

А. Н. Кузьмин, А. М. Лихтер, В. Р. Дорофеев

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛОВОМ РЫБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕЛЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

На основе анализа проблем, связанных с ухудшением экологической обстановки в бассейне Каспийского моря, ставится задача разработки систем, предназначенных для лова обыкновенной кильки (*Clupeonella delicatula*). Для проектирования автоматизированной системы управления ловом выбраны информационные критерии, позволяющие учесть такие факторы, как влияние шумов, создаваемых на глубине горизонта лова излучением Луны, а также шумов, возникающих при отражении света подводного источника от поверхности моря и дна водоема. Впервые получены выражения для функции «отношение сигнал/шум» в случае лова на малых и средних глубинах, что позволяет рассчитывать температуру надводного и подводного источников в процессе лова рыбы. Оперативное управление процессом лова может быть реализовано путем регулировки температуры вольфрамовых нитей накала надводного и подводного источников света, при которых максимизируется пропускная способность канала передачи оптической информации. В результате увеличения или уменьшения температуры вольфрамовой нити накала меняются спектр и интенсивность излучения источника света, прошедшего через толщу воды и оказывающего управляющее воздействие на объект лова. Предложенный алгоритм системы управления ловом реализует принцип последовательного управления работой надводного и подводного источников света, а переход от одного блока алгоритма к другому осуществляется на основе обработки визуальной информации о движении косяка рыб в направлении орудия лова, поступающей с эхолота. Программный продукт, созданный для реализации автоматизированной системы управления процессом лова кильки (АСУПЛК), выполнен в объектно-ориентированной среде программирования Borland Developer Studio 2006 (Delphi 7) и может работать под управлением операционной системы Windows XP Professional, а также более новых версий Windows.

Ключевые слова: алгоритм, программа, килька, источник света, система управления.

Введение

Каспийское море обладает богатой ихтиофауной. Долгое время этот бассейн являлся основным источником, обеспечивающим рыбные рынки России килькой. Основной вылов приходился на анчоусовидную кильку (*Clupeonella engrauliformis*), демонстрирующую наиболее выраженную положительную реакцию на свет по сравнению с другими видами этого семейства. По имеющимся данным, начиная с 2010 г. численность популяций анчоусовидной и большеглазой килек (*Clupeonella grimmi*) резко сократилась. Так, за 5 лет годовой вылов кильки к 2011 г. (т. е. с 2006 по 2011 г.) снизился в 93,3 раза, среднесуточные уловы судов – в 4,3 раза, промысловое усилие – в 18,7 раза. Промысел килек стал нерентабельным, что обусловлено, в частности, отсутствием рыбопромысловых систем, специально предназначенных для лова обыкновенной кильки, запасы которой за все эти годы лишь пополнялись. При исследовании акватории Каспийского моря были выявлены многочисленные и плотные скопления обыкновенной кильки в ее северной, северо-западной, средней и южной частях. В настоящее время уловы более чем на 85 % состоят из обыкновенной кильки (*Clupeonella delicatula*) [1]. В связи с этим актуальной является разработка автоматизированной системы управления процессом лова каспийской кильки, учитывающей все указанные выше факторы. Однако решение этой задачи требует создания алгоритмического и программного обеспечения для управления световым оборудованием рыбопромысловой системы.

При построении математической модели процесса передачи оптической информации объекту управления необходимо наряду с другими параметрами учитывать глубину горизонта лова, расстояние от подводного источника света, поверхности моря и дна водоема до объекта управления. Это предопределяет возможность рассмотрения ряда частных случаев. Нами рассматривается вариант лова на небольших глубинах.

Математическая модель

Схема передачи оптического сигнала от надводных и подводных источников света объекту управления в системе лова каспийской кильки показана на рис. 1. Элементы системы:

1. Рыболовное судно.
2. Конусный подхват типа «кошелек» [2].
3. Периферийные элементы информационно-измерительной системы (датчики глубины, прозрачности и т. д.).
4. Блок управления температурой селективных источников света.
5. Бортовая ЭВМ.
6. Надводный источник света.
7. Подводный источник света.
8. Объект управления (каспийская килька).
9. Луна.

