The performance of the trawl system depends on the power of the trawl system, which in turn depends on the power of the main engine of the vessel and thus on fuel consumption. An important further stage of research is to determine the possibilities of reducing the energy consumption of the main engine, its efficiency, as well as reducing the carbon footprint.

Keywords: modeling, trawl structures, models, trawl system, hydraulic channel, experiments

Funding: the study was carried out as part of the state assignment on the topic «Development of physical, mathematical and predictive models for the operation of bottom and mid-water trawl systems».

For citation: Nedostup A.A., Razhev A.O. Software for determination of physical and mechanical properties of synthetic fishing materials. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):88–95. (in Russ.).

Введение

Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы необходимо выполнять на стадии проектирования, это сопряжено с большими трудностями, а именно: наличие экспериментальной установки, позволяющей проводить необходимые опыты, причем с учетом минимизации масштабного эффекта при создании конструкции траловой системы [1]. Инженерная конструкция, которая в процессе траления меняет форму, изображена на рис. 1.

В настоящее время программных продуктов, которые используются при проектировании орудий промышленного рыболовства, достаточно большое количество (рис. 2).

Главной составляющей всех ПО (рис. 2) является модуль гетерогенных и параллельных вычислений. Это сопряжено с множеством операций, которые необходимо произвести при расчете гидродинамических характеристик траловой формоизменяемой конструкции [1]. При этом нужно понимать, что при любой итерации (операции расчета) вносятся ошибки, которые учесть можно только проводя соответствующие эксперименты на физических моделях. Но проблема расчета натурных орудий промышленного рыболовства остается актуальной, так как верификация возможна только с учетом экспериментальных исследований на опытных образцах, которые в десятки и сотни раз меньше.

В этом случае прибегают к теории подобия, которая справляется с данными проблемами и позволяет получить точный результат при условии известных масштабных эффектов. Такая теория выведена в КГТУ [2].

