

Т 78

ТРУДЫ ВНИРО

ТОМ ХСVII

7 97

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИКА РЫБОЛОВСТВА



ALL-UNION RESEARCH INSTITUTE
OF MARINE FISHERIES AND OCEANOGRAPHY
(VNIRO)

PROCEEDINGS

VOLUME XCVII

MANAGEMENT
AND FISHERIES TECHNIQUES

EDITED BY A. I. TRESHCHEV

MOSCOW
PISHCHEVAYA PROMYSHLENNOST
1973

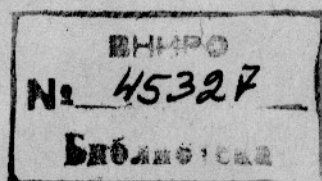
ТРУДЫ

ТОМ ХСVII

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИКА РЫБОЛОВСТВА

Под редакцией канд. техн. наук А. И. ТРЕЩЕВА

МОСКВА
ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
1973



© Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства
и океанографии (ВНИРО)

○ 3174—158
044(01)—73

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
Раздел I. Совершенствование техники и тактики лова	8
В. Н. Мельников. Некоторые вопросы теории управления объектом лова	8
А. В. Засосов, В. В. Блинов. Об оптимальных скоростях дрейфа с порядком сетей	43
Раздел II. Расчет и проектирование рыболовных орудий	49
В. Н. Мельников. Некоторые элементы методики расчета подводных и надводных осветительных устройств для лова рыбы	49
Г. Н. Степанов. Выбор параметров кошельковых неводов в зависимости от поведения рыб	75
В. В. Блинов. Расчет коэффициента гидродинамического сопротивления сетного мешка разноглубинного трала	81
Ю. М. Лосев. Эмпирические уравнения при реакциях рыб на переменный ток	86
А. В. Медведев, В. П. Лисицина. О возможности получения безусадочных сетематериалов из капрона	93
А. И. Трещев, Г. Н. Степанов, Э. А. Карпенко, С. Ф. Ефанов. Определение размера ячеи траловой дели на морозе	97
Раздел III. Механизация процессов лова	99
А. Ф. Лексуткин, О. Д. Рогаткин. О влиянии некоторых факторов на производительность рыболовного эрлифта	99
В. М. Кириллов. Роловый сетеподъемник с ограждением	106
Рефераты	109

CONTENTS

Preface	7
Section I. Improvement of fishing methods and tactics . .	8
V. N. Melnikov. Some aspects of the theory of guiding fish.	8
A. V. Zasosov, V. V. Blinov. On the optimum speeds of the drift with a net.	43
Section II. Calculation and design of fishing gear . .	49
V. N. Melnikov. Some elements in the method of calculating above — and underwater devices for light fishing	49
G. N. Stepanov. The [selection of parameters for purse seines with regard to fish behaviour	75
V. V. Blinov. Calculation of the hydrodynamic re- sistance coefficient for the net bag of the mid-trawl	81
Ju. M. Losev. Empirical equations for responses of fish to alternate electric current	86
A. V. Medvedev, V. P. Lisitsina. On the pos- sibility of making unshrinkable kapron net materials	93
A. I. Treshchev, G. N. Stepanov, E. A. Kar- penko, S. F. Efanov. Measurement of the mesh size of the trawl web at low temperatures	97
Section III. Mechanization of fishing processes	99
A. F. Leksutkin, O. D. Rogatkin. To the influence of certain factors on the efficiency of the fish air lift	99
V. M. Kirillov. A railed roll net hauling winch	106
Abstracts	109

ПРЕДИСЛОВИЕ

В первый раздел данного сборника включены статьи по совершенствованию техники и тактики лова, освещающие направление исследований и некоторые результаты, достигнутые за последние годы.

Статья В. Н. Мельникова посвящена разработке одной из важнейших проблем современного рыболовства — проблеме управления поведением рыб. Вопросу рационализации лова посвящены статьи А. В. Засосова и В. В. Блинова.

Во втором разделе сборника помещены статьи по теории расчета и проектирования рыболовных орудий. Некоторые новые схемы расчета подводных и надводных осветительных устройств, используемых для лова рыбы, содержатся в статьях Ю. М. Лосева и В. Н. Мельникова. Результаты новых исследований по дальнейшему развитию теории движения разноглубинного трала и выбору параметров кошельковых неводов изложены в статьях В. В. Блинова и Г. Н. Степанова. Изучению свойств капрона как материала для изготовления рыболовных орудий посвящена статья А. В. Медведева и В. П. Лисицкой. В статье А. И. Трещева и др. описан способ определения размера ячеи траловой дели на морозе.

Вопросы механизации процессов лова рассмотрены в двух статьях, помещенных в третьем разделе сборника. Статья А. Ф. Лексуткина и О. Д. Рогаткина по исследованию эрлифтных установок представляет интерес для читателей, занимающихся механизацией морского рыболовства, а В. М. Кириллова — прибрежного промысла.

PREFACE

Section I of the issue embodies papers pertaining to the investigations aimed at the improvement of fishing methods and techniques as well as indicating general lines of the research carried out and results achieved recently.

The control of fish behaviour, an actual problem of modern fisheries is tackled by V. N. Melnikov. The problem of rational fishing is considered by A. V. Zasosov and V. V. Blinov.

Section II covers papers on the theory of calculations and designs of fishing gear. Some new elements in the arrangement of above—and underwater devices designed for light fishing are indicated by Yu. M. Losev and V. N. Melnikov. The results of recent investigations on the development of the theory of mid—trawl movement and choice of purse seine parameters are reported by V. V. Blinov and G. N. Stepanov. The study of properties of kapron used for making fishing nets is described by A. V. Medvedev and V. P. Lisitsina. The effect of low temperature on changes in the mesh size of the trawl is described by A. I. Treshchev and others.

Section III deals with mechanization of fishing processes. The papers presented by A. F. Leksutkin and O. D. Rogatkin pertaining to the investigations of air lift units may interest readers engaged in marine fisheries whereas V. M. Kirillov makes contribution to mechanization of the coastal fishery.

Раздел I. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТАКТИКИ ЛОВА

597—15:639.2.081.1

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ЛОВА

В. Н. Мельников**Астрыбвтуз**

Одним из основных путей повышения эффективности рыболовства является совершенствование способов управления поведением рыбы в процессе лова. Процесс управления в общем случае можно представить как упорядочение некоторой материальной системы. Исходя из этого общего представления, различные авторы характеризуют управление с учетом качественных и количественных отличий систем и процессов, которые в них протекают. В нашем случае под управлением объектом лова будем понимать такое воздействие на поведение рыбы путем сообщения ей управляющей информации или уменьшения вредного влияния неуправляющей информации, при котором повышается эффективность промысла. Это определение достаточно конкретно и в то же время выражает основные идеи, заложенные в управлении как общенаучной категории.

Необходимо подчеркнуть, что управление объектом лова мы связываем с передачей ему управляющей информации, вкладывая в понятие «информация» весьма широкий смысл. С другой стороны, целью управления является сообщение объекту лова некоторого поведения из возможного набора поведений. Концепция выбора поведения объекта лова адекватна основным положениям теории информации. Оба эти фактора позволяют рассматривать управление поведением рыбы в поле ощущений орудий лова и средств интенсификации промысла как информационный процесс, хотя, как будет показано ниже, возможны не только информационные, но и энергетические взаимодействия объекта лова с внешней средой.

Мы попытаемся рассмотреть некоторые теоретические вопросы управления поведением рыб в процессе лова с привлечением таких понятий, как система, информация, управление, которые относятся к важным общенаучным категориям и некоторых идей теории автоматического управления.

Постановку рассматриваемой проблемы в таком виде, по-видимому, нельзя считать преждевременной, хотя необходимо учитывать трудности, связанные с недостаточной изученностью многих вопросов, на которые теория управления объектом лова должна опираться.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ РЫБЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ОРУДИЙ ЛОВА И СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОМЫСЛА

Поведение рыбы является совокупностью реакций на внешние раздражения и внутренние стимулы. Рассматривая вопросы управления поведением рыбы в зоне ощущений орудий лова и средств интенсификации промысла, целесообразно принимать во внимание лишь двигательные реакции и те вегетативные реакции, которые влияют на усиление, развиваемое рыбой, и ее ориентацию в пространстве.

