

УДК 639.2.058

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ УЛОВА
ПУТАССУ РАЗНОГЛУБИННЫМ ТРАЛОМ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ
АТЛАНТИКЕ

С.В. Левченко*, М.М. Розенштейн**, А.В. Белых**

* Агентство по рыболовству и развитию рыбохозяйственного комплекса
Калининградской области, 236006, г. Калининград, Московский проспект, 95;
E-mail: lion2912@mail.ru

** ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: rozenshtein@kigtu.ru; E-mail: alexbelykh87@gmail.com

Целью данной работы является определение значений математических ожиданий случайных поведенческих характеристик: дальности реакции, скорости ухода и плотности облавливаемого скопления для путассу в Северо-Восточной Атлантике (СВА). На основе этих данных построена гибридная модель, описывающая процесс лова разноглубинным тралом путассу в СВА.

гибридная модель, имитационная модель, закон распределения, поведенческие характеристики, математическое ожидание, путассу, СВА

ВВЕДЕНИЕ

Одна из важнейших задач промышленного рыболовства заключается в разработке метода прогнозирования величины улова рыбы тралом для эффективного планирования работы флота. В настоящее время при прогнозировании не учитываются ни поведенческие характеристики объекта лова, ни характеристики орудия лова [1]. Поэтому представляется актуальным решение задач учета характеристик тралов и случайных значений поведенческих характеристики объекта лова (плотность концентрации, дальность реакции на орудие, скорость ухода рыбы от трала), в частности на основе гибридной модели [2], связывающей величину уловов с техническими характеристиками орудия и поведенческими характеристиками объекта лова. Далее мы рассматриваем процесс лова путассу в СВА.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Гибридная модель определяется выражением [3]:

$$M_q = \xi \cdot l^2 \cdot v \cdot M_\rho - l \cdot (r_{\max} + r_{\min}) \cdot M_v \cdot M_\rho + \frac{4}{3} \cdot M_v \cdot M_\rho \cdot (r_{\max}^2 + r_{\max} \cdot r_{\min} + r_{\min}^2), \quad (1)$$

где M_q – математическое ожидание величины уловов;
 M_ρ – математическое ожидание плотности облавливаемых косяков;
 M_v – математическое ожидание скорости ухода рыбы от трала; l – линейный размер (полупериметр устья) трала, представляющий собой сумму вертикального H и горизонтального L раскрытия устья; v – скорость буксировки трала;

r_{\max} , r_{\min} – максимальная и минимальная дальность реакции рыбы на трал;
 ξ - коэффициент, характеризующий отношение площади устья трала к квадрату линейного размера.

На первом этапе для разработки гибридной модели необходимо получить закон распределения случайных значений уловов путассу в СВА. Для установления закона распределения была использована статистика уловов (данные промыслового журнала), добытых судном БАТМ «Арменак Бабаев» с 22.01.2012 по 25.04.2012 г. тралом «РТ/ТМ 214/9000», оснащенный траловыми досками «Тубогон» площадью 9 кв.м, подъемным щитком площадью 7,2 кв.м, грузами-углубителями массой 500-700 кг, оснасткой нижней подборы - цепью массой 300 кг. За период с 22.01.2012 по 25.04.2012 г. выполнено 69 тралений. По величине уловов и времени траления определялись значения уловов, приходящиеся на 1 ч траления. Весь диапазон значений уловов (от 0 до 11 т) был разбит на 21 равный участок (по 10 т). Для каждого участка определялась частота встречаемости соответствующих величин уловов. Результаты обработки траловых уловов путассу тралом «РТ/ТМ 214/9000» приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты обработки траловых уловов путассу в СВА
 Table 1. Results of processing trawl catches of blue whiting in the NEA

i	q_(i)	q_(i+1)	q_i	n_i	p*_i
1	2	3	4	5	6
1	0	10	5	5	0,0725
2	10	20	15	3	0,0435
3	20	30	25	5	0,0725
4	30	40	35	10	0,1449
5	40	50	45	14	0,2029
6	50	60	55	6	0,0870
7	60	70	65	7	0,1014
8	70	80	75	7	0,1014
9	80	90	85	2	0,0290
10	90	100	95	3	0,0435
11	100	110	105	0	0,0000
12	110	120	115	1	0,0145
13	120	130	125	1	0,0145
14	130	140	135	1	0,0145
15	140	150	145	2	0,0290
16	150	160	155	0	0,0000
17	160	170	165	1	0,0145
18	170	180	175	0	0,0000
19	180	190	185	0	0,0000
20	190	200	195	0	0,0000
21	200	210	205	1	0,0145
	210			69	1,0000

В первом столбце табл. 1 указаны порядковые номера участков (рангов), во втором - минимальные значения улова в каждом ранге $q_{(i)}$ (т/ч), в третьем - максимальное значение улова в каждом ранге $q_{(i+1)}$ (т/ч), в четвертом - среднее значение уловов в каждом ранге q_i (т/ч), в пятом - число уловов, соответствующих каждому из рангов n_i , в последнем столбце приведена частота встречаемости уловов каждого ранга p_i^* .