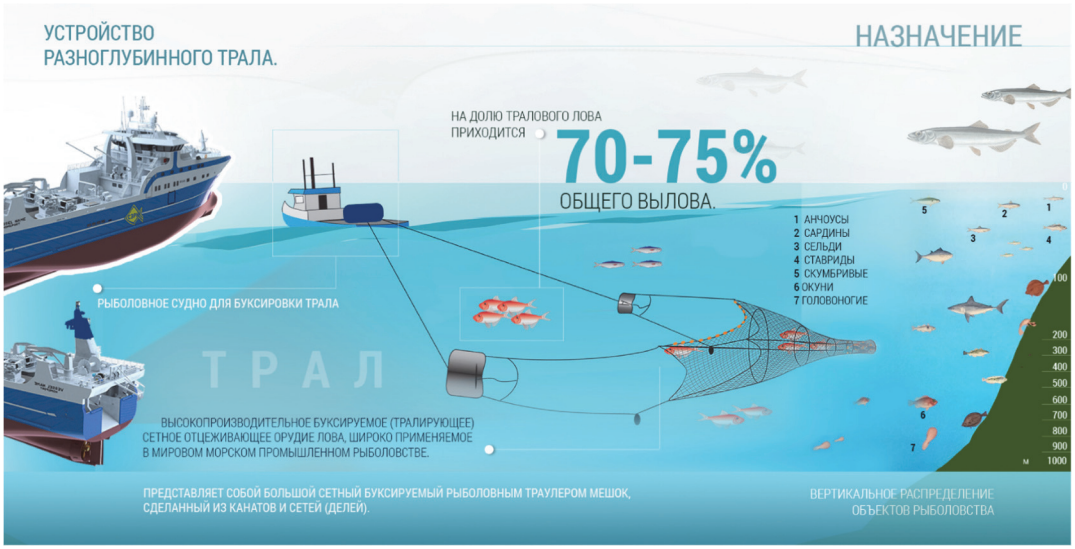

Рис. 1. Разноглубинный траловый комплекс
Fig. 1. Midwater trawl complex

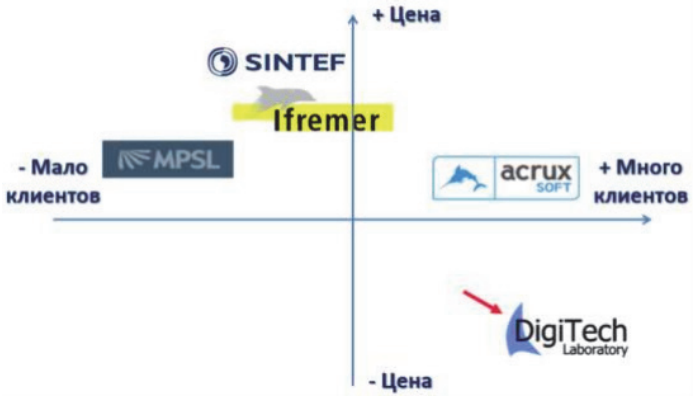

Рис. 2. Программные продукты
Fig. 2. Software products

Цель и задачи

С точки зрения описания механики траловые системы представляют собой набор канатно-веревочных и ниточных элементов (более миллиона), поэтому предпочтительней выполнять расчет с помощью метода точечных масс [3]. На рис. 3 изображен разноглубинный трал. Траловые системы в процессе облова скоплений гидробионтов изменяют свою форму, так, в ООО «Фишеринг Сервис» «Супер Шквал 2600». Рассчитать такой трал с достаточной и необходимой точностью по элементам сложно и долго, а в некоторых случаях при большом количестве элементов невозможно из-за большой ошибки, которая накапливается при итерациях.

Целью исследования является верификация компьютерного моделирования канатно-сетной конструкции траловой системы с учетом физического моделирования.

Впервые Недоступом А.А. было доказано, что для физического моделирования технических систем должно соблюдаться условие [2]

$$\mathrm{H} = mw^2 = idem\,, \qquad (1)$$

где H – производительность сил; m – масса системы; w – ускорение системы.

Рис. 3. Супер Шквал 2600
Fig. 3. Super Squall 2600

Выражение (1) свидетельствует о том, что производительность сил модели трала и его натуры по числовому значению одинаковые и имеют размерность Вт/с. Процесс физического моделирования траловых конструкций выполняется с учетом (1), при этом сложности возникают при выполнении критерия Фруда, так как нельзя смоделировать ускорение свободного падения g, оно всегда на поверхности Земли равно g=9,78÷9,82 Н/м^2. Для тралового лова силы веса в воде не влияют на процесс траления так, как гидродинамические силы, создаваемые канатно-сетной частью трала и его оснастки с траловыми досками. Экспериментальные исследования на моделях трала подтвердили эти заключения, что в свою очередь добавило оптимизма для дальнейшей разработки и применения теории подобия [3].

Опытные данные на моделях разноглубинных тралов позволили получить аппроксимирующие зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления траловой оболочки, а также зависимости раскрытия устья трала от приложенных сил оснастки, что позволило выделить в явном виде данные о сопротивлении тралов.

Для разработки САПР последовала задача в систематизации, анализе и синтезе большого объема данных, полученных с различных физических экспериментов, что привело к необходимости разработки компьютерной программы, способной численно рассчитывать канатно-сетную часть траловой системы. Причем расчет физико-механических характеристик нужно производить с учетом чертежа канатно-сетной части трала. Компьютерная программа предназначена для САПР тралов [4].

Материалы и методы исследований

С целью получения точной системы вычислений геометрических и силовых характеристик траловой системы была разработана САПР-ОР [5]. Программа позволяет создавать чертежи разноглубинных тралов и моделировать процесс траления (рис. 4).

На рис. 5 изображены проекции траловой системы. Цвет канатно-сетных элементов отображает силу натяжения в элементе.

Верификация полученных результатов проводилась в гидроканале (рис. 6).

На рис. 7 изображена приборная база для проведения экспериментов в гидроканале «Фишеринг Сервис».