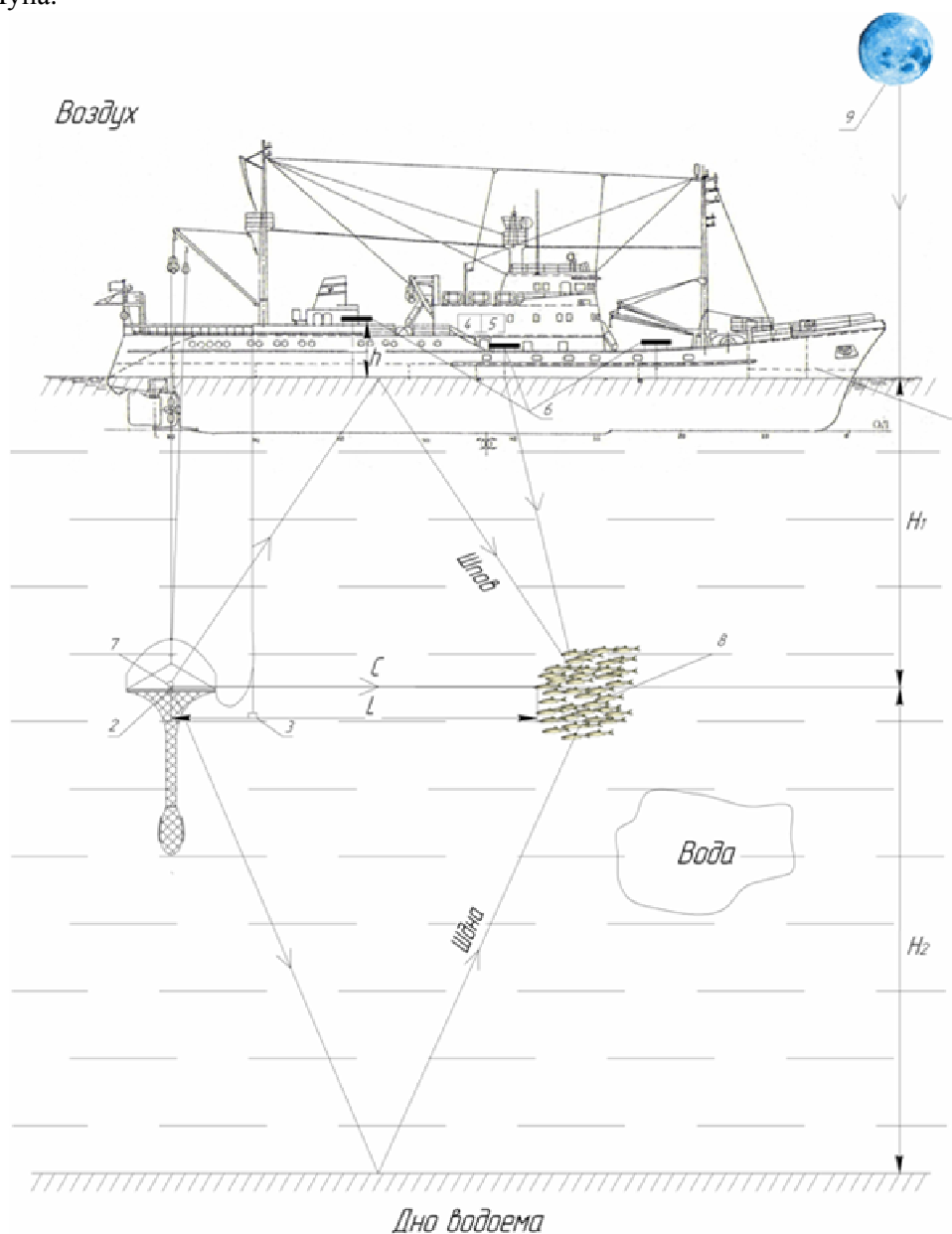


Рис. 1. Схема передачи оптической информации объекту управления:
 L , H_1 , H_2 – расстояние от подводного источника света, поверхности моря
 и дна водоема до объекта управления соответственно