Перемещение рыбы в пространстве полностью определено, если известны уравнения ее движения. Они позволяют определить латентный период, направление и скорость перемещения в различные моменты времени, длительность перемещения. При отсутствии гидродинамического поля параметры движения рыбы могут служить оценкой двигательной реакции рыбы. При действии на рыбу различных полей в совокупности с гидродинамическим перемещение ее обусловлено как двигательной реакцией на воздействие соответствующего физического поля, так и движением потока воды. В этом случае двигательную реакцию в первом приближении характеризуют величины не в абсолютном, а в относительном движении. Приближенность обусловлена тем, что гидродинамическое тело само по себе искажает характер двигательного ответа на другие раздражители и, кроме того, изменяет условия, в которых происходит перемещение рыбы. Таким образом, при оценке двигательной реакции на любой раздражитель или их совокупность необходимо учитывать характеристику гидродинамического поля.

Поведение рыбы под влиянием внешних воздействий характеризуется некоторой неопределенностью, и его невозможно точно предсказать, поэтому при изучении и описании поведения рыб в зоне ощущений орудия лова в общем случае следует обращаться не к детерминированным, а к вероятностно-статистическим соотношениям. Полной статистической характеристикой поведения рыбы в этом случае является совокупность многомерных функций распределения или плотностей вероятностей мгновенных значений параметров, характеризующих перемещение рыбы.

Описание поведения рыбы с помощью этих функций весьма сложно. В то же время для решения задач управления поведением рыбы в зоне действия орудий лова наиболее пригодна оценка ее поведения с помощью статистических моделей, которые довольно широко применяются в других отраслях науки.

Рассмотрим в общих чертах модель поведения рыбы, принимая во внимание лишь двигательные реакции. Пусть необходимо знать поведение n рыб, причем для каждой из них в данный момент времени определяется k элементов поведения. Тогда поведение совокупности рыб в некоторый момент времени можно описать множеством из T значений

$$T = nk. \quad (1)$$

Будем считать T мгновенной реализацией поведения рыбы, которая выражается точкой в T -мерном пространстве. Координатами этого пространства являются определяемые элементы поведения рыбы. Каждый из k элементов поведения изменяется в некотором диапазоне значений, которые можно разбить на дискретные уровни. Число дискретных уровней определяет точность и надежность определения поведения. Фиксированный диапазон изменения каждого из элементов поведения

(признаков) принято называть классом. Учитывая характер поставленной задачи, признаками классов в некоторый момент времени можно считать направление и скорость перемещения рыбы. Направление перемещения характеризуют двумя признаками в сферических координатах (долготой φ и полярным расстоянием Θ) и тремя — в декартовой системе координат, которые можно выразить косинусами углов, образованных заданным направлением движения с положительными направлениями координатных осей.

Скорость перемещения алгебраически характеризуют одним признаком. Диапазон возможных направлений и скоростей перемещения зависит от степени ограниченности пространства, в котором такое перемещение возможно, усилия, развиваемого рыбой, и т. д. Каждый из указанных признаков может принимать бесчисленное множество значений. Разбивая диапазон изменения отдельных признаков на ряд участков, получим интервалы, которые определяют классы направлений и скоростей перемещения.

Каждый признак можно представить в виде координатной оси, поэтому при использовании, например, сферической системы координат получим трехмерное пространство, ограниченное пределами изменения признаков. Если это пространство разбить на интервалы, соответствующие интервалам классов, то каждый интервал на графике будет соответствовать определенному классу. Каждая точка внутри этого пространства представляет отдельную реализацию рассматриваемого элемента поведения и может быть представлена в виде некоторого вектора в пространстве реализаций.

Поведение рыбы в общем случае не является стационарным процессом, поэтому однократное создание модели поведения рыбы соответствует лишь определенному промежутку времени, внутри которого признаки и их реализации либо остаются неизменными, либо изменяются незначительно. Таким образом, интервал времени, в течение которого рассматривается поведение рыб, необходимо разбить на ряд периодов и для каждого периода построить модель поведения.

Совокупность отдельных реализаций поведения, полученных для p различных промежутков времени, можно назвать реализацией поведения. Реализация поведения рыбы может быть представлена точкой в S -мерном пространстве, где

$$S = pT. \quad (2)$$

При построении модели поведения рыбы выбор диапазона изменения отдельных признаков обычно не вызывает затруднений. Значительно сложнее рационально разбить эти диапазоны на интервалы, определяющие классы направлений и скоростей. Увеличение числа интервалов повышает точность оценки поведения, но одновременно требует увеличения количества исходных данных для такой оценки, поэтому диапазон изменения признаков следует разбивать лишь на такое количество интервалов, которое достаточно для практического решения задачи. Например, при исследовании поведения рыбы у крыла ставного невода в простейшем случае важно установить, куда пойдет рыба — вправо или влево вдоль крыла или отвернет от него. В этом случае диапазон возможных направлений перемещения достаточно разбить на три интервала, а диапазон возможных скоростей перемещения не разбивать на интервалы совершенно. При исследовании поведения рыбы в зоне действия трала необходима большая точность в оценке направления и скорости перемещения рыбы. В зависимости от положения

рыбы относительно орудия лова, вида и конструкции трала и т. д. диапазон возможных направлений перемещения следует разбивать на четыре—восемь участков, обычно неодинаковых по величине. Диапазон возможных скоростей перемещения в этом случае достаточно делить на два-три интервала.

Продолжительность периодов, для которых строится модель поведения рыбы, зависит в основном от скорости изменения параметров движения рыбы, значимости изменения положения рыбы относительно орудия лова и других источников физического поля. Если принимать во внимание только первый фактор, то эта продолжительность должна быть соразмерима с периодом, в течение которого поведение рыбы соответствует одному классу. Влияние второго фактора сказывается только тогда, когда при изменении положения рыбы в зоне действия орудия лова изменяется необходимая точность оценки параметров ее перемещения и это служит основанием для уменьшения продолжительности периода.

ВИДЫ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ЛОВА

Важным вопросом теории управления объектом лова является классификация видов и способов управления. От характера решения этой задачи в значительной степени зависит направление дальнейших исследований в этой области. Будем классифицировать управление объектом лова по способу передачи и биологической эффективности информации, способу управления и, наконец, по принципу действия систем управления. Очевидно, возможна классификация управления объектом лова и по другим признакам, например, по биологической значимости раздражителя, характеру реакции на раздражитель (положительная, отрицательная, нейтральная) и т. д.

По способу передачи информации будем различать контактное и неконтактное управление. Контактное управление осуществляется при непосредственном соприкосновении объекта лова с элементами орудия лова. Неконтактное управление связано с действием на рыбу физических полей, образованных орудиями лова и средствами интенсификации промысла. Физические поля могут быть источником или средством передачи информации.

При неконтактном управлении следует различать управление в зависимости от физической природы управляющего поля (управление с помощью световых, электрических, акустических и других видов полей) и от биологической эффективности действия поля.

По последнему признаку следует различать управление, основанное на принципе энергетического взаимодействия, когда биологические эффекты пропорциональны интенсивности воздействующих полей, и управление, основанное на принципе собственно информационного взаимодействия, при котором биологические эффекты, обусловленные этими взаимодействиями, зависят не от величины энергии, а от количества информации, воспринимаемой рыбой.

При энергетическом взаимодействии происходит преобразование энергии физического поля в другие ее формы. Однако информационную сторону взаимодействия физических полей с объектом лова довольно часто необходимо учитывать при анализе таких явно энергетических воздействий, как тепловые, электрические и т. д. Особенно полезен информационный подход к действию физических полей малой интенсивности, когда энергетические эффекты становятся невозможными.

Управление объектом лова должно способствовать попаданию рыбы в зону действия орудия лова и уменьшению вероятности ухода из нее. Это может быть достигнуто различными способами. Соответственно будем различать следующие основные способы управления:

путем использования направляющих функций элементов орудий лова как механических преград и физических полей;

с использованием задерживающих функций элементов орудий лова как механических преград и физических полей;

путем существенного изменения двигательной активности рыб;

по принципу наименьшего воздействия орудий лова на объект промысла;

путем уменьшения вредного влияния на рыбу различных неуправляющих воздействий (кроме вредных воздействий орудий лова);

путем дезориентации рыбы.

Управление в процессе лова может одновременно или последовательно осуществляться различными способами. Рассмотрим некоторые особенности указанных способов управления.

Управление с использованием направляющих свойств орудий лова и средств интенсификации промысла можно осуществить при свободном и полностью или частично принудительном перемещении рыбы.

При свободном перемещении рыба определяет направление в физическом поле, используя неравномерность углового распределения ощущений в отдельных точках поля, изменение интенсивности поля в пространстве (следование «по градиенту» или по линиям равных ощущений), разницу в интенсивности действия поля на нервные окончания, расположенные в различных точках тела рыбы, которая обусловлена не характером углового распределения ощущений, а одновременным действием на рыбу нескольких физических полей.