Частота встречаемости уловов определялась по формуле

$$p_i^* = \frac{n_i}{N}, \quad (2)$$

где n_i - количество уловов, попавших в каждый i - участок траления; N - число тралений.

Данные табл. 1 представлены на рис.1 в виде гистограммы.

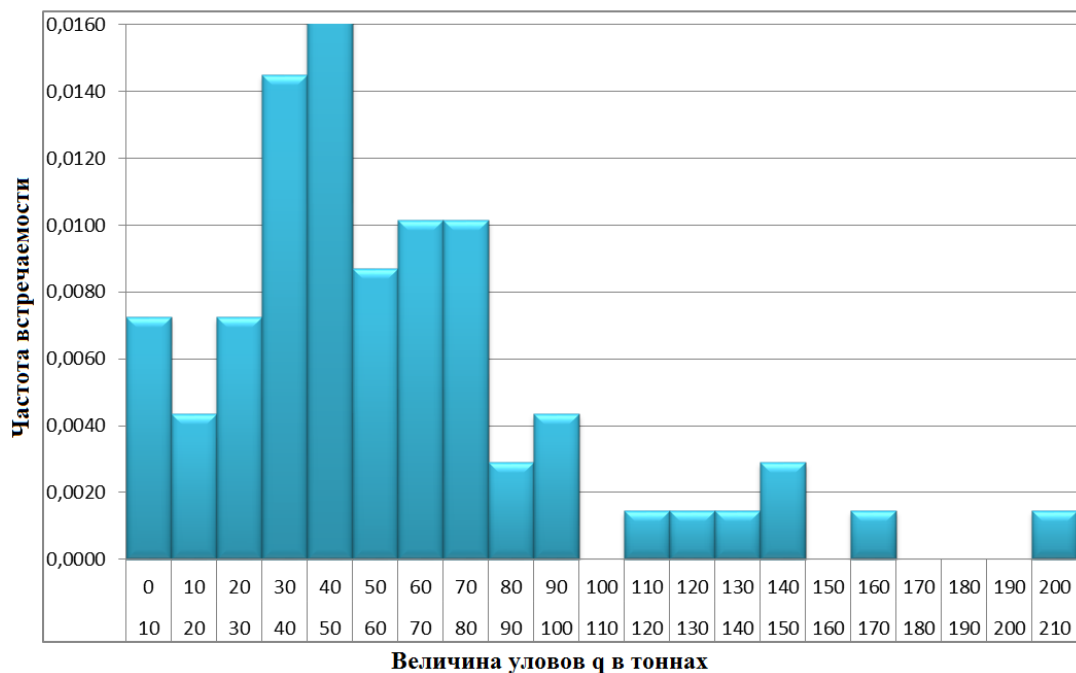


Рис. 1. Гистограмма траловых уловов путассу
Fig. 1. The histogram trawl catches of blue whiting

Из анализа гистограммы следует, что случайная величина траловых уловов путассу подчиняется логарифмически-нормальному закону распределения [4]. Она имеет вид

$$f(q) = \frac{1}{q \cdot \sigma_{\ln q} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln q - \ln m)^2}{2\sigma_{\ln q}^2}\right], q \geq 0, \quad (3)$$

где $\sigma_{\ln q}$ - параметр формы, среднее квадратичное отклонение (СКО) случайной величины $\ln q$; m - параметр масштаба, медиана величины q , причем:

$$m = \exp\left(M_{\ln q} - \frac{\sigma_{\ln q}^2}{N}\right). \quad (4)$$

На основании данных рис. 1 и формулы (3) построена кривая логарифмически-нормальной плотности распределения траловых уловов путассу (см. рис. 2).