При построении математической модели учитывались шумы искусственного и естественного происхождения (при лове на небольших глубинах, т. е. когда $H_1 < H_2$ (рис. 1), шум, создаваемый излучением, отраженным от дна водоема, можно не учитывать), а в качестве критерия

для выбора эффективных параметров элементов системы управления процессом лова, в частности температуры селективных источников света, использовалось условие максимизации производительности рыбопромысловой системы:

$$N = kP\tau,$$

где k – абсолютный коэффициент уловистости орудия лова; $P = \Delta f \cdot \log_2 \left(1 + \frac{C}{\text{Ш}} \right)$ – пропускная способность канала передачи оптической информации; τ – время лова; Δf – полоса частот, воспринимаемая органом зрения рыбы; $C/\text{Ш}$ – функция «отношение сигнал/шум».

Для расчета сигнала, передаваемого объекту управления от надводного источника оптического излучения, используем спектральную формулу [3], преобразовав ее с учетом дисперсии показателя преломления света в воде, реальных размеров источника и приемника оптического излучения, вида функции спектральной плотности излучения вольфрамовой нити накала лампы [4], а также формул Френеля [5], описывающих интенсивность отраженной и преломленной световой волны на границе раздела «воздух-вода»:

$$C_n := 683 \cdot R \cdot S_w \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{\left(\frac{-\alpha(\lambda) H_1}{\cos(\beta(\varphi, \lambda))} - \frac{3,5h}{S_m \cdot \cos(\varphi)} \right)} \left(\frac{h}{\cos(\varphi)} + \frac{H_1}{\cos(\beta(\varphi, \lambda))} \right)^{-2} I(\lambda, T) \tau(\lambda) v(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где R – площадь глаза рыбы; S_w – площадь поверхности вольфрамовой нити накала; $\alpha(\lambda)$ – показатель ослабления света в воде; h – высота подвеса источника; H_1 – глубина горизонта лова; φ – угол падения; $\beta(\varphi, \lambda)$ – угол преломления; S_m – метеорологическая дальность видимости; $I(\lambda, T)$ – функция спектральной пространственной плотности излучения источника [2]; $\tau(\lambda)$ – спектральная зависимость отношения яркости преломленного луча к яркости луча, падающего на поверхность воды под углом φ ; $v(\lambda)$ – функция относительной спектральной чувствительности глаза рыбы [6].

Шум, создаваемый лунным излучением и воспринимаемый глазом рыбы, определяется по формуле

$$\text{Ш}_n := \frac{R_c^2 \cdot S_n \cdot R}{R_{c.o}^2 \cdot 4\pi(R_{л.o})^2} \cdot \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} \xi(\lambda, T) \delta(\lambda) y(\lambda) \cdot e^{-\alpha(\lambda)H} \cdot \tau(\lambda) v(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где R_c – радиус солнца; S_n – видимая часть лунного диска в зависимости от ее фазы; $R_{c.o}$ – радиус солнечной орбиты; $R_{л.o}$ – радиус лунной орбиты; $\xi(\lambda, T)$ – спектральное распределение излучения Солнца; $y(\lambda)$ – альbedo Луны; $\delta(\lambda)$ – зависимость спектрального коэффициента пропускания чистой атмосферы от длины волны [4, 7].