При перемещении физического поля или изменении его интенсивности рыба может направленно перемещаться вслед за стимулом или от него.

Полностью или частично принудительное перемещение рыбы можно осуществить с помощью подвижных, а иногда и неподвижных элементов орудий лова как механических преград, гидродинамических и электрических полей постоянного тока.

Управление с использованием задерживающих свойств элементов орудий лова как механической преграды не требует пояснений. Если в этой роли выступают физические поля, то следует различать два случая управляющего воздействия. Первый из них, наиболее распространенный, наблюдается при отрицательной реакции рыбы на поле, когда она не проходит обычно дальше его зоны обнаружения; второй — характерен для рыб с положительной реакцией, когда рыба заходит в зону действия поля и задерживается в ней. В обоих случаях физическое поле может выполнять роль заграждения лишь при определенных количественных и качественных его показателях.

Существенное изменение двигательной активности рыбы, как метод управления поведением рыб, осуществимо в основном с помощью физических полей. В принципе этот способ можно реализовать и механическим путем (например, путем создания стесненных условий с помощью элементов орудий лова или плотной концентрации рыбы). Большее значение имеет снижение двигательной активности. Оно достигается обычно при безусловном действии некоторых физических полей определенной интенсивности и качественного состава (электрических,

тепловых, плотности массы). Повышение двигательной активности рыб возможно как при условном так и безусловном действии практически всех видов физических полей.

Управление по принципу наименьшего воздействия орудий лова на объект промысла преследует цель сохранения до определенного времени естественного поведения рыбы. Его можно осуществить путем уменьшения интенсивности физического поля орудия лова, сигналы которого вредно влияют на поведение рыбы, использованием вспомогательных источников полей, уменьшающих вероятность отрицательного влияния или обнаружения рыбой физических полей орудия лова, изменением функций рецепторов и свойств поля управления.

К вредным неуправляющим воздействиям относится обширная группа воздействий, мешающих выполнению задач управления. Такую роль играют в большинстве случаев воздействия акустического поля судов и промышленных механизмов, естественного светового поля при лове рыбы с применением искусственного света, различные биосигналы, увеличивающие защитные свойства скопления в зоне действия орудий лова, и многие другие. Уменьшить или полностью уничтожить влияние вредных воздействий на рыбу можно теми же способами, которые применимы для управления по принципу наименьшего воздействия.

Дезориентация рыбы связана с таким воздействием физических полей на нее, в результате которого она принимает неверное решение, приводящее к увеличению вероятности ее поимки. Дезориентировать рыбу можно применением механических систем или физических полей, затрудняющих выбор направления для выхода рыбы из зоны ощущений орудий лова или заставляющих ее перемещаться в ложном направлении; использованием физических полей, отвлекающих рыбу от опасности в виде орудия лова; применением нескольких видов физических полей, оказывающих на рыбу различное действие и ставящих перед рыбой проблему выбора, и т. д.

По виду систем управления будем различать управление с помощью незамкнутых и замкнутых систем, которые можно классифицировать так же, как это принято в теории автоматического управления. Краткая характеристика систем управления в соответствии с этой классификацией будет дана ниже.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ЛОВА

Система управления объектом лова, как и всякая система управления, состоит из трех основных элементов: объекта управления (объекта лова), поля управления (внешней среды) и управляющей системы, которая включает, в частности, орудие лова и средства интенсификации промысла.

Под объектом управления следует понимать совокупность рыб, которые подвергаются управляющему действию со стороны орудия лова и физических средств интенсификации промысла. Не останавливаясь здесь на внутренних процессах, протекающих в объектах управления, рассмотрим, какие внешние воздействия на рыбу необходимо учитывать при анализе работы систем управления.

В теории автоматического регулирования все внешние воздействия на объект управления принято подразделять на контролируемые $A=f(a_1; a_2; \dots; a_n)$ и неконтролируемые $C=f(c_1; c_2; \dots; c_n)$. Контролируемые и неконтролируемые величины, по которым ведется управление, называются управляющими $B=f(b_1; b_2; \dots; b_n)$.

Особенность управления объектом лова состоит в том, что в процессе лова не измеряют величин, которые непосредственно определяют внешние воздействия на рыбу. В лучшем случае контролируют параметры некоторых источников внешних воздействий (главным образом орудий лова и средств интенсификации промысла). По-видимому, в дальнейшем контроль за величиной даже основных внешних воздействий производиться не будет из-за технических трудностей. В то же время контроль за параметрами источников внешних воздействий, а также параметрами физических полей в некоторых их точках будет развиваться. Будем считать внешние воздействия контролируемыми, если контроль осуществляется хотя бы одним из двух указанных способов. Контроль за внешними воздействиями всегда связан с необходимостью решения технических задач различной степени сложности и материальными затратами, поэтому его следует осуществлять лишь тогда, когда это способствует совершенствованию функций системы управления.

К управляющим будем относить только контролируемые и неконтролируемые внешние воздействия, источниками которых являются орудия лова и средства интенсификации промысла и которые способствуют выполнению задач управления объектом лова. Элементы орудий лова и средства интенсификации промысла обычно оказывают управляющее воздействие только в некоторой части зоны их действия. Все неуправляющие внешние воздействия орудий лова и средств интенсификации промысла, а также внешние воздействия других источников будем относить к неуправляющим контролируемым или неконтролируемым внешним воздействиям, независимо от того, способствуют или препятствуют они успешному лову рыбы.

По известным начальным условиям и внешним воздействиям A , B и C с учетом протекания процессов внутри самого объекта можно в принципе найти выходные управляемые величины $X = f(x_1; x_2; \dots; x_n)$, к которым мы относим направление и скорость перемещения рыбы. Однако из-за сложности и недостаточной изученности внутренних процессов в объекте лова преждевременно ставить вопрос о составлении уравнений, связывающих все рассматриваемые величины. Хотя достаточно правильное описание реакции объекта лова как биологической системы на внешние воздействия возможно лишь при использовании сложных математических моделей, весьма полезными могут оказаться попытки моделирования с помощью сравнительно простого математического описания. Как указывает Дж. Милсум, основная особенность биологических систем управления состоит в том, что несмотря на многоканальность линий связи и использование статистического метода передачи информации, что препятствует детальному исследованию систем, они выполняют довольно простые функции. Это подтверждает возможность моделирования путем применения сравнительно несложного математического аппарата. По существу, в некоторых случаях при действии на рыбу гидродинамических, световых, электрических и тепловых полей приближенное моделирование можно выполнить уже сейчас.

Поле управления в нашем случае удобно рассматривать, с одной стороны, как источник внешних контролируемых и неконтролируемых воздействий (шумов), с другой, как канал, по которому происходит передача внешних воздействий от различных источников к объекту лова.

Шумы источников поля управления могут играть роль помех или полезных с точки зрения управления сигналов. Помехи ухудшают усло-

вия приема управляющих воздействий, изменяют размеры, форму и структуру зоны управляющего действия орудий лова и средств интенсификации промысла в сторону, противоположную той, которая необходима для успешного управления. Полезные шумы, наоборот, улучшают свойства зоны ощущений. Помехи и полезные шумы могут влиять на объект лова не только «смешиваясь» с сигналами, но и оказывать «самостоятельное» информационное воздействие. С точки зрения результатов лова, такое воздействие может иметь различные последствия, как положительные, так и отрицательные.

Поле управления как канал передачи внешних воздействий к объекту лова (канал связи при информационном воздействии) характеризуется в общем случае условиями распространения физических полей, стабильностью передачи внешних воздействий, достоверностью передаваемой информации, пропускной способностью.

Условия распространения физических полей влияют на количественную, а иногда и качественную сторону внешних воздействий на объект лова и характеризуются в основном интенсивностью ослабления и характером изменения качественного состава физических полей при удалении от источника поля. Они зависят от таких свойств водной среды, как прозрачность, электропроводность, вязкость, теплопроводность и т. д., а в ограниченном водном пространстве — от граничных условий на поверхностях раздела¹.

Стабильность передачи внешних воздействий зависит в основном от степени изменения гидрологических условий, распределения рыбы в водоеме, а также от характера влияния этих изменений на характеристику физических полей.

Достоверность передаваемой информации в связи с передачей ее по каналу связи зависит от уровня помех и степени изменения параметров сигнала в поле управления.

