

УДК 629.1

DOI: 10.37890/jwt.vi77.417

## **Повышение энергоэффективности рыбопромыслового судна за счет оценивания параметров движения буксируемого объекта**

**А.В. Ивановская<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-3548-9083*

**В.А. Жуков<sup>2</sup>**

*ORCID: 0000-0002-4045-4504*

**А.Н. Ивановский<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-5012-1439*

<sup>1</sup>*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Оптимальный режим буксировки орудия лова оказывает непосредственное влияние на энергоэффективность рыбопромыслового судна. Для построения совмещенных тяговых характеристик судна и траловых систем необходимы данные о номинальных моментах на барабане лебедки и двигателя, а также тяговое усилие в ваере. Оценивание параметров движения буксируемого объекта позволит производить выборку ваеров без перегрузок траловой лебедки и главного двигателя. В работе предложена структурная схема алгоритма оценивания параметров движения траловой системы. Обработка текущих замеров натяжения ваера в режиме реального времени осуществляется методами цифровой обработки сигналов на основе построенного оптимального линейного фильтра, с помощью которого будет получено натяжение на лебедке без учета шумов, возникающих как в результате работы оборудования, так и под воздействием случайной природы самого процесса натяжения ваера и внешних гидрометеорологических факторов. Оценивание и прогнозирование динамических параметров необходимо для разработки автоматизированной системы управления судовой лебедки, независимо от ее назначения. Поэтому результаты, представленные в данной работе, могут использоваться при решении задач автоматизации грузоподъемного оборудования, работающего в условиях нестационарности.

**Ключевые слова:** траловая лебедка, переменность нагружения, алгоритм оценивания параметров движения, оптимальный линейный фильтр.

## **Increasing the energy efficiency of a fishing vessel by estimating the motion parameters of a towed object**

**Aleksandra V. Ivanovskaya<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-3548-9083*

**Vladimir A. Zhukov<sup>2</sup>**

*ORCID: 0000-0002-4045-4504*

**Aleksei N. Ivanovskii<sup>1</sup>**

*ORCID: 0000-0002-5012-1439*

<sup>1</sup>*Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia*

<sup>2</sup>*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia*

**Abstract.** The optimal mode of towing fishing gear has a direct impact on the energy efficiency of the fishing vessel. To build the combined traction characteristics of the vessel and trawl systems, data are needed on the nominal moments on the winch and engine drum, as well as the traction force in the warp. Estimation of the movement parameters of the towed object will make it possible to haul warps without overloading the trawl winch and the main engine. The paper proposes a block diagram of the algorithm for estimating the motion parameters of a trawl system. Processing of the current measurements of the warp tension in real time is carried out by digital signal processing methods based on the constructed optimal linear filter, which will be used to obtain the tension on the winch without taking into account the noise that occurs both as a result of the operation of the equipment and under the influence of the random nature of the warp tension process itself. and external hydrometeorological factors. Estimation and prediction of dynamic parameters is necessary for the development of an automated control system for a ship's winch, regardless of its purpose. Therefore, the results presented in this paper can be used in solving problems of automation of lifting equipment operating in non-stationary conditions.

**Keywords:** trawl winch, load variability, algorithm for estimating motion parameters, optimal linear filter

### Введение

При ведении промысла гидробионтов задачей главных и вспомогательных двигателей рыбопромыслового судна является обеспечение безостановочного движения судна и бесперебойной работы лебедок и другого вспомогательного промыслового оборудования. Безостановочное движение судна необходимо при буксировке трала, обеспечивая при этом успешность промысла. Грузоподъемное оборудование таких судов является одним из главных потребителей энергии, вырабатываемой судовыми вспомогательными дизелями. Проводимый анализ работы главных и вспомогательных двигателей свидетельствует об их высокой нагрузке во время промысла, и, следовательно, значительном уровне вредных выбросов с отработавшими газами. Кроме того, на энергоэффективность рыбопромыслового судна большое влияние оказывают и параметры буксируемого объекта – трала. Такие параметры являются нестационарными, изменяющимися во времени. Отсюда, их оценивание с целью автоматизации процесса добычи гидробионтов является актуальной задачей, вызванной запросом практики. Т.е. основными направлениями в повышении энергоэффективности рыбопромыслового судна является снижение расхода топлива главным и вспомогательными двигателями за счет выбора оптимального режима работы, а также оценивание, прогнозирование и управление движением буксируемого объекта [1-4].

**Целью** работы является исследование методов оценки параметров движения буксируемого объекта рыбопромыслового судна на примере тралового лова.