Проведенные эксперименты позволили получить необходимые и достоверные данные по сопротивлению траловой системы, раскрытию устья трала, а также форме канатных связей и ячей по всей оболочке разноглубинного трала с учетом съячейки и шворки. Точность расчетов силовых и геометрических характеристик модели разноглубинного трала N-MWT-m1 3,3/12,0 м составила не менее 90 %.

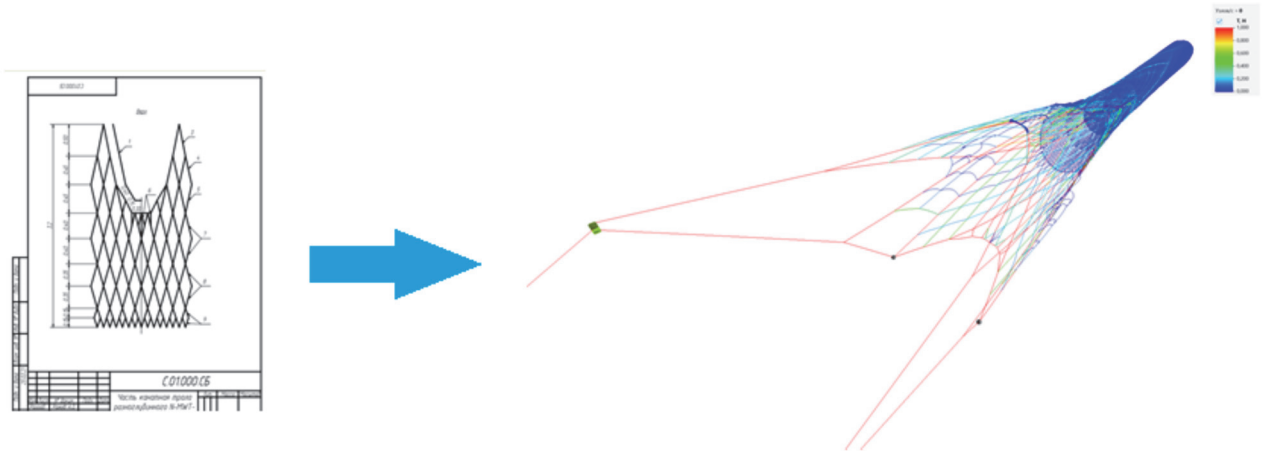

Рис. 4. Компьютерное моделирование траловой системы
Fig. 4. Computer simulation of the trawl system