Пропускная способность физических полей, служащих для передачи информации, определяет то количество информации, которую способен передать канал связи в единицу времени. С точки зрения информационной емкости будем различать волновые поля (акустические, электромагнитные), которые позволяют передавать сигналы с различной амплитудой и частотой, и статические (все другие виды полей), в которых информация отличается лишь амплитудой. Естественно, что пропускная способность волновых полей значительно больше, чем статических, и они несут обычно больший объем информации.

Управляющая система может состоять из ряда элементов, выполняющих различные функции. В общем случае такая система включает исполнительное устройство (орудия лова и средства интенсификации промысла); измерительные устройства, предназначенные для получения данных об интенсивности действия физических полей на рыбу и о положении и параметрах перемещения объекта лова в рассматриваемый момент времени; устройства сравнения, в которых данные о действительном положении и параметрах перемещения объекта лова сравниваются с величиной уставки, задаваемой с помощью особого устройства и характеризующей требуемые в данный момент времени положение и параметры движения рыбы; усилитель, который подает результаты рассогласования на исполнительное устройство с тем, чтобы оно изменило свои параметры, ориентацию или характер перемещения и попыталось воздействовать на объект лова так, чтобы уменьшить рас-

¹ Источник внешних воздействий может быть расположен вне воды и тогда необходимо учитывать свойства воздушной среды.

согласование. Естественно, что отдельные элементы управляющей системы могут отсутствовать, и в простейшем случае она состоит только из исполнительного устройства.

Систему управления объектом лова, как и любые системы управления, можно изобразить в виде функциональных и структурных схем. На функциональной схеме каждому элементу системы соответствует определенное звено, она позволяет проследить путь управляющего воздействия от одного элемента системы к другому. В структурной системе каждое звено соответствует определенной математической операции преобразования внешнего воздействия. В зависимости от полноты математического описания и особенностей математических моделей различных звеньев для одной и той же системы управления можно составить различные структурные схемы. Функциональные схемы некоторых систем управления объектом лова будут приведены ниже при описании этих систем.

ВИДЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ЛОВА

Как уже отмечалось, управление объектом лова можно осуществить с помощью систем управления, работающих на различном принципе. Схемы таких систем мало чем отличаются от тех, которые разработаны теорией автоматического регулирования. Однако ряд особенностей управления объектом лова дает основание рассмотреть основные схемы управления с учетом этих особенностей.

Разомкнутые системы управления. В разомкнутых системах управления управляющие воздействия задаются без учета действительного состояния и положения объекта лова. Основанием для выбора управляющих воздействий в этом случае служит цель управления, известные условия внешней среды и априорные данные о возможной реакции рыбы на действующие в рассматриваемых условиях раздражители. В принципе разомкнутые системы управления должны работать при контролируемых внешних воздействиях. В нашем случае разомкнутые системы управления в ущерб эффективности управления могут работать и с неконтролируемыми внешними воздействиями. В разомкнутых системах управления информация содержится в виде «компонента структуры» элементов орудий лова или сигналов, источником которых являются орудия лова, средства интенсификации промысла и т. д. Каждой системе соответствует определенное количество связанной информации, обусловленное качественной определенностью орудия лова и средств интенсификации промысла. Эта информация характеризует степень сложности системы. Количество связанной информации в такой системе не остается постоянным. Оно изменяется при изменении положения и формы орудий лова, параметров, источников средств интенсификации. Без вмешательства извне такая система способна лишь терять информацию, например при разрушении орудия лова.

В разомкнутых системах управления объектом лова будем различать постоянное и переменное во времени управляющее воздействие.

Учитывая специфику систем управления объектом лова, будем считать управляющее воздействие постоянным во времени, если выходной сигнал управляющей системы остается постоянным или подвергается случайным стационарным колебаниям, связанным со случайными колебаниями параметров источника поля. При этом сигнал, воспринимаемый объектом лова, в общем случае будет непостоянным в результате

изменения положения орудия лова и других источников поля относительно объекта лова, колебания свойств внешней среды и т. д. (рис. 1).

Управление объектом лова с помощью незамкнутых систем управления с постоянным во времени управляющим воздействием в настоящее время является основным способом управления, характерным для многих сетных орудий лова и средств интенсификации промысла.

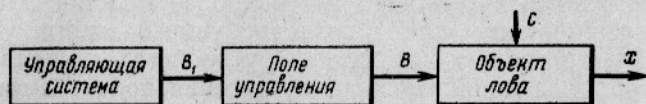


Рис. 1. Схема управления при постоянном во времени управляющем воздействии.

При переменных во времени управляющих воздействиях в разомкнутых системах будем различать управление по возмущению и программное управление по системе жесткого регулирования.

Управление по возмущению следует применять для компенсации изменения внешних воздействий на объект лова. Изменение внешних воздействий в процессе лова обычно связано с колебаниями гидрологических, метеорологических и астрономических условий, появлением индустриальных помех или помех биологического происхождения и т. д. При таком способе управления нет причинной связи между изменением поведения и состояния объекта лова и действием компенсирующих средств на рыбу. Функциональная схема управления по возмущению имеет вид, показанный на рис. 2.

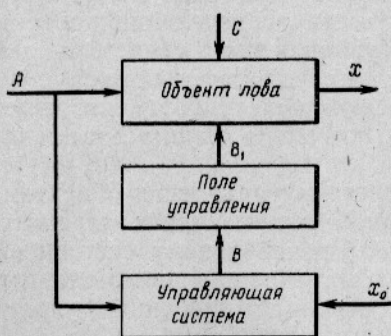


Рис. 2. Функциональная схема управления по возмущению.

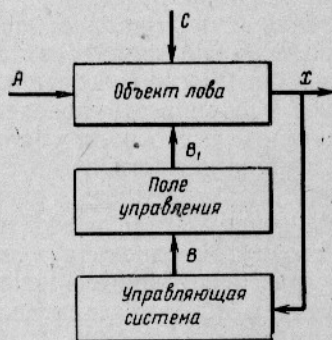
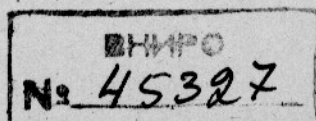


Рис. 3. Схема управления объектом лова, когда известно точное математическое описание объекта.

Программное управление по разомкнутой системе жесткого регулирования ведется по заданному закону изменения управляющих величин, который обеспечивает требуемый закон изменения управляемых величин. Наиболее успешно такая схема применяется тогда, когда известно точное описание объекта управления (реакция рыбы на известные воздействия), а все внешние неуправляющие воздействия невелики или путем регулирования по возмущению их влияние может быть сведено до минимума. Трудность применения этого метода управления состоит в том, что зависимость между управляющими и управляемыми величинами сложна и не всегда однозначна. Однако, имея некоторые данные о характере и степени влияния внешних воздействий (например, физических полей на рыбу), можно составить программу измене-



ния управляющей величины. Примером управления по рассматриваемой схеме является способ лова рыбы с применением света, основанный на периодическом изменении напряжения, подаваемого на источник света, или регулировании глубины погружения источника с залавливающим устройством.

Программа может задаваться или непосредственно в виде закона изменения управляющей величины B (наиболее простой и пригодный в нашем случае вариант), или в виде требуемого закона управления X_0 , по которому с помощью специального устройства вычисляется соответствующая управляющая величина B , которая подается на управление объектом лова. Второй вариант в принципе пригоден для управления объектом лова, если известно точное математическое описание объекта.

Схема управления по первому варианту не отличается от изображенной на рис. 2, а схема управления по второму варианту показана на рис. 3.

Замкнутые системы управления. Для замкнутых систем управления характерно использование информации по принципу обратной связи. Управление объектом лова по принципу обратной связи — это процесс, который вопреки изменению условий промысла и неблагоприятному поведению объекта лова стремится привести систему управления в состояние, обеспечивающее наибольший промысловый эффект. Система управления объектом лова, работающая по принципу обратной связи, позволяет хранить, накапливать и преобразовывать поступающую информацию, а также использовать ее для управления своим поведением, для улучшения управляющего воздействия. В такой системе различают заданное (оптимальное) состояние системы, которое характеризуется наиболее благоприятным распределением объекта лова в поле управления и состоянием управляющих средств, и действительное. Оптимальное состояние системы может изменяться в зависимости от особенностей поведения рыбы в поле управления, колебания параметров самого поля управления, состояния орудия лова и средств интенсификации промысла и т. д.

Как и любые реальные системы, система управления объектом лова никогда не находится в оптимальном состоянии и лишь стремится достичь его путем перехода в наиболее близкое к нему состояние. Различие (рассогласование) между действительным и оптимальным распределением объекта лова является основной причиной управления объектом лова.