### Материалы и методы

Управление движения буксируемого объекта, а при траловом лове это трал осуществляется траловой лебедкой, которую при исследовании целесообразно рассматривать как динамическую систему, совершающую движения во времени  $t$  [5-6].

На рисунке 1 представлена блок-схема общей модели лебедки. Система, обозначаемая  $\Sigma$ , характеризуется набором переменных состояния  $x(t)$ . Входные переменные  $u(t)$  представляют собой управляемое или неуправляемое воздействие среды системы на систему, такие как: положение буксируемого объекта  $R(t)$ , натяжение ваера  $T(t)$  и масса буксируемого объекта  $M(t)$ . Выходные переменные  $y(t)$

представляют наблюдаемые или измеряемые параметры системы, на которые и оказывается управляющее воздействие.

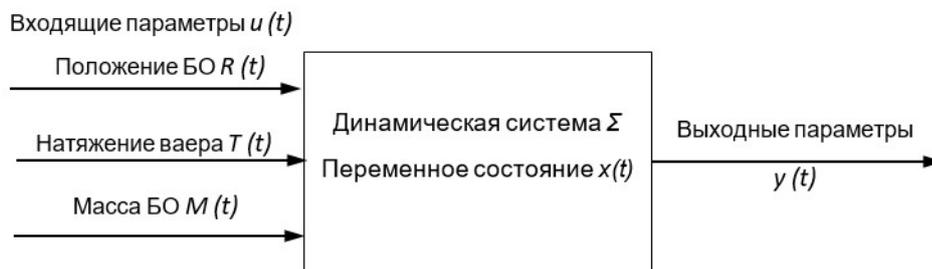


Рис. 1. Общая динамическая модель управления лебедки

Процесс управления такой динамической системы следует проводить по следующим направлениям:

- на основе входных данных  $u(t)$  и текущего состояния  $x(t)$ , а также модели системы  $\Sigma$ , проводится анализ возможного поведения системы  $y(t)$ , именуемый «симуляцией» или «прогнозированием»;
- проводится оценка состояния с учетом системы с временными параметрами  $u(t)$  и  $y(t)$ , путем поиска  $x$ , который непротиворечив с  $\Sigma$ ;  $u$ ;  $y$ , представляя собой процесс «мониторинга»;
- осуществляется планирование или проектирование системы такое, что  $u(t)$ , действующее  $\Sigma$  будет обеспечивать необходимые параметры  $y(t)$ , для заданного состояния  $u(t)$ , т.е. позволяя создавать различные физические прототипы для синтеза предпочтительной системы;
- осуществляется идентификация системы, при которой заданные временные характеристики  $u(t)$  и  $y(t)$ , обычно получаемые из экспериментальных данных, определяют модель и значения ее параметров, которые согласуются с множеством наборов данных  $u$  и  $y$ ;
- проводится контрольный синтез путем поиска состояния исходного состояния  $u(t)$ , обеспечивающего состояние  $y(t)$  с текущим состоянием  $x(t)$ .

Рассмотрим входящие параметры исследуемой динамической модели управления. С помощью современных датчиков возможно определение следующих величин: натяжение ваера  $T(t)$ , масса буксируемого объекта  $M(t)$  и положение буксируемого объекта  $R(t)$ . И, если, натяжение ваера возможно получить прямым измерением с помощью различных силоизмерительных комплексов, то вот положение и масса буксируемого объекта является комплексной характеристикой [7-8]. Для измерения составляющих их параметров в настоящее время разработаны различные системы контроля. Одной из них является беспроводная система контроля параметров траловой системы Trawlmaster.

Так, масса буксируемого объекта представляет собой массу трала, которая известна для каждого трала, и массу улова, определяемую датчиком улова, который позволяет контролировать процесс наполнения трала рыбой.

В состав комплексного понятия «положение буксируемого объекта» входят:

- длина ваера, также показывая необходимость корректировки длин ваеров при разных углах для исключения перекоса трала под воздействием подводных течений;

- глубина хода траловых досок определяем расстояние трала до поверхности воды, позволяя регулировать положение трала относительно объектов лова;
- расстояние от верхней подборы трала до грунта осуществляется цифровым эхолотом, обеспечивая возможность поднятия и опускания верхней подборы в зависимости от целей лова и его условий, и, в случае значительного отрыва трала от грунта свидетельствует о слишком высокой скорости траления;
- горизонтальное раскрытие трала, определяемое по расстоянию между траловыми досками, позволяет значительно сэкономить топлива за счет выбора скорости траления, информирует о перекосе ваеров, опрокидывании или застревании траловых досок, попадании в трал камней или иного мусора, что существенно влияет на гидродинамическое сопротивление со стороны трала на судно;
- угол крена траловой доски показывает угол крена и угол дифферента, контроль оптимального раскрытия которого гарантирует экономию топлива при тралении, указывая излишнюю выборку ваера, если началось опрокидывание доски и касание траловых досок дна.