Числовые характеристики полученной плотности распределения определялись по формулам:

$$M_{\ln q} = \sum_{i=1}^{k=11} \ln q_i \cdot p_i^*, \quad (5)$$

где k - число рангов; q_i - среднее значение i -го разряда,

$$q_i = \frac{q_{(i)} + q_{(i+1)}}{2}; \quad (6)$$

$$\sigma_{\ln q} = \sqrt{D_{\ln q}}, \quad (7)$$

где $D_{\ln q}$ - эмпирическая дисперсия величины $\ln q$, которая определяется по формуле

$$D_{\ln q} = \sum_{i=1}^k h_i \ln q_i^2 - M_{\ln q}^2 \cdot p_i^*. \quad (8)$$

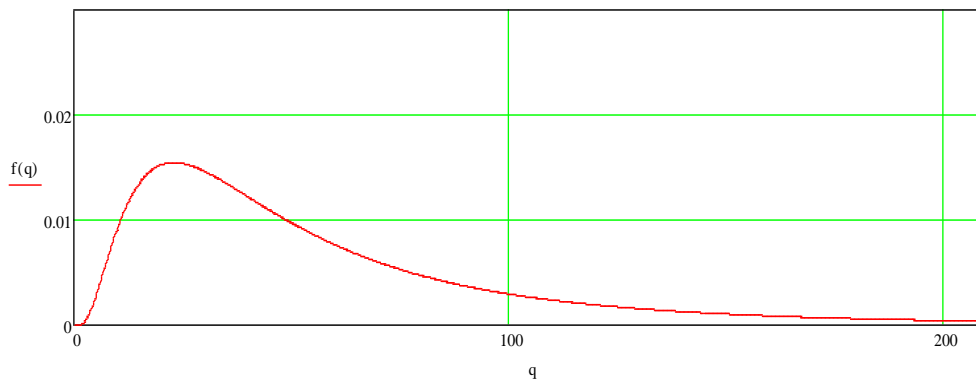


Рис. 2. Эмпирическая кривая плотности распределения траловых уловов путассу в СВА

Fig. 2. The empirical curve distribution density trawl catches of blue whiting in the NEA

Таким образом, на основе обработки статистического материала установлено, что плотность распределения траловых уловов путассу в СВА определяется выражением

$$f(q) = \frac{1}{0,656q\sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{\ln \left(\frac{q}{40,154} \right)^2}{-0,862} \right], q \geq 0. \quad (9)$$

Имитационное моделирование осуществлено для следующих условий:

- а) район промысла: Северо-Восточная Атлантика;
- б) трал: «РТ/ТМ 214/9000»;
- в) объект лова: путассу;
- г) скорость траления: 3,6 уз.

Согласно промысловым данным, трал «РТ/ТМ 214/9000» имеет горизонтальное L 110 м и вертикальное H 80 м раскрытие при скорости траления 3,6 уз. Поскольку данные подводных наблюдений за поведением путассу в зоне облова тралом отсутствуют, а данный род принадлежит подсемейству трескоподобных (семейство тресковые), было принято брать за основу диапазоны дальности реакции от $r_{min}=1$ м до $r_{max}=2$ м и скорости плавания $v_{pmin}=1$ м/с до $v_{pmax}=2,3$ м/с по данным наблюдений за треской.

Для параметра ρ задан один диапазон возможных значений ρ_{max} , где верхняя граница ρ_{max} рассчитывалась на основании остальных факторов модели по формуле

$$\rho_{max} = \frac{q_{max}}{HLv - 2r_{min} v_{pmin} (H + L - 2r_{min})} \quad (10)$$

и соответствовала максимально возможной величине улова q_{max} , которая известна из выборки тралений.

По результатам каждого численного эксперимента, выполненного на основе имитационного моделирования, находились значения выборочного закона распределения и проверялась гипотеза, что полученное эмпирическое распределение согласуется со статистическим распределением величины улова q .

Для исследуемой выборки было найдено следующее решение:

а) закон распределения дальности реакции:

$$f(r) = \frac{1}{1-2}; \quad (11)$$

б) величина скорости ухода рыб от трала соответствует нормальному закону распределения:

$$f(v_p) = \frac{1}{0,17\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(v_p - 1,9)^2}{-0,058}\right]. \quad (12)$$

Параметры закона: $M_v = 1,9$ м/с, $\sigma_v = 0,17$ м/с;

в) величина плотности облавливаемого скопления рыб соответствует логарифмически-нормальному закону распределения:

$$f(v_p) = \frac{1}{0,2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(v_p - 1,75)^2}{-1,28}\right]. \quad (13)$$

Параметры закона: $m_\rho = 0,0001$ кг/м³; $\sigma_{\ln\rho} = 0,8$ кг/м³.