В замкнутых системах, где управляющее воздействие зависит непосредственно от управляемой величины, можно реализовать несколько принципов управления. Простейшим из них является принцип управления по отклонению. Он приемлем при наличии неконтролируемых воздействий на объект лова и при недостаточно полном его описании. Интенсивность и характер управляющих воздействий в этом случае зависят от степени рассогласования. Контроль за положением объекта лова может осуществляться с помощью различных средств подводных наблюдений, а уменьшение рассогласования — путем изменения параметров, ориентации и характера перемещения орудий лова и средств интенсификации промысла (рис. 4).

Более сложным является программное управление по отклонению (рис. 5). Необходимость применения замкнутых систем при программном управлении возникает в тех случаях, когда наблюдаются неуправляющие воздействия, которые в значительной степени влияют на поведение рыб.

В этом случае в управляющее устройство поступают две величины: требуемый (эталонный) закон изменения управляемой величины (уставка) X_0 и фактическое значение управляемой величины X . Эталонное распределение рыбы в отдельные моменты времени сравнивается с действительным распределением и на основе этого вырабатывается

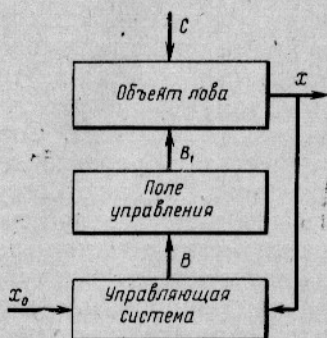


Рис. 4. Функциональная схема управления объектом лова по отклонению.

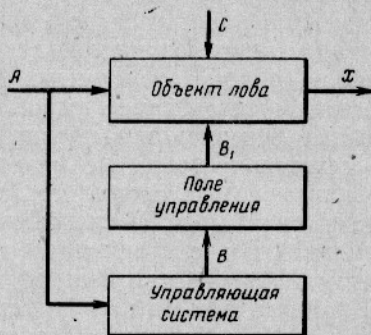


Рис. 5. Схема программного управления по отклонению.

управляющее воздействие, сокращающее рассогласование до минимума. Процесс сравнения и выработка на этой основе управляющего воздействия являются наиболее сложной частью управления по этой схеме.

К замкнутым относятся также самонастраивающиеся системы, которые позволяют поддерживать экстремум управляемой величины. Для этого на объект лова подаются пробные воздействия со стороны управляющей системы δX (рис. 6), анализируется характер поведения рыбы в результате этого пробного воздействия и затем устанавливается управляющее воздействие, приближающее положение объекта лова к оптимальному. Важным условием успешного применения этого метода для управления поведением является наличие существенных, но медленно изменяющихся внешних воздействий (например, изменения естественного светового режима при лове рыбы с применением искусственного света). Это перспективная, хотя и сложная система управления объектом лова.

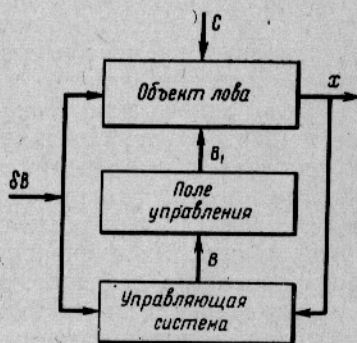


Рис. 6. Схема самонастраивающейся системы.

Наиболее сложной является самообучающаяся система управления. Чтобы такая система обеспечила оптимальные условия работы, она должна запоминать режимы управления при различном поведении рыбы, автоматически накапливать опыт управления. В зависимости от значений входных и выходных величин такая система выбирает из памяти нужные значения управляющих воздействий. Самонастраивающиеся системы до сих пор не получили широкого распространения в технике в связи с их сложностью. По этой причине, а также потому, что условия для самообучения в нашем случае весьма неблагоприятны, трудно рассчитывать на применение самообучающихся систем в рыболовстве в ближайшее время.

Различные виды управления по принципу обратной связи можно совмещать с управлением с помощью незамкнутых систем управления, которое иногда называют компенсационным управлением. При этом компенсационное управление служит для «чернового» управления объектом лова, а управление с обратной связью — для более тонкого управления.

Приведенное описание возможных систем управления объектом лова показывает, что современная техника промышленного рыболовства в основном пользуется самыми несовершенными системами управления, и совершенствование управления объектом лова является одним из главных резервов повышения эффективности промысла. Состояние нашей техники в принципе позволяет осуществлять управление с использованием самых сложных систем управления. Однако отсутствие математических моделей поведения даже для наиболее простых случаев внешних воздействий на объект лова тормозит решение этой теоретически и практически важной задачи. Следует иметь в виду, что на первых порах и весьма приближенные модели поведения могут сыграть важную роль в развитии способов управления поведением рыб в процессе лова.

Начиная разработки систем управления объектом лова, следует представлять всю сложность и трудоемкость задачи. Не случайно, например, по американским источникам, проектирование и постройка системы управления снарядами занимает до 10 лет. Создание систем управления объектом лова можно представить как процесс постепенного приближения к окончательному, наиболее рациональному варианту. Важной частью проектирования систем управления объектом лова являются теоретические исследования и основанные на них расчеты, исследование условий промысла и реакции рыбы на различные внешние воздействия. Предварительным итогом таких исследований должен стать выбор вида систем управления, пригодных для решения поставленной задачи, управляющих физических полей и типов орудий лова. Такой предварительный выбор позволяет наметить несколько вариантов основных элементов систем управления. Дальнейший анализ, основанный преимущественно на теоретических методах, должен привести к выбору одного или нескольких основных вариантов, пригодных для дальнейших работ. Предварительная стадия проектирования должна заканчиваться выработкой обоснованных заданий на проектирование. Ошибки на этой стадии проектирования могут существенно осложнить работу, так как они обычно не могут быть своевременно обнаружены и исправлены. За предварительной стадией следуют обычные этапы проектирования: эскизное, техническое и рабочее. После окончания проектирования и постройки системы управления должны начаться испытания и доводка системы управления. На этой стадии сравнивается действительное управляющее действие системы с тем, которое должно иметь место на основании расчетов и исследований. Если наблюдаются серьезные отклонения, то главная задача состоит в выяснении причин расхождения между заданием и результатом и выработке способов их устранения. Если устранение недостатков в работе системы возможно, то производится ее доводка и сдача в эксплуатацию.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Процесс управления не всегда приводит к нужным результатам. Это объясняется тем, что управляющие воздействия в отдельных точках поля ощущений не всегда соответствуют тем, которые обеспечивают

выполнение управляющих функций. Кроме того, на выполнение задачи влияют различные случайные факторы. Это позволяет ставить вопрос об эффективности управления, связывая его с вероятностью выполнения задачи управления. Очевидно, эта задача может быть решена при условии выполнения задач управления в отдельных точках зоны действия поля орудия лова.

Будем считать, что поле управления ограничено областью V , и в этой области выдача управляющих воздействий производится с плотностью вероятности $\beta(x; y; z)$, а при получении управляющих воздействий задача управления решается с вероятностью $F_a(x; y; z)$. Тогда вероятность выполнения задачи управления можно определить по формуле

$$P = \iiint_V \beta(x; y; z) \cdot F_a(x; y; z) dx dy dz. \quad (3)$$

Величина P является количественной мерой эффективности управления. Функция $F_a(x; y; z)$ зависит от степени совершенства сигнала в каждой точке поля и, следовательно, от свойств управляющей системы и поля управления и особенностей реакции рыбы на это воздействие. В связи с этим функция $F_a(x; y; z)$ может быть представлена в виде двух функций: $F'_a(x; y; z)$, которая характеризует плотность вероятности получения объектом лова совершенного сигнала, и $F''_a(x; y; z)$, определяющей плотность вероятности нужной реакции при заданной степени совершенства сигнала. Тогда

$$P = \iiint_V \beta(x; y; z) F'_a(x; y; z) F''_a(x; y; z) dx dy dz. \quad (3')$$

Определение P связано с большими трудностями, так как требует знания характера и степени влияния самых разнообразных факторов на ее величину. Особенно затруднено определение функции F_a . Кроме того, основная цель определения P состоит в оценке эффективности действия управляющей системы. В то же время значительное число факторов, определяющих P , непосредственно не связано с параметрами управляющей системы, поэтому удобно ввести показатель эффективности управляющей системы в виде отношения вероятности P выполнения задачи управления рассматриваемой управляющей системой к максимально возможному ее значению $P_{\max}$ при использовании образцовой управляющей системы¹.

