

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКЦИИ АВТОПИЛОТА ПО ПОКАЗАНИЯМ УСТРОЙСТВ МОНИТОРИНГА ПРИ ТРАЛЕНИИ

А. А. Недоступ, А. О. Ражев (Калининград)

Траловый лов является одним из эффективных средств добычи гидробионтов. На его долю приходится 70% мирового улова. Траловые суда (траулера) оснащены приборами контроля работы орудий лова. На данный момент траловым флотом освоены все районы мирового океана. Промысел ведется на большом удалении от берега в основном разноглубинными тралами (сельдь, скумбрия, ставрида, сардина, сардинелла).

В условиях тралового промысла необходимо обеспечивать как наибольшую эффективность, так и уменьшать пагубное влияние на экологию, что требует автоматизации процессов лова.

Для решения поставленных задач необходимо правильно определять и соблюдать траекторию движения трала. Для управления движением трала по заранее заданной траектории в режимах автопилота необходимо применять математические модели, подобные тем, которые используются в тренажерных комплексах [1]. Математическая модель [2-7] должна оценивать как стационарные, так и переходные процессы, протекающие на траловых досках и других элементах траловой системы.

Из-за невозможности заранее учесть все внешние факторы и непредвиденные ситуации, для точного соблюдения заранее заданных условий траления в реальных условиях необходима периодическая коррекция параметров математической модели данными, полученными от датчиков положения элементов траловой системы таких, как датчики положения траловых досок и других зондирующих устройств [8,9].

В математической модели траловой системы [2] можно выделить семь основных корректирующих параметров:

$$\mathbf{p}_A = [p_{A,1}, p_{A,2}, \dots, p_{A,7}]^T, \quad (1)$$

где $p_{A,1}$ – параметр коррекции гидродинамических коэффициентов траловых досок; $p_{A,2}$ – параметр коррекции веса траловых досок; $p_{A,3}$ – параметр коррекции гидродинамической силы сети трала; $p_{A,4}$ – параметр коррекции веса нижних крыльев; $p_{A,5}$ – параметр коррекции длин ваеров; $p_{A,6}$ – параметр коррекции направления движения траулера; $p_{A,7}$ – параметр коррекции силы тяги траулера.

Коррекция гидродинамических коэффициентов осуществляется по линейному закону:

$$\mathbf{c} = p_{A,1} \bar{\mathbf{c}}, \quad (2)$$

где \mathbf{c} – скорректированный вектор гидродинамических коэффициентов; $\bar{\mathbf{c}}$ – вектор гидродинамических коэффициентов, вычисленный по математической модели.

Коррекция величин по параметрам $p_{A,2}$ - $p_{A,5}$ осуществляется аналогично (2).
Коррекция по параметрам $p_{A,6}$ - $p_{A,7}$ осуществляется по зависимостям:

$$\begin{aligned} \psi &= \psi^0 + k_\psi (p_{A,6} - 1) \\ T &= T^0 + k_T (p_{A,7} - 1) \end{aligned} \quad (3)$$

где

ψ, T – скорректированные направление и сила тяги траулера;

ψ^0, T^0 – направление и сила тяги траулера, вычисленные по математической модели;

k_ψ, k_T – постоянные величины.

Корректирующие параметры обновляются на каждой итерации алгоритма коррекции с учетом значений корректирующих величин, взятых с датчиков положения. Запишем итерационную формулу алгоритма при начальных $\mathbf{p}_A^{[0]}=[1,1,1,1,1,1]$:

$$\mathbf{p}_A^{[k+1]} = \mathbf{p}_A^{[k]} + \mathbf{J}^{[k]} \mathbf{K}^{[k]} (\boldsymbol{\varepsilon}^{[k]})^T, \quad (4)$$

где

$[k]$ – номер текущего шага итерации;

$[k+1]$ – номер следующего шага итерации;

\mathbf{J} – матрица взаимного влияния параметров;

\mathbf{K} – матрица весовых коэффициентов; $\boldsymbol{\varepsilon}$ – вектор отклонений.

Вектор отклонений вычисляется как разность между значениями, полученными при помощи математической модели и значениями, полученным с датчиков положения:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = [\Delta \mathbf{r}_S, \Delta \mathbf{s}, \Delta \mathbf{r}_N, \Delta \mathbf{r}_Q, \Delta \mathbf{r}_R], \quad (5)$$

$$\Delta \mathbf{s} = \mathbf{s}^{(A)} - \mathbf{s}^{(m)}$$

$$\Delta \mathbf{r}_S = \mathbf{r}_S^{(A)} - \mathbf{r}_S^{(m)}$$

$$\Delta \mathbf{r}_N = \mathbf{r}_N^{(A)} - \mathbf{r}_N^{(m)} - \Delta \mathbf{r}_S, \quad (6)$$

$$\Delta \mathbf{r}_Q = \mathbf{r}_Q^{(A)} - \mathbf{r}_Q^{(m)} - \Delta \mathbf{r}_S$$

$$\Delta \mathbf{r}_R = \mathbf{r}_R^{(A)} - \mathbf{r}_R^{(m)} - \Delta \mathbf{r}_S$$

$$\mathbf{s} = \mathbf{r}_S^{[k]} - \mathbf{r}_S^{[k-1]}, \quad (7)$$

где \mathbf{s} – смещение траулера за последнюю итерацию; $\mathbf{r}_S, \mathbf{r}_N, \mathbf{r}_Q, \mathbf{r}_R$ – положение траулера, левой и правой траловой доски, и траловой сети соответственно (см. рис. 1).