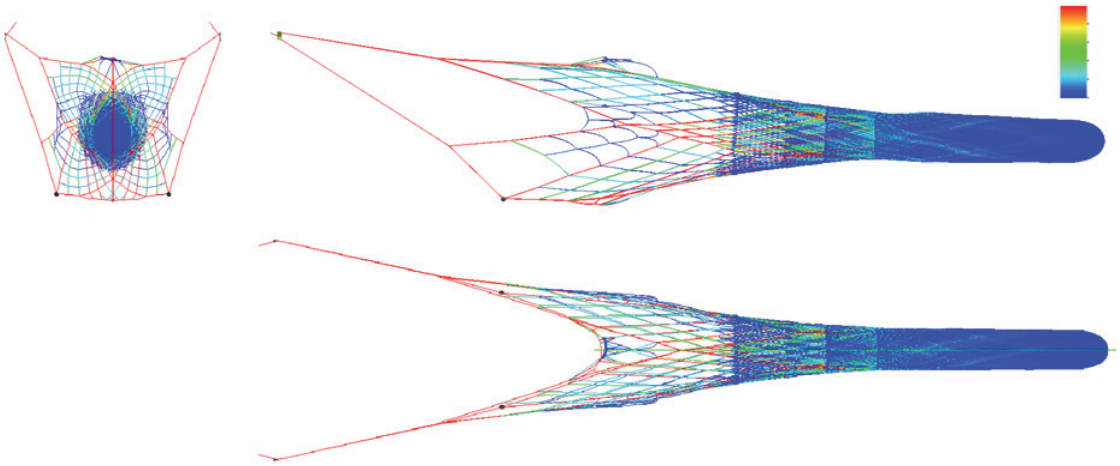

Рис. 5. Проекции траловой системы
Fig. 5. Projections of the trawl system

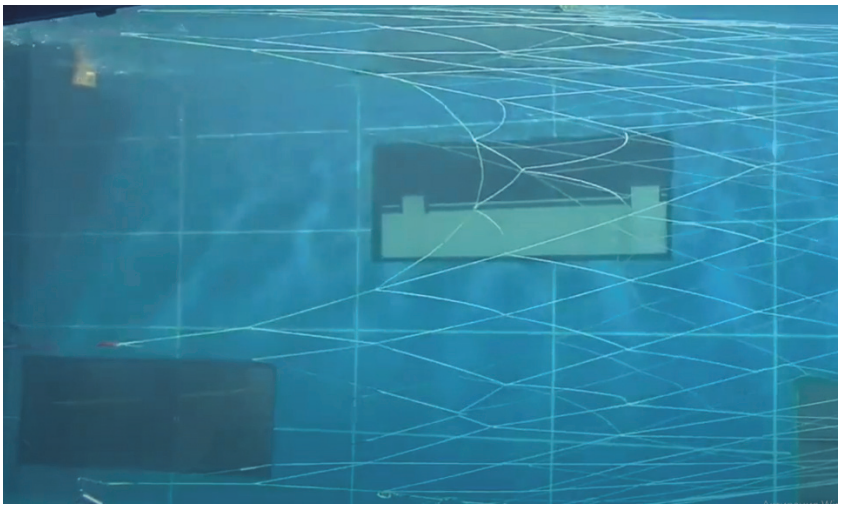

Рис. 6. Эксперименты с тралом в гидроканале
Fig. 6. Experiments with trawl in flume tank

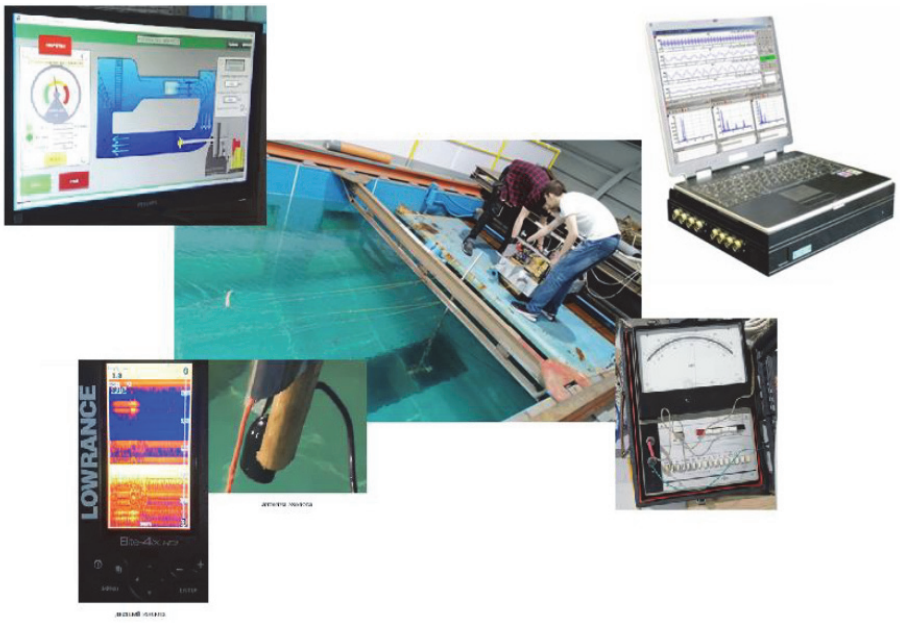

Рис. 7. Приборная база для проведения экспериментов в гидроканале
Fig. 7. Instrumentation base for conducting experiments in flume tank

Результаты и их обсуждение

Физическое и компьютерное моделирование траловых конструкций должны дополнять друг друга. Это касается в первую очередь аппроксимации нелинейных зависимостей с точки зрения наличия коэффициентов сопротивления канатов, веревок и ниток, а также их физико-механических свойств. Важным средством для верификации результатов компьютерного моделирования является верификация полученных данных с помощью мультифизических моделей траловых систем. Повышение точности сопряжено с большими трудностями в применении методов расчета и аппроксимации нелинейных зависимостей. Возможности учета нелинейности и учета всевозможных ошибок, которые накапливаются в процессе итерационных расчетов, целесообразно проводить параллельно с вычислением потоков воды вокруг трала и его элементов, а также полей давлений с применением уравнения Навье-Стокса и уравнения неразрывности.