### Результаты исследования

Рассмотрим алгоритм оценивания параметров движения трала. Так, в процессе движения буксируемого объекта (трала) в дискретные моменты времени  $t_i$  с временным темпом  $dt$  измерительный комплекс (ИК), в состав которого входят различные датчики, измеряет положение объекта по следующим критериям:

$L^*$  – длина ваера;

$A^*$  – глубина хода траловых досок (расстояние от трала до поверхности воды);

$B^*$  – расстояние верхней подборы трала до грунта;

$C^*$  – горизонтальное раскрытие трала;

$D^*$  – угол крена траловой доски (угол крена – угол дифферента).

Система координат трала (СКТ) имеет начало координат в точке стояния системы координат лебедки (СКЛ).

Тогда модель измерений определяется в виде зависимостей

$$\begin{aligned}
 L^*(t_i) &= L(t_i) + \tau_r \xi_L(t_i), \\
 A^*(t_i) &= A(t_i) + \tau_r \xi_A(t_i), \\
 B^*(t_i) &= B(t_i) + \tau_r \xi_B(t_i), \\
 C^*(t_i) &= C(t_i) + \tau_r \xi_C(t_i), \\
 D^*(t_i) &= D(t_i) + \tau_e \xi_D(t_i),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $L(t_i)$ ,  $A(t_i)$ ,  $B(t_i)$ ,  $C(t_i)$  и  $D(t_i)$  – истинные координаты трала в момент времени измерения положения объекта;  $\xi_L(t_i)$ ,  $\xi_A(t_i)$ ,  $\xi_B(t_i)$ ,  $\xi_C(t_i)$  и  $\xi_D(t_i)$  – дискретные, взаимно некоррелированные стандартные белые шумы ошибок измерений;  $\tau_r$  и  $\tau_e$  – среднеквадратические значения ошибок измерений [9].

Задачу синтеза алгоритма оценивания параметров движения трала следует решать при следующих условиях:

- по измерениям, получаемых с датчиков, оцениваются параметры движения трала в СКТ;
- алгоритм оценивания состоит из независимых алгоритмов оценивания параметров движения по расстоянию и угловому положению;

- оценки параметров движения трала и их дисперсионных матриц ошибок определяются в СКТ;
- прогнозирование параметров движения на один временной такт осуществляется в СКЛ;
- оценки спрогнозированных параметров движения объекта в СКТ определяются путем перерасчета их СКЛ в СКТ.

На рисунке 2 представлена структурная схема алгоритма.