В (6) в круглых скобках обозначены: (A) – значения, полученные по математической модели; (m) – значения, измеренные датчиками.

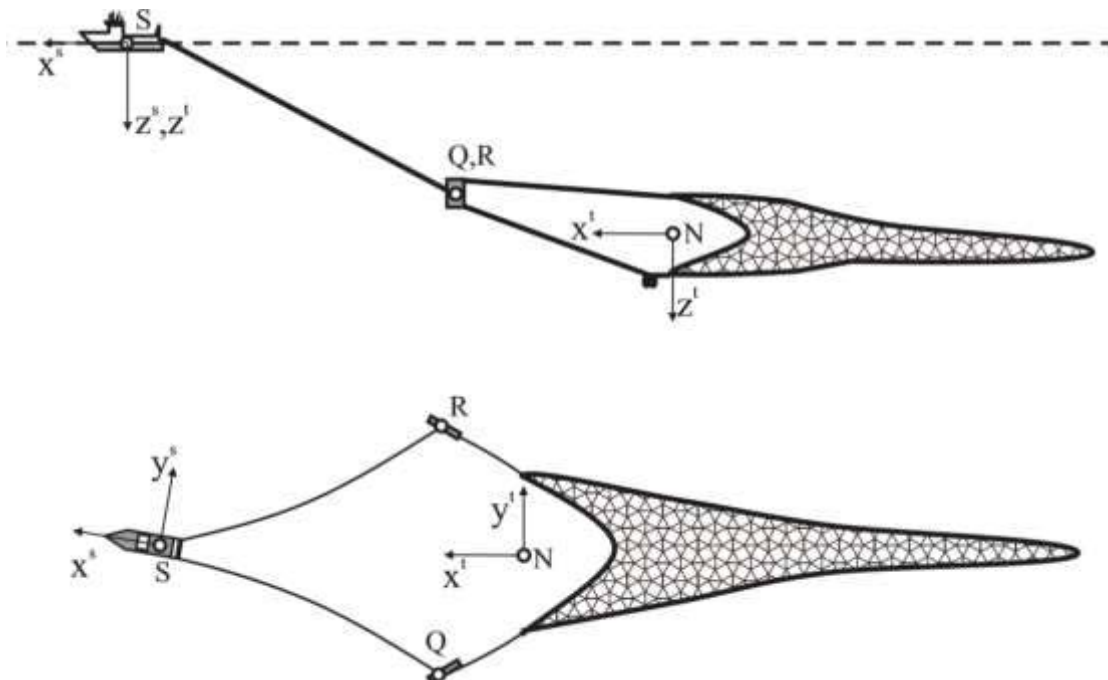


Рис. 1. Траловая система

Матрица взаимного влияния параметров \mathbf{J} определяет влияние каждого из параметров на другие параметры коррекции:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Например, если для корректировки положения траулера увеличить тягу, то для сохранения глубины траления целесообразно также увеличить вес траловой доски и уменьшить силу гидродинамического сопротивления сети трала.

Матрица весовых коэффициентов строится исходя из ожидаемой точности измерений и временного шага алгоритма коррекции:

$$\mathbf{K} = \frac{1}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}} \mathbf{I}$$

$$\Delta X = \frac{1}{N_r} \sum_{i=N_r/2+1}^{N_r} x_i - \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r/2} x_i, \quad (9)$$

$$\Delta Y = \frac{1}{N_r} \sum_{i=N_r/2+1}^{N_r} y_i - \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r/2} y_i$$

где ΔX , ΔY – усредненное расстояние, пройденное с момента последней коррекции в северном и восточном направлении соответственно; \mathbf{I} – единичная матрица размерностью 15×15 ; x_i , y_i – координаты траулера по данным GPS на i -ом замере; N_r – четное количество замеров.

На рисунке 2 отображена траектория движения сети трала (точка N на рис. 1). На рисунке 3 изображен график зависимости глубины погружения трала от времени траления.