Значения функции эффективности действия F_a и размеры зоны действия поля выражаются сложными аналитическими зависимостями и их прямое интегрирование невозможно, поэтому следует стремиться аппроксимировать F_a и V простейшими аналитическими выражениями.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Управление объектом лова осуществляется в основном с помощью физических полей, причем их взаимодействие может носить энергетический и информационный характер. Вопрос энергетического взаимодействия для частных видов полей (световых, акустических), а также общие соображения по этому вопросу изложены нами ранее, поэтому здесь будут даны лишь основные представления об этом виде взаимодействия.

¹ Под образцовой следует понимать такую управляющую систему, которая является источником оптимальных управляющих воздействий.

При энергетическом воздействии физических полей на рыбу происходит преобразование энергии поля в энергию той формы движения материи, которая определяет уровень реакции объекта лова на это физическое поле. Эффективность энергетического воздействия на рыбу однородного по составу физического поля можно оценить условно-эффективной величиной F , которая пропорциональна мере реакции приемника при действии этого поля и определяется по формуле

$$F = v R, \quad (4)$$

где R — величина, характеризующая энергию поля, падающую на соответствующий приемник рыбы;
 v — чувствительность приемника.

Если на рыбу действует неоднородное по качественному составу поле со сплошным спектром, то F можно найти по формуле

$$F = (v_{\lambda})_{\text{м}} \int_0^{\infty} v_0(\lambda) R(\lambda) d\lambda, \quad (4')$$

где $R(\lambda)$ — величина, характеризующая спектральную плотность энергии, падающей на приемник рыбы;
 $v_0(\lambda)$ — относительная спектральная чувствительность приемника;
 $(v_{\lambda})_{\text{м}}$ — максимальное значение спектральной чувствительности приемника.

Условно-эффективная величина F нелинейно связана с мерой реакции приемника рыбы, поэтому эффективность энергетического действия физических полей на рыбу иногда удобно оценивать с помощью действительно эффективных величин Φ . Они определяются числом порогов чувствительности от нуля до соответствующей условно-эффективной величины. В общем случае Φ можно найти по формуле

$$\Phi = \int_0^F \frac{dF}{\Delta F}, \quad (5)$$

где ΔF — разностный порог чувствительности приемника.

При определении условно и действительно эффективных величин возникают затруднения при выборе $(v_{\lambda})_{\text{м}}$, v , $R(\lambda)$ и R . Для биологических приемников обычно нельзя установить и измерить меру реакции приемника, поэтому вместо $(v_{\lambda})_{\text{м}}$ и v следует принимать условно некоторые удобные значения. При действии на рыбу неоднородных по качественному составу полей этот вопрос решается выбором системы эффективных величин. Так, при действии на рыбу светового поля за основу можно принимать систему световых величин и считать $(v_{\lambda})_{\text{м}} = 683$ или систему энергетических величин, когда $(v_{\lambda})_{\text{м}} = 1$. При оценке действия других физических полей на рыбу в большинстве случаев также удобно исходить из энергетической системы единиц и считать $(v)_{\text{м}}$ и v равными единице.

Величины $R(\lambda)$ и R необходимо выбирать с учетом природы воздействия физического поля на рыбу. Однако, во-первых, природа воздействия не всегда известна, во-вторых, часто возникают затруднения при практическом определении этих величин. Для оценки эффективности энергетического действия физических полей на рыбу в настоящее время наиболее пригодны следующие величины: лучистая яркость, или облученность (световое поле); истинное напряжение тела рыбы, или суммарная сила тока, протекающего через тело рыбы (электрическое поле); акустическое давление и смещение частиц жидкости (акустиче-

ское поле); количество молекул, или масса активного вещества, соприкасающегося с обонятельным или вкусовым анализатором в единицу времени (поле плотности массы); гидродинамическая сила, или мощность потока, набегающего на рыбу (гидродинамическое поле); плотность энергии магнитного поля (магнитное поле); разность температур тела рыбы и воды или поглощенная телом рыбы в единицу времени тепловая энергия (тепловое поле).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ ОРУДИЙ ЛОВА И СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОМЫСЛА

Рассмотрим основные положения теории информации, которыми мы в дальнейшем будем пользоваться, поскольку многие из них еще не имеют общепризнанного толкования.

Анализируя работу систем управления объектом лова, можно исходить из различных теорий, видов и свойств информации. Прежде всего необходимо отметить статистическую теорию информации. С точки зрения статистической теории информации само понятие информации может быть представлено как снятая, уничтоженная неопределенность и применимо в сфере любых случайных явлений. В последние годы появилась более широкая (невероятностная) точка зрения на природу информации. Необходимость невероятностного подхода к теории информации связана с тем, что не всякий процесс носит вероятностный характер. Можно указать на такие невероятностные подходы к теории информации, как комбинаторный, динамический, топологический, алгоритмический.

Все упомянутые теории информации изучают с учетом специфики тех или иных структур переход от неопределенности к определенности. В последние годы появились попытки еще более широкого подхода к определению информации. Многие ученые считают, что информация — это разнообразие, а движение разнообразия представляет собой информационные процессы или их проявление. Как указывает А. Л. Урсул, информация — это разнообразие, которое один объект содержит в другом в процессе их взаимодействия. Понятие информации, по Урсулу, охватывает три различных типа разнообразия: сложности, разнообразие отношений порядка, которое характеризует порядок расположения элементов в множестве и указывает на степень упорядоченности множества, и разнообразие любых отношений и взаимосвязей элементов в множестве, показывающее степень организации множества.

Представление информации как разнообразия, хотя и страдает некоторыми методологическими недостатками, весьма ценно при исследовании вопросов управления поведением рыб. Если принять такое представление информации за основу, то в нашем случае информация — это разнообразие, отображающее количественные и качественные различия орудий лова, средств интенсификации промысла, условий внешней среды, объекта лова и взаимодействия между ними. Три типа разнообразия, отмеченные выше, позволяют производить качественную и количественную оценку самых различных систем управления объектом лова и процессов, проходящих в них. Такое определение информации дает возможность рассматривать с информационной точки зрения воздействие на рыбу даже таких полей, как электрические, гидродинамические, тепловые, и механических преград, поскольку и в этом случае объект лова фиксирует изменение (разнообразие) внешних условий.

Оно позволяет также использовать для решения конкретных задач количественные и качественные зависимости, разработанные различными теориями информации.

Из всех теорий информации наибольшее распространение и математическое обоснование получила статистическая теория, математическим аппаратом которой мы и будем в основном пользоваться.

Сигнал, шум, пороговые значения, характеризующие чувствительность рыбы к физическому полю, само поле ощущений наиболее полно и правильно можно описать на основе их вероятностно-статистического анализа. Такое описание производят с помощью отдельных числовых характеристик закона распределения случайной величины. В теории информации для характеристики систематической случайной составляющей, как и в теории вероятности, используют значение математического ожидания, а для характеристики случайной составляющей вместо всех моментов более высоких порядков применяют энтропию как своеобразный момент, характеризующий неопределенность рассматриваемой величины.

Для вычисления неопределенности сигнала, шума и пороговых значений в некоторой точке поля необходимо знать количество показателей, характеризующих каждый из них, законы распределения показателей и связь между ними в вероятностном смысле. Статистический анализ показывает, что сигнал, шум и пороговое значение могут быть описаны одним или несколькими признаками с различными законами распределения, причем признаки могут быть зависимыми или независимыми. Сигнал, шум, пороговые значения и поле ощущений в некоторой точке водоема в общем случае характеризуются n -мерными функциями плотности вероятности (каждая одномерная функция характеризует плотность вероятности соответствующей величины в определенном направлении).

Энтропию $H(x)$ n -мерного распределения можно найти по известной формуле

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} p(x_1; \dots x_n) \log [\theta_1 \dots \theta_n p(x_1; \dots x_n)] dx_1 \dots dx_n, \quad (6)$$

где $p(x_1; \dots x_n)$ — многомерная функция плотности вероятности;

θ — интервал дискретности по i -му параметру, который выбирается, исходя из допусков на точность измерений, существующего уровня помех и т. д.

Эту же энтропию можно найти из выражения, представляющего обобщенное понятие условий энтропий.

Выражение (6) предполагает существование между параметрами x_i статистической связи. Такая связь существует, например, между параметрами, характеризующими угловое распределение света в водоеме. Если статистическая связь между параметрами отсутствует, то энтропию можно определить по формуле, которая является частным случаем предыдущей (при статистической независимости параметров x_i). Когда сигнал, шум, пороговое значение и само поле ощущений в некоторой точке водоема характеризуются одномерными функциями распределения (например, при исследовании действия на рыбу поля плотности массы, теплового поля и т. д.), то энтропию можно вычислить по формуле

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log p(x) dx - \log \theta. \quad (7)$$

Среди законов распределения случайных величин при исследовании зоны действия орудий лова наибольшее распространение получило одномерное или многомерное нормальное распределение. Нормальный закон распределения часто встречается при статистическом описании сигнала и шума, при определении порогового значения большой совокупности рыб.