Заключение

Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы дополняют друг друга. При физическом моделировании накапливается опыт проведения экспериментов, минимизируется ошибка постановки и проведения исследований, ведется поиск новых приборов, которые способны получить те или иные данные траловых систем. Так, к примеру, целесообразным является применение в опытах с траловыми системами измерительных комплексов, которые способны получить данные о полях скоростей и давлений вблизи канатно-сетных элементов траловых конструкций. Что является необходимым для процесса верификации математического моделирования всей траловой системы.

Список источников

1. Недоступ А.А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. Томск. 2012. №. 3(19). С. 55–67.

2. Недоступ А.А., Ражев А.О. Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 1. С. 132–137.

3. Недоступ А.А., Ражев А.О., Коротков В.К. Моделирование композитных сетных конструкций методом точечных масс при динамической постановке задачи // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4-4(42). С. 254–258.

4. Недоступ А.А., Ражев А.О. Модуль САПР тралов «Моделирование характеристик разноглубинного трала (заданы безразмерные параметры)»: материалы XI Междунар. Балтийского морского форума 25 сентября – 30 сентября 2023 года «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», XI Национальная научная конференция с международным участием. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. С. 253–259.

5. Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства (САПР-ОР). URL: https://digitechlab.ru (дата обращения: 02.03.2024).

References

1. Nedostup A.A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskih processov dvizhenija orudij rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of movement of fishing gear]. Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics. Tomsk. 2012. No. 3(19). pp. 55–67.

2. Nedostup A.A., Razhev A.O. Sozdanie pravil mul'tifizicheskogo podobija tralovogo kompleksa [Creation of rules for the multiphysical similarity of a trawl complex]. Marine intelligent technologies. 2021. Vol. 1, No.1. pp. 132–137.

3. Nedostup A.A., Razhev A.O., Korotkov V.K. Modelirovanie kompozitnyh setnyh konstrukcij metodom tochechnyh mass pri dinamicheskoj postanovke zadachi [Modeling of composite mesh structures by the method of point masses in the dynamic formulation of the problem]. Marine intelligent technologies. 2018. No. 4–4(42). pp. 254–258.

4. Nedostup A.A., Razhev A.O. Modul' SAPR tralov "Modelirovanie harakteristik raznoglubinnogo trala (zadany bezrazmernye parametry)" [The CAD module of trawls "Modeling the characteristics of a multi-depth trawl (dimensionless parameters are set)"]. Proceedings of the XI International Baltic Maritime Forum September 25 – September 30, 2023 "Marine engineering and Technology. Safety of the marine industry", XI National Scientific Conference with international participation. Kaliningrad: Publishing house of BGARF FGBOU VO "KSTU", 2023. pp. 253–259.

5. System of computer-aided design of industrial fishing gear (CAD-FG). URL: https://digitechlab.ru (access date: 03.02.2024).

Сведения об авторах

А.А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства, SPIN-код: 7035-5279, AuthorID: 393895;

А.О. Ражев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, SPIN-код: 4535-5888, AuthorID: 723215.

Information about the authors

A.A. Nedostup – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Commercial Fisheries, SPIN-code: 7035-5279, AuthorID: 393895;

A.O. Razhev – PhD in Engineering Sciences, Leading Researcher, SPIN-code: 4535-5888, AuthorID: 723215.

Статья поступила в редакцию 06.03.2024; одобрена после рецензирования 11.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 06.03.2024; approved after reviewing 11.03.2024; accepted for publication 20.03.2024.