Для определения значений математических ожиданий указанных поведенческих характеристик рыбы использован следующий метод. По статистическим данным определяется закон распределения уловов. С помощью имитационной модели В.В. Николаева [5] методом статистического моделирования осуществляется перебор возможных законов распределения поведенческих характеристик рыбы до тех пор, пока композиция этих законов не даст полученный по статистике закон распределения уловов.

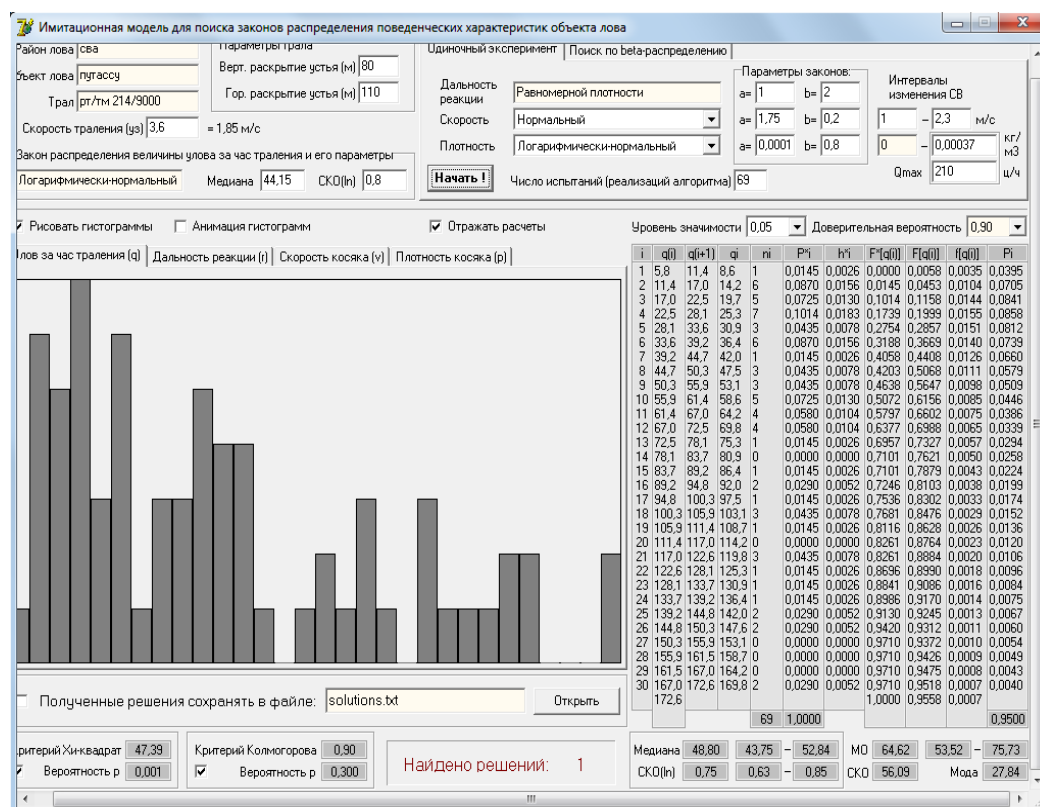


Рис. 3. Имитационная модель для поиска законов распределения поведенческих характеристик объекта лова
 Fig. 3. Simulation model to find the distribution laws of the behavioral characteristics of the target species

Для указанных параметров результаты экспериментов соответствуют тому, что полученное на имитационной модели эмпирическое распределение согласуется со статистическим распределением величины улова q . Параметры полученного на имитационной модели распределения величины улова:

- а) медиана $m = 48,80$ ц, при доверительном интервале $(43,75 - 52,84)$ ц;
- б) мода $M_0 = 27,84$ ц;
- в) математическое ожидание $M = 64,62$ ц/ч, доверительный интервал $(53,52 - 75,73)$ ц/ч;
- г) СКО $\sigma_{\ln q} = 0,75$ ц; доверительный интервал $(0,63 - 0,85)$ ц;
- д) СКО $\sigma = 56,09$ ц;
- е) критерий $\chi^2 = 47$, что соответствует вероятности $p = 0,001$;
- ж) критерий Колмогорова: $\lambda = 0,9$, что соответствует вероятности $p = 0,3$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа полученных результатов в табл. 2 сведены оценки параметров полученных законов распределения поведенческих характеристик путассу.