Энтропия H_N некоторой величины x , имеющей центрированное нормальное распределение с дисперсией σ^2 и плотностью вероятности

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

равна

$$H_N = -\log \frac{\theta}{\sqrt{2\pi}\sigma} + \frac{1}{2} \log e. \quad (9)$$

По аналогичным, но значительно более сложным формулам определяют энтропию n -мерного нормального распределения.

Зная энтропию сигнала, шума и пороговых значений, можно вычислить энтропию в отдельных точках зоны действия поля. Некоторые параметры, определяющие зону действия поля, являются зависимыми, другие — независимыми. Например, сигнал и шум при исследовании зоны действия светового поля обычно не связаны между собой, а пороговое значение в общем случае зависит от уровня сигнала и шума. В этом случае сначала определяют энтропию системы зависимых параметров, а затем полученную энтропию складывают с энтропией остальных параметров.

Энтропию в отдельных точках поля можно находить не только по энтропии сигнала, шума и пороговых значений, но и после вычисления по этим параметрам величин, непосредственно характеризующих зону действия поля в рассматриваемой точке.

ЭНТРОПИЯ ВЫБОРА РЫБОЙ ЧАСТНОГО ПОВЕДЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ РЫБЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ОРУДИЙ ЛОВА

Как уже отмечалось, поведение рыбы в зоне действия орудий лова и средств интенсификации промысла носит случайный характер и, следовательно, характеризуется неопределенностью. Для снятия этой неопределенности объект лова должен получить некоторое количество информации. Чтобы определить энтропию выбора частного поведения, воспользуемся некоторыми положениями теории информации, причем под событием — термином, принятым в теории информации, — будем понимать такую совокупность проявлений реакции рыбы, которая однозначно и полностью характеризует рассматриваемые стороны ее поведения.

Минимальное количество информации, которую должен переработать объект лова, чтобы его поведение соответствовало заданному, равно в каждой точке энтропии H_0 выбора частного поведения объекта лова из общего набора возможных поведений N_0 . Эту энтропию можно определить по известной из теории информации формуле Шеннона [71]

$$H_0 = - \sum_{i=1}^{N_0} p_i \log_2 p_i, \quad (10)$$

где p_i — вероятность нахождения объекта лова в i -ом частном поведении.

Когда

$$\begin{aligned} p_i &= \text{const}, \\ H_0 &= \log_2 N_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Выбор объектом лова частного поведения из N_0 возможных поведения можно разбить на ряд этапов. Наиболее характерными из них в общем случае являются этапы обнаружения, ориентировочной, условной и безусловной реакций. Эти этапы соответствуют основным участкам поля (например, зону безусловного действия поля переменного электрического тока можно разбить на три этапа: возбуждения, угнетения и электрошока).

В ходе осуществления этапов управления последовательно уточняется характер поведения объекта лова.

На этапе обнаружения из двух возможных событий осуществляется одно, соответствующее обнаружению или пропуску рыбой физического поля. Следовательно, на этапе обнаружения энтропия выбора рыбой поведения

$$H_{\text{обн}} = - \sum_{i=1}^2 p_{i_{\text{обн}}} \log_2 p_{i_{\text{обн}}}. \quad (12)$$

Вероятность $p_{i_{\text{обн}}}$ обнаружения рыбой физического поля будем определять для рыбы, которая попала в зону действия поля, где вероятность обнаружения поля отлична от нуля. Величина $p_{i_{\text{обн}}}$ может изменяться в очень широких пределах и зависит от многих факторов: вида и структуры поля, вида и состояния объекта лова, направления и скорости его перемещения, условий внешней среды и т. д. Соответственно, будет различной и энтропия этапа обнаружения как энтропия опыта с двумя исходами.

На этапе ориентировочной реакции рыба выясняет свое отношение к физическому полю как раздражителю. Поведение рыбы на этом этапе можно считать определенным, если отношение ее к раздражителю выражено как положительное, отрицательное или нейтральное, хотя всегда следует иметь в виду некоторую условность такой оценки реакции, особенно при определении энтропии выбора частного поведения рыбы.

Таким образом, на этапе ориентировочной реакции

$$H_{\text{ор}} = - \sum_{i=1}^3 p_{i_{\text{ор}}} \log_2 p_{i_{\text{ор}}}. \quad (13)$$

Определение p_i на этапе ориентировочной реакции обычно не вызывает затруднений, если добывается рыба одного вида, пола и примерно одинакового возраста, когда отношение к раздражителю по указанному признаку проявляется как правило, весьма определенно.

На этапе условной и безусловной реакций поведение рыбы в каждой точке можно охарактеризовать направлением и скоростью перемещения рыбы. Для этих этапов будем иметь

$$H_{\text{усл}} = - \sum_{i=1}^{N_{\text{усл}}} p_{i_{\text{усл}}} \log_2 p_{i_{\text{усл}}}; \quad (14)$$

$$H_{\text{б}} = - \sum_{i=1}^{N_{\text{б}}} p_{i_{\text{б}}} \log_2 p_{i_{\text{б}}}. \quad (15)$$

где $N_{усл}$ и $N_б$ — общее число возможных видов поведения рыбы в каждой точке соответственно на этапах условной и безусловной реакций;

$p_{i_{усл}}$ и $p_{i_б}$ — вероятность осуществления каждого из частных видов поведения на тех же этапах.

Общее число частных видов поведения $N_{усл}$ и $N_б$ равно произведению количества возможных направлений перемещения из рассматриваемой точки на число интервалов в диапазоне возможных скоростей перемещения. Метод определения указанных величин рассмотрен ранее при описании модели поведения рыбы в поле ощущений.

Вероятности $p_{i_{усл}}$ и $p_{i_б}$ можно найти, учитывая особенности воздействия физических полей на рыбу, и по данным статистической обработки результатов наблюдений за ее поведением.

Наиболее удобен следующий порядок определения $p_{i_{усл}}$ и $p_{i_б}$. Сначала пытаются выявить класс поведения, вероятность осуществления которого равна 1. Если такого класса нет, то необходимо установить наличие нескольких равновероятных классов поведений. Если и таких классов поведения подобрать нельзя, то следует отобрать те, вероятность осуществления которых равна 0, а затем установить вероятность поведения, соответствующего остальным классам.

Энтропия поведения рыбы в отдельных точках зоны действия поля не остается постоянной. На ее величину влияет характер внешних воздействий, физиологическое состояние рыбы, направление и скорость перемещения рыбы, характер относительного расположения рыбы и срудия лова или других источников физических полей и т. д.

Чаше по мере перемещения рыбы к источнику физического поля в зоне условной и безусловной реакций количество возможных частных видов поведения уменьшается, соответственно уменьшается неопределенность их выбора.

Расчет наибольшей энтропии поведения в отдельных точках зоны действия поля позволяет построить линии равных энтропий и установить степень неопределенности действия зоны как разность между энтропией в точке, где она имеет максимальное значение, и максимальной энтропией в пределах зоны. Однако необходимо иметь в виду, что этот показатель характеризует не только качество зоны ощущений, но и условия внешней среды, особенности реакции рыбы на физическое поле и т. д.

На этапах обнаружения и ориентировочной реакции энтропии $H_{обн}$ и $H_{ор}$ соответствуют минимальному количеству информации, которую должен получить объект лова для ликвидации неопределенности поведения рыбы. Для снятия неопределенности на двух остальных этапах в принципе достаточно сообщить объекту лова количество информации, равное энтропии выбора рыбой поведения в одной из точек зон условной и безусловной реакций, где она имеет максимальное значение H_m .

Таким образом, минимальное количество информации, необходимое для снятия суммарной энтропии поведения на всех этапах управления,

$$I_n = H_{обн} + H_{ор} + H_m. \quad (16)$$

Необходимое количество информации на каждом этапе I_i должно быть получено и переработано в течение некоторого времени T_i , поэтому необходимая средняя скорость поступления информации

$$R_i = \frac{I_i}{T_i}. \quad (17)$$

В процессе управления неопределенно не только поведение рыбы в каждой точке поля ощущений, но и ее положение как объекта управления. Действительно, в результате управления объект лова должен подойти к некоторой поверхности S_1 или попасть в некоторый объем V_1 , где он подвергается улавливающему действию орудия лова. Если рыба находится в некоторой зоне поведенческих реакций, которая ограничена поверхностью площадью S_0 , а объем внутри нее равен V_0 , то неопределенность положения рыбы как объекта управления зависит от соотношения рассматриваемых площадей или объемов, и она будет уменьшаться по мере приближения рыбы к цели управления.