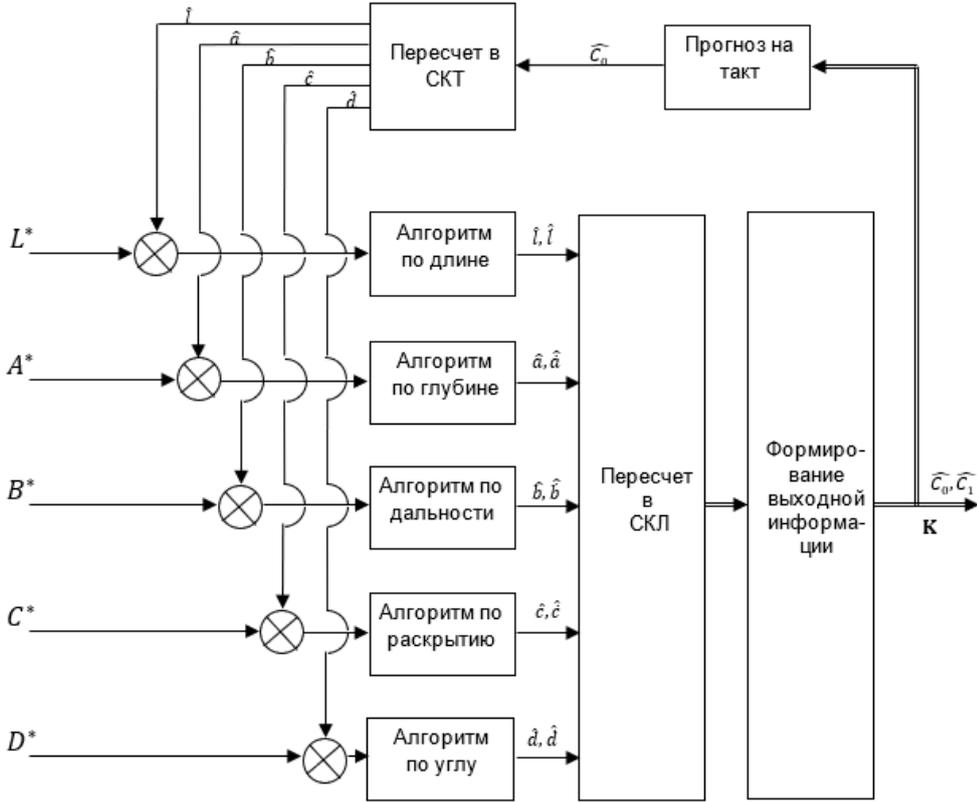


Рис. 2. Структурная схема алгоритма

Для реализации и анализа точности синтезированного алгоритма оценивания параметров движения трала необходимо разработать статистическую модель.

Для получения оценки величины силы натяжения, получаемой с датчиков, предлагается обработка информации на основе синтезированного оптимального фильтра [10].

Пусть  $T(t_i)$  – значение натяжения в текущий момент времени;  $T^*(t_i)$  – замер;  $\xi(t_i)$  – суммарное отклонение(шум), которое представляет собой различного рода возмущения, возникающие под действием гидрометеорологических факторов. С учетом принятых обозначений, искомую величину натяжения представим в виде

$$T(t_i) = T^*(t_i) - \xi(t_i). \tag{2}$$

Тогда синтезированный линейный фильтр будет иметь вид

$$\hat{T}(t_i + 1) = \hat{T}(t_i) + P(t_i) (Y^*(t_i) - \hat{T}(t_i)), \tag{3}$$

где  $\hat{T}(t_i)$ ,  $\hat{T}(t_i + 1)$  – оценка значения натяжения в текущий и следующий момент времени;  $Y^*(t_i) - \hat{T}(t_i) = \tau$  – невязка;  $Y^*(t_i)$  – наблюдаемый случайный процесс;  $Y^*(t_i) - \hat{T}(t_i) = \tau$  – невязка;  $P(t_i)$  – вес невязки.

$$P(t_i + 1) = \frac{K(t_i)}{K(t_i) + \tau^2} \quad (4)$$

$$K(t_i + 1) = K(t_i) - P(t_i + 1)K(t_i), \quad (5)$$

где  $K(t_i)$  – дисперсионная матрица ошибки. На рисунке 3 представлен пример обработки замеров с датчиков натяжения линейным фильтром.



Рис. 3. Обработка замеров с датчиков натяжения троса

Видно, что применение линейного фильтра позволяет значительно снизить влияние шумов на результаты измерений, позволяя построить более эффективную модель управления лебедкой.

### Заключение

Предлагаемая концепция построения автоматизированной системы управления судовой лебедкой на основе оценивания и прогнозирования его параметров позволит оптимизировать процесс буксировки орудия лова, уменьшить экономические потери и повысить энергоэффективность судна. Полученные результаты могут быть предложены для использования при решении задач автоматизации подобного рода грузоподъемного оборудования, работающего в условиях нестационарности.

### Список литературы

1. Карпенко В. П. Механизация и автоматизация процессов промышленного рыболовства: учебное пособие / В.П. Карпенко, С.С. Торбан. – М.: Агропромиздат, 1990. – 464 с.
2. Те А. М. Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств / А. М. Те. — Л., 2014. — 86 с.
3. Башуров Б. П. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов: учебное пособие / Б. П. Башуров, А.Н. Скиба, В.С. Чебанов. – Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. – 192 с.