Тогда, с учетом формул (1) и (2), значение функции «отношение сигнал/шум», с учетом шума, создаваемого лунным излучением и воспринимаемого глазом рыбы, для надводного источника света определяется по следующей формуле:

$$\frac{C_n}{\text{Ш}_n} := \frac{683 \cdot R \cdot S_w \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{\left(\frac{-\alpha(\lambda) H_1}{\cos(\beta(\varphi, \lambda))} - \frac{3,5h}{S_m \cdot \cos(\varphi)} \right)} \left(\frac{h}{\cos(\varphi)} + \frac{H_1}{\cos(\beta(\varphi, \lambda))} \right)^{-2} I(\lambda, T) \tau(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{\frac{R_c^2 S_n \cdot R}{R_{c.o}^2 \cdot 4\pi(R_{л.o})^2} \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} \xi(\lambda, T) \delta(\lambda) y(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)H} \tau(\lambda) v(\lambda) d\lambda}.$$

При расчете оптического сигнала, передаваемого подводным источником света, который расположен непосредственно на самом орудии лова, используется формула

$$C_n := \frac{683}{(L)^2} R S_w \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-\alpha(\lambda) \cdot L} \cdot I(\lambda, T) v(\lambda) d\lambda. \quad (3)$$

Шум, создаваемый подводным искусственным источником света в результате отражения лучей от поверхности моря,

$$\text{Ш}_n := \frac{683 \cdot H_1 \cdot S_w \cdot R}{\sqrt{H_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \left(H_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)^2} \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-2\alpha(\lambda) \cdot \sqrt{H_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}} \left(\frac{n(\lambda) - 1}{n(\lambda) + 1}\right)^2 I(\lambda, T) \nu(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

где $n(\lambda)$ – относительный показатель преломления воды.

Тогда, с учетом формул (3) и (4), значение функции «отношение сигнал/шум» для подводного источника света можно рассчитать по формуле

$$\frac{C_n}{\text{Ш}_n} := \frac{683 \cdot \sqrt{H_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \left(H_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)^2 \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-\alpha(\lambda) \cdot L} \cdot \nu(\lambda) \cdot I(\lambda, T) d\lambda}{683 \cdot H_1 \cdot L^2 \cdot \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-2\alpha(\lambda) \cdot \sqrt{H_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}} \left(\frac{n(\lambda) - 1}{n(\lambda) + 1}\right)^2 \nu(\lambda) I(\lambda, T) d\lambda}.$$

Автоматизированная система управления процессом лова кильки

На рис. 2 представлен алгоритм автоматизированной системы управления процессом лова кильки с использованием селективных источников света. Алгоритм состоит из двух блоков, относящихся к надводному и подводному источникам света соответственно.

Данный программный продукт позволяет рассчитать оптимальные параметры для лова кильки, в частности температуру ламп накаливания надводного и подводного источников света, а также выбрать различные режимы управления системой лова.

Программа «Автоматизированная система управления процессом лова кильки» (АСУПЛК) выполнена в объектно-ориентированной среде программирования Borland Developer Studio 2006 (Delphi 7) и работает под управлением операционной системы Windows XP Professional, а также более новых версий [8, 9].

При разработке данного программного продукта использовались компоненты Memo, Label, Button, Edit, а также основные методы и процедуры, такие как show, close, procedure Click(Sender: TObject), FormDestroy(Sender: TObject), FormCreate(Sender: TObject), MC:IMathcadApplication; WC:IMathcadWorksheets; WS:IMathcadWorksheet, StrToFloat, ShowMessage, SetValue, GetValue [8, 9].

Программа имеет удобный, интуитивно понятный интерфейс, выдержанный в спокойной цветовой гамме и едином стиле и адаптированный к минимальному разрешению 800 × 600.

Инсталляция и выполнение разработанного программного продукта

Программа не требует специальной установки.

Для использования «АСУПЛК» следует скопировать в заранее созданную папку файлы из дистрибутива.

Запуск системы осуществляется путем двойного нажатия на файле (Project2.exe).

Описание работы алгоритма программы

Алгоритм, состоящий из двух блоков, разработан для автоматизированной системы управления процессом лова кильки с использованием надводного и подводного искусственных источников оптического излучения.