Таблица 2. Численные значения случайных поведенческих характеристик
Table 2. Numerical values of the random behavioral characteristics

<i>Дальность реакции r (м)</i>				
Вид закона	Параметры			
Равномерный	r_{\min}		r_{\max}	
	1		2	
<i>Скорость ухода от трала v_p (м/с)</i>				
Вид закона	Диапазон		Параметры	
Нормальный	$v_{p\min}$	$v_{p\max}$	M_{v_p}	σ_v
	1	2,3	1,75	0,2
<i>Плотность облавливаемого скопления ρ (кг/м³)</i>				
Вид закона	Диапазон		Параметры	
Логнормальный	ρ_{\min}	ρ_{\max}	M_ρ	$\sigma_{\ln\rho}$
	0	0,00037	0,0001	0,8

На основании гибридной модели процесса тралового лова (1) и полученных численных значений случайных поведенческих характеристик путассу построим гибридную модель процесса лова путассу в СВА:

$$M_q = 1,0 \cdot 10^{-4} \xi \cdot l^2 \cdot v \cdot 5,25 \cdot 10^{-4} \cdot l + 1,63 \cdot 10^{-3}. \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

Численные значения математических ожиданий уловов по статистическим данным и по гибридной модели (трал «РТ/ТМ 214/9000») представлены в табл. 3.

Таблица 3. Численные значения математических ожиданий уловов по статистическим данным и по гибридной модели

Table 3. Numerical values of the expectations of catches by statistical data and the hybrid model

Математическое ожидание улова путассу тралом «РТ/ТМ 214/9000» по ССД $M_{qссд}$ (т/ч)	Математическое ожидание улова путассу тралом «РТ/ТМ 214/9000» по гибридной модели M_{qm} (т/ч)	Абсолютная погрешность (т/ч)	Относительная погрешность (%)
6,138	7,585	1,447	19,1

Как следует из данных табл. 3, относительная погрешность вычислений значения математического ожидания величины улова с использованием гибридной модели - значительная и составляет 19,1%. Она может быть объяснена следующими причинами:

1. Для установления закона распределения была использована статистика уловов (данные промыслового журнала), которая насчитывала всего 69 тралений, что явно недостаточно для обеспечения высокой точности реализации гибридной модели.

2. Данные подводных наблюдений за поведением путассу в зоне облова тралом отсутствуют, и так как данный род относится к подсемейству трескоподобных (семейство тресковые), то были взяты за основу диапазоны дальности реакции и скорости плавания из наблюдений за треской, что, в свою очередь, могло привести к увеличению ошибки.

Таким образом, построенная гибридная модель процесса лова путассу разноглубинными тралами может использоваться лишь для приближённой оценки возможных уловов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левченко, С.В. Гибридная модель процесса лова окуня-клювача в море Ирмингера / С.В. Левченко // Рыбное хозяйство. - 2012. - № 3. - С. 94-97.

2. Левченко, С. В. Гибридная модель процесса лова атлантической сельди разноглубинным тралом [Текст] / С. В. Левченко // Известия КГТУ. - 2010. - N 20. - С. 187-194.

3. Кадыльников, Ю.В. Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов / Ю.В. Кадыльников. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2001. - 277 с.

4. Венцель, Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Венцель. – 6-е изд. стер. – Москва: Высш.шк., 1999. - 576 с.: ил.

5. Николаев, В.В. Совершенствование математической модели процесса лова рыбы разноглубинным тралом: дис... канд. техн. наук / В.В. Николаев. - Калининград, 2004. - 189 с.

HYBRID MODEL FOR PREDICTION CATCH OF BLUE WHITING BY MIDWATER TRAWLS IN NORTH-EAST ATLANTIC

S.V. Levchenko*, M.M. Rozenshtein**, A.V. Belykh**

* Fisheries Agency and Fisheries Development of Kaliningrad region, Russia, 236006, Kaliningrad, Moskovskiy prospect, 95; E-mail: lion2912@mail.ru

** FSEI HPE «Kaliningrad State Technical University»,

Russia, 236022, Kaliningrad, Sovetskiy prospect, 1

E-mail: rozenshtein@klgtu.ru; E-mail: alexbelykh87@gmail.com

The purpose of this work is the determination of the values of expectations of random behavioral characteristics: the range reaction, the speed of care and density accumulations fished for blue whiting in the NEA (Northeast Atlantic). Using these data the hybrid model describing the process of catching blue whiting by midwater trawls in the NEA is built.

a hybrid model, a simulation model, the distribution law, behavioral characteristics, a mathematical expectation, blue whiting, the NEA