4. Антипов В. В. Математическое обеспечение и аппаратная реализация задач управления комплексом «рыбопромысловое судно–орудия лова» / В. В. Антипов, В. Ю. Бобрович, В. К. Болховитинов, А. А. Болисов // Морской вестник. — 2011. — № 4 (40). — С. 45–49.
5. Нино В. П. Диагностика технических средств на рыбопромысловых судах в процессе их эксплуатации / В. П. Нино // Рыбное хозяйство. — 2014. — № 4. — С. 113–115.
6. Ханычев В. В. Информационно-аналитическое обеспечение процессов импортозамещения и локализации судового комплектующего оборудования / В. В. Ханычев, Д. О. Стоянов, Ш. Г. Петросян // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. — 2019. — № 2 (19). — С. 10–15.
7. Ivanovskaya A. Basic principles of mathematical modeling of operating modes of deck equipment for fish-ing vessels / A. Ivanovskaya, V. Zhukov // Transportation Research Procedia, Volume 54, 2021, Pp 104-110. DOI:10.1016/j.trpro.2021.02.053.
8. Ивановская, А. В. Принципы моделирования привода судового грузоподъемного оборудования / А. В. Ивановская // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2023. – № 1. – С. 65-72. – DOI 10.26296/2619-0605.2023.1.1.005.
9. Виноградов В. Н. Корреляционная теория фильтрации и управления многомерными случайными процессами: Линейная корреляционная теория фильтрации и управления / В.Н. Виноградов. – М.: КРАСАНД, 2012. – 320 С.
10. Черный, С. Г. Применение теории линейной фильтрации для обработки данных (на примере определения осадки морского судна) / С. Г. Черный, А. Н. Ивановский // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2021. – № 11. – С. 23-26. – DOI 10.36535/0548-0027-2021-11-3.

#### References

1. Karpenko, V.P., Torban, S.S. Mechanization and automation of industrial fishery processes. M.: Ag-ropromizdat, 1990.
2. Те, А. М. Eksploatatsiya sudovykh vspomogatel'nykh mekhanizmov, sistem i ustroystv. L., 2014.
3. Bashurov, B. P., A. N. Skiba, and V.S. Chebanov. Funktsional'naya nadezhnost' i kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh vspomogatel'nykh mekhanizmov: uchebnoe posobie. Novorossiisk: MGA imeni ad-mirala F. F. Ushakova, 2009.
4. Antipov, V. V., V. Yu. Bobrovich, V.K. Bolkhovitinov, and A. A. Bolisov. "Matematicheskoe obespechenie i apparatnaya realizatsiya zadach upravleniya kompleksom «rybopromyslovoe sudno–orudiya lova»." Morskoi vestnik 4(40) (2011): 45–49.
5. Nino, V.P. "Diagnostics of fishery vessels' technical facilities during exploitation." Rybnoe khozyaistvo 4 (2014): 113–115.
6. Khanychev, V. V., D. O. Stoyanov, and Sh.G. Petrosyan. "Informatsionno-analiticheskoe obespechenie protsessov importozameshcheniya i lokalizatsii sudovogo komplektuyushchego oborudovaniya." Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radioelektronnogo oborudovaniya 2(19) (2019): 10–15.
7. Ivanovskaya, A., Zhukov, V. "Basic principles of mathematical modeling of operating modes of deck equipment for fishing vessels" Transportation Research Procedia, 54 (2021): 104-110. DOI:10.1016/j.trpro.2021.02.053.
8. Ivanovskaya, A. V. "Principles of modeling the drive of ship lifting equipment" Bulletin of the Kerch State Marine Technological University 1 (2023): 65-72.
9. Vinogradov V. N., Correlation Theory of Filtration and Control of Multidimensional Random Processes: Linear Correlation Theory of Filtration and Control / V.N. Vinogradov. – М.: КРАСАНД, 2012. – 320 p.
10. Cherny, S. G. Application of the theory of linear filtration for data processing (on the example of determining the draft of a sea vessel) / S. G. Cherny, A. N. Ivanovsky // Scientific and technical information. Series 2: Information Processes and Systems. - 2021. - No. 11. - p. 23-26. – DOI 10.36535/0548-0027-2021-11-3.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Ивановская Александра Витальевна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, invkerch@yandex.ru

**Жуков Владимир Анатольевич** – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой судостроения и энергетических установок Института водного транспорта ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», zhukov\_vla@mail.ru

**Ивановский Алексей Николаевич** – ассистент кафедры судовождения и промышленного рыболовства «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, aleksei.ivanovskii@yandex.ru

**Aleksandra V. Ivanovskaya** — PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Department of of marine power plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: invkerch@yandex.ru

**Vladimir A. Zhukov** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Russia, Saint-Petersburg, Dvinskaya st., 5/7, va\_zhukov@rambler.ru

**Aleksei N. Ivanovskii**, professor assistant of Department of Navigation and Industrial Fishing, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: aleksei.ivanovskii@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.06.2023; опубликована онлайн 20.12.2023.  
Received 10.06.2023; published online 20.12.2023.