Надводный источник оптического излучения служит для привлечения объекта управления к орудию лова. Чтобы добиться его оптимальной работы, необходимо рассчитать температуру вольфрамовой нити накала по следующим данным: высота подвеса источника света, глубина горизонта лова, метеорологическая дальность видимости. В случае, если они совпадают с границами допустимых значений, «АСУПЛК» выдает оптимальную температуру вольфрамовой нити накала. Затем, при помощи эхолота, наблюдаем за передвижением косяка рыбы, его формой, скоростью, расположением в пространстве и по мере его приближения или отдаления относительно орудия лова в режиме online регулируем температуру вольфрамовой нити надводного источника оптического излучения.

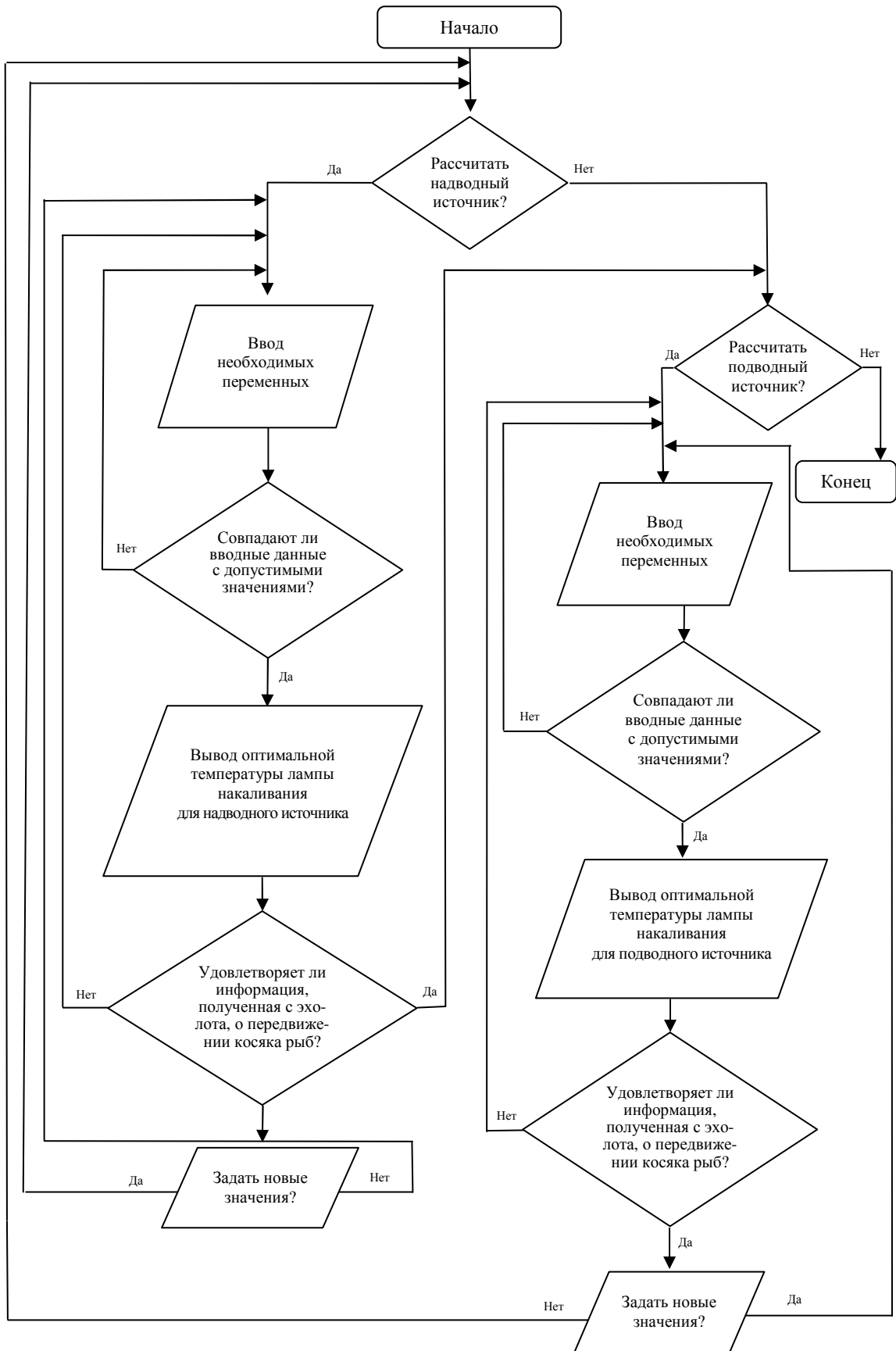


Рис. 2. Алгоритм автоматизированной системы управления процессом лова кильки с использованием селективных источников света