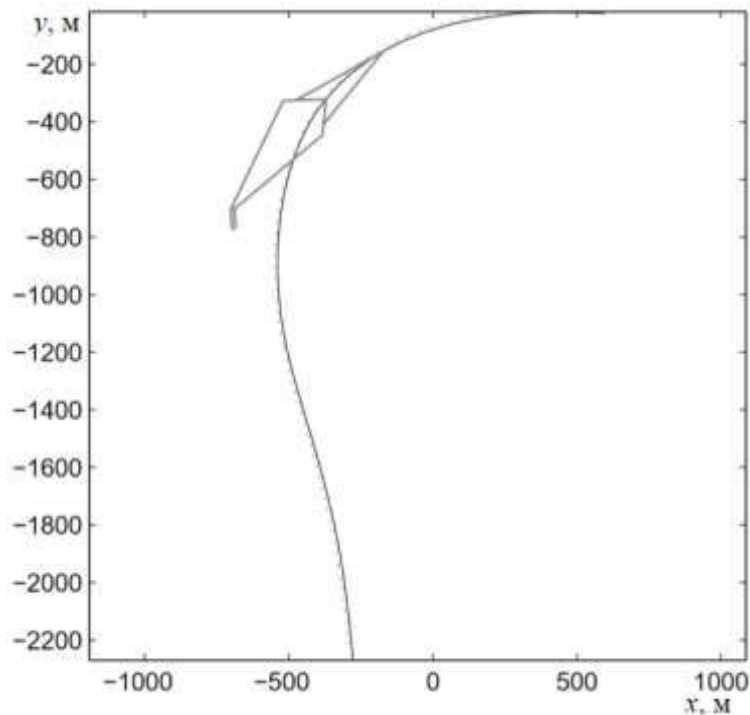


Рис. 2. Траектория движения трала

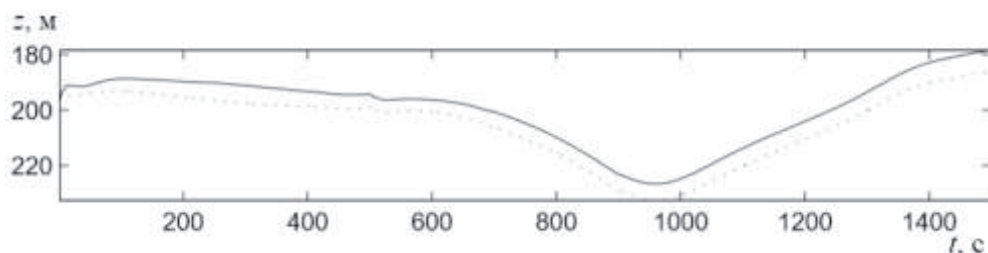


Рис. 3. Зависимость глубины погружения от времени траления

Сплошной линией обозначена реальная траектория движения при управлении с помощью математической модели с коррекцией основных параметров обратной связью от датчиков положения элементов траловой системы. Пунктирной линией обозначена требуемая траектория движения, подаваемая на вход математической модели. Данные эксперимента взяты из [2].

Как видно из рис. 2 и 3 заданная и реальная траектории движения трала отличаются незначительно. Погрешность глубины траления не превышает 5 метров.

В статье предложен алгоритм коррекции при автоматическом управлении траловой системой при помощи математической модели по семи параметрам с использованием информации от датчиков положения ее элементов, который можно использовать в реальных условиях промысла.

Литература

1. **Волкогон В.А., Недоступ А.А., Ражев А.О., Кострикова Н.А., Поляков Р.К., Кузин В.И.** Обоснование создания тренажерного комплекса по проектированию и моделированию траловых систем. Морские интеллектуальные технологии. №4(38) Т.2. 2017. С.177-185.
2. **Karl-Johan Reite.** Modeling and control of trawl systems. NTNU.Trondheim,2006.238s.
3. **Недоступ А.А., Ражев А.О.** Численное моделирование динамики траловых систем // Сборник материалов Материалы I Национальной заочной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности РФ» Владивосток, Дальрыбвтуз, 2017. С. 75-80.
4. **Nedostup A.A., Razhev A.O.** Mathematical modeling of the trawl doors / 13th International workshop - Methods for the Development and Evaluation of Maritime Technologies DEMAT 2017. V.10. 2017. Japan. Sapporo. P. 13-18.
5. **Nedostup A.A., Razhev A.O.** Statement of the problem of dynamic similarity of the trawl system // Вестник Астраханского ГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2017, № 4. С. 61-68.
6. **Недоступ А.А., Ражев А.О.** Применение неявных конечно-разностных схем в задачах моделирования динамики траловых систем. Морские интеллектуальные технологии. №4(38) Т.2. 2017. С. 202-206.
7. **Недоступ А.А., Ражев А.О.** Математическая модель взаимодействия распорной траловой доски с водной средой. Морские интеллектуальные технологии. №3(37) Т.1. 2017. С. 154-157.
8. **Недоступ А.А., Ражев А.О.** Обзор современных рыбопоисковых приборов для задач компьютерной имитации // Сборник материалов V Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» Владивосток, Дальрыбвтуз, Часть I. 2018. С. 151-157.
9. **Недоступ А.А., Ражев А.О.** Принципы работы тралового зонда Furuno CN-14 для задач компьютерной имитации // Материалы VI международного Балтийского морского форума «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» / КГТУ. Т.2. 2018. С. 400-405.