При расчете температуры подводного источника оптического излучения, который служит для привлечения рыбы в зону облова, вводятся следующие необходимые переменные: глубина горизонта лова, глубина подводного источника, а также расстояние от орудия лова до объекта управления. После вывода на дисплей оптимальной температуры и при положительной реакции косяка рыбы отслеживаем его расстояние и форму по эхолоту, регулируя в режиме online температуру вольфрамовой нити подводного источника оптического излучения и учитывая излучение, отраженное от поверхности моря и дна водоема. В случае рассредоточения косяка необходимо задать оптимальную температуру источника для образования плотного скопления рыб в облавливаемой зоне.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования нами были получены следующие результаты.

1. Предложен критерий для расчета эффективных параметров элементов системы управления ловом.
2. Создана математическая модель передачи оптической информации рыбе.
3. Разработан алгоритм управления системой лова.
4. На базе предложенного алгоритма реализовано программное обеспечение «АСУПЛК». Данный программный продукт позволяет рассчитать оптимальные параметры для лова кильки, а также выбрать различные режимы управления системой лова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходоревская Р. П. Состояние запасов морских рыб Каспийского моря (по результатам исследований в 2011 г.) / Р. П. Ходоревская, А. А. Асейнова, Ю. А. Парицкий, С. В. Канатъев, Д. А. Гаврилова, Т. С. Зубкова, Д. Р. Абдулаева // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2013. № 1. С. 106–117.
2. Пат. № 2504152 Российская Федерация, МПК А01К79/00. Устройство для лова гидробионтов / Чурунов В. Н., Лихтер А. М.; опубл. 20.01.14.
3. Лихтер А. М. Управление физическими полями в рыболовстве / А. М. Лихтер, А. В. Мельников. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2005. 149 с.
4. Кузьмин А. Н. Модель процесса передачи оптической информации подводного источника света в системах лова гидробионтов / А. Н. Кузьмин, А. М. Лихтер, Ю. Н. Рогожина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 4 (20). С. 44–49.
5. Ландсберг Г. С. Оптика: учеб. пособие для вузов / Г. С. Ландсберг. М.: Физматлит, 2003. 848 с.
6. Мельников В. Н. Биофизические основы промышленного рыболовства / В. Н. Мельников. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 392 с.
7. Лихтер А. М. Моделирование систем управления процессами лова рыбы / А. М. Лихтер. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2006. 315 с.
8. Рубанцев В. А. Delphi в примерах, играх и программах / В. А. Рубанцев. СПб.: Наука и техника, 2012. С. 217–248.
9. Архангельский А. Я. Программирование в Delphi. Версии 2006, 2007, Turbo Delphi / А. Я. Архангельский. М.: Бином-Пресс, 2007. 1018 с.

Статья поступила в редакцию 9.12.2014,
в окончательном варианте – 3.04.2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузьмин Анатолий Николаевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Промышленное рыболовство»; astratem@mail.ru.

Лихтер Анатолий Михайлович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный университет; г-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой «Общая физика»; Likhter@bk.ru.

Дорофеев Виктор Романович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный университет; студент, специальность «Информационные системы и технологии»; dorofeev_viktor@mail.ru.



A. N. Kuzmin, A. M. Likhter, V. R. Dorofeev

ALGORITHMIC AND SOFTWARE SUPPORT IN THE SYSTEM OF FISHING CONTROL USING SELECTIVE LIGHT SOURCES

Abstract. Based on the analysis of the problems associated with the deterioration of the ecological situation in the Caspian basin, the task of developing the systems for ordinary sprat fishing (*Clupeonella delicatula*) is set. For the design of the automated control system of fishing, the information criteria taking into account the factors such as noise effect generated at the depth of the fishing horizon by the moon radiation, as well as noises caused by the reflection of light of the underwater source from the sea surface and the bottom, are chosen. For the first time there were obtained the expressions for the function "signal/noise" in case of fishing for small and medium depths, which allow to calculate the temperature of the surface and underwater sources while fishing. Operational management of the fishing can be implemented by adjusting the temperature of tungsten filament of the surface and underwater light sources, which maximize bandwidth of optical information transmission. As a result of increasing or decreasing the temperature of the tungsten filament, the range and intensity of the radiation of the source of the light transmitted through the water and rendering the control action on the subject of fishing also change. The proposed algorithm of the fishing control actualizes the principle of consistent management of the surface and underwater light sources, but the transition from one to another unit of the algorithm is based on the processing of visual information on the movement of fish stock in the direction of gear coming from sonar. The software, created for the implementation of the automated system of sprat catching control, is designed in the object-oriented programming environment Borland Developer Studio 2006 (Delphi 7) and can run under the operating system Windows XP Professional, as well as the latest versions of Windows.

Key words: algorithm, program, sprat, light source, control system.

REFERENCES

1. Khodorevskaya R. P., Aseinova A. A., Paritskii Iu. A., Kanat'ev S. V., Gavrilova D. A., Zubkova T. S., Abdulaeva D. R. Sostoianie zapasov morskikh ryb Kaspiiskogo moria (po rezul'tatam issledovaniy v 2011 g.) [State of marine fish stock in the Caspian Sea (from the results of the research in 2011)] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2013, no. 1, pp. 106–117.
2. Churunov V. N., Likhter A. M. *Ustroistvo dlia lova gidrobiontov* [Gear for catching hydrobionts] Patent RF no. 2504152, 2014.
3. Likhter A. M., Mel'nikov A. V. *Upravlenie fizicheskimi poliami v rybolovstve* [Control of physical fields in fishery]. Astrakhan, Izdatel'skii dom «Astrakhanskii universitet», 2005. 149 p.
4. Kuz'min A. N., Likhter A. M., Rogozhina Iu. N. Model' protsessa peredachi opticheskoi informatsii podvodnogo istochnika sveta v sistemakh lova gidrobiontov [The model of the optical information transmission of the underwater light source in the hydrobiont catching system]. *Prikaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii*, 2012, no. 4 (20), pp. 44–49.
5. Landsberg G. S. *Optika* [Optics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 848 p.
6. Mel'nikov V. N. *Biofizicheskie osnovy promyshlennogo rybolovstva* [Biophysical bases of commercial fishery]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1973. 392 p.
7. Likhter A. M. *Modelirovanie sistem upravleniia protsessami lova ryby* [Modeling of the system of fishing control]. Astrakhan, Izdatel'skii dom «Astrakhanskii universitet», 2006. 315 p.
8. Rubantsev V. A. *Delphi v primerakh, igrakh i programmakh* [Delphi in the examples, games and programs]. Saint-Petersburg, Nauka i tekhnika Publ., 2012. P. 217–248.
9. Arkhangel'skii A. Ia. *Programmirovaniye v Delphi. Versii 2006, 2007, Turbo Delphi* [Programming in Delphi. Versions 2006, 2007, Turbo Delphi]. Moscow, Binom-Press Publ., 2007. 1018 p.

The article submitted to the editors 9.12.2014,
in the final version – 3.04.2015

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuzmin Anatoliy Nikolaevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Industrial Fishing"; astratem@mail.ru.

Likhter Anatoliy Mikhailovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department "General Physics"; Likhter@bk.ru.

Dorofeev Victor Romanovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State University; Student, Speciality "Information Systems and Technologies"; dorofeev_viktor@mail.ru.