Неопределенность H_{Π} положения рыбы так же, как и энтропию выбора рыбой частного поведения, можно определить по формуле Шеннона, преобразованной для случая равновероятных событий,

$$H_{\Pi} = \log_2 \frac{V_0}{V_1}; \quad (18)$$

$$H_{\Pi} = \log_2 \frac{S_0}{S_1}. \quad (19)$$

Хотя устранение неопределенности положения объекта лова в процессе управления связано с сообщением рыбе управляющей информации, видимо, не существует прямой связи между H_{Π} и количеством информации, необходимой для ликвидации этой неопределенности.

Таким образом, минимальное количество информации, которое должен переработать объект лова в процессе управления его поведением, можно определить по формуле (16). Расчеты показывают, что это количество информации составляет, как правило, 4—6 бит. На самом деле в процессе управления рыба должна переработать обычно значительно большее количество информации, поскольку за время управления в общем случае меняется состояние системы управления, в том числе положение рыбы в поле управления. Кроме того, для усвоения информации обычно требуется некоторая ее избыточность.

Без специально поставленных экспериментов можно лишь строить предположения о действительно перерабатываемом в процессе управления количестве информации, однако сверху это количество ограничено скоростью переработки информации центральной нервной системой рыбы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ В СИГНАЛЕ. ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОМЕХ

Сигнал, который определяет воздействие орудий лова и средств интенсификации промысла на рыбу, в каждой точке водоема можно охарактеризовать функцией $B = f(b_1; b_2; \dots; b_n)$, описывающей его распределение по n -мерному пространству с координатами $b_1, b_2, \dots, b_n$, которые являются признаками сигнала. Если разбить рассматриваемое пространство на элементарные объемы, то каждому i -му объему будет соответствовать сигнал с определенными параметрами.

Общие интервалы изменения аргументов признаков обычно ограничены, и каждый из них может быть разделен на ряд интервалов $k_{b_1}, k_{b_2}, \dots, k_{b_n}$. Тогда в n -мерном пространстве всегда окажется $N = k_{b_1} \cdot k_{b_2} \cdot \dots \cdot k_{b_n}$ элементарных объемов с различными свойствами сигнала. Поскольку в нашем случае отдельные признаки сигнала носят вероятностный характер, то свойства сигнала в каждом элементарном

объеме могут быть установлены лишь с некоторой степенью вероятности. Диапазон различных свойств сигнала также ограничен, поэтому в рассматриваемой точке физического поля может быть лишь конечное число различных градаций сигнала m . Таким образом, в каждой точке поля сигнал может быть описан числом N элементарных объемов, каждый из которых относится к одному из m градаций сигнала. При условии, что вероятности выбора градаций равны, и при статистической независимости каждого из объемов количество информации, которое содержит сигнал, можно определить по формуле [19]

$$I = N \log_2 (m + 1), \quad (20)$$

Поскольку вероятности выбора градаций обычно неравны, то количество информации, определяемое по формуле (20), представляет собой предельный объем информации, которую может нести сигнал с определенными значениями N и m .

Часто необходимо знать не абсолютное количество информации в сигнале, а объем информации, отнесенный к одному элементарному объему,

$$I_{\text{отн}} = \log_2 m, \quad (21)$$

В общем случае в каждой точке поля ощущений, кроме сигнала, на рыбу действуют шумы. Если шумы играют роль помех, то они увеличивают как интервал неопределенности свойств сигнала, так и минимальные значения интервалов изменения признаков сигнала, внутри которых сигнал не различается по своим свойствам. Таким образом, при наличии шумов будет меньше как элементарных объемов N_p , так и возможных градаций m_p . Следовательно, действительное количество информации, воспринимаемое рыбой при действии помех,

$$I_p = N_p \log_2 (m_p + 1). \quad (22)$$

Потери информации ΔI при действии помех

$$\Delta I = I - I_p = N \log_2 (m + 1) - N_p \log_2 (m_p + 1). \quad (23)$$

Рассмотрим, от каких факторов зависят и как определяются N и m при действии на рыбу различных физических полей. Число элементарных объемов с различными признаками сигнала в значительной степени зависит от характера величин, которые определяют воздействие орудий лова и средств интенсификации промысла на рыбу.

К первому виду относятся физические поля, действие которых на рыбу в каждой точке однозначно и характеризуется скалярными величинами, зависящими только от координат точки (тепловые поля, поля плотности массы, акустические поля давления). Для волновых полей такого типа N зависит от частотной характеристики и времени действия сигнала, а для статических — только от времени действия сигнала.

Действие на рыбу полей второго вида характеризуется скалярными величинами — функциями точки и направления (световые поля). Число элементарных объемов N с различными свойствами сигнала для таких видов полей зависит от диапазона длин волн, направления линии зрения и времени действия сигнала. Очевидно, в этом случае количество информации, которое может получить рыба, зависит от ориентации и направления ее зрения.

Величины, определяющие действие на рыбу полей третьего вида, относятся к векторным (гидродинамические поля, акустические поля смещения и т. д.). Число N для волновых полей этого типа зависит от частного диапазона и времени действия сигнала, ориентации рыбы, а для статических полей — от двух последних факторов.

При определении градаций ступеней сигнала m следует исходить из того, что диапазон возможных значений сигнала ограничен, а рыба способна обнаружить лишь такое различие в величине сигнала, при котором отношение этой разницы к одной из величин сигнала превышает дифференциальный порог.¹

Поскольку число различных органами чувств рыбы уровней сигнала ограничено, то возможно дискретизировать сигнал, т. е. перейти к квантованному сигналу. Если принять шаг квантования, равным дифференциальному порогу γ , то при условии, что в рассматриваемом диапазоне значений эффективного сигнала $B_{\max} - B_{\min}$ справедлив закон Вебера—Фехнера, будем иметь:

$$m = \frac{1}{\gamma} \ln \frac{B_{\max}}{B_{\min}}. \quad (24)$$

В более общем случае

$$m = \int_{B_{\min}}^{B_{\max}} \frac{dB}{f(B)}, \quad (25)$$

где $f(B)$ — функция, характеризующая зависимость порога ощущений от эффективной величины сигнала.

Таким образом, число градаций ступеней сигнала m зависит от диапазона возможных значений эффективной величины сигнала и пороговой величины органов чувств рыбы.

При переходе от одной точки зоны ощущений к другой количество информации в сигнале изменяется, так как не остается постоянным число элементарных объемов (колеблется количество интервалов изменения отдельных признаков) и число различных градаций сигнала (колеблется диапазон изменения эффективной величины сигнала и пороговая величина органов чувств рыбы). Как правило, при приближении к источнику сигнала количество информации в нем увеличивается, однако это может сопровождаться как увеличением, так и уменьшением общей ценности информации с точки зрения ее управляющего действия на рыбу.

Наиболее характерно определение количества информации в сигнале при исследовании действия на рыбу светового поля.

Световые поля могут быть средством различения подводных объектов и ориентации в пространстве (информационное воздействие поля) или характеризуют интенсивность освещения в водоеме (энергетическое воздействие поля). При этом второй случай можно рассматривать как частный случай первого.

Световое поле в каждой точке водоема в общем случае может быть списано функцией $B(\lambda, \varphi, \Theta, t)$, которая устанавливает распределение спектральной плотности мощности по длинам волн λ , в различных направлениях (направление взгляда определяется долготой φ и широтой Θ) и по времени t . Таким образом, функция представляет собой распределение величины B в четырехмерном пространстве. Каждому

¹ В ряде случаев вместо дифференциального порога можно принимать во внимание разностный порог ощущения.

i -му объему четырехмерного пространства соответствует величина энергии

$$W_i = \int_{\Delta \lambda_i} \int_{\Delta \varphi_i} \int_{\Delta \theta_i} \int_{\Delta t_i} B(\lambda; \varphi; \theta; t) d\lambda d\varphi d\theta dt. \quad (26)$$

При определении количества информации, которую рыба получает в световом поле при информационном воздействии, будем учитывать распределение энергии лишь в пределах телесного угла, охватывающего изображение рассматриваемого объекта, а при энергетическом воздействии — в пределах поля зрения рыбы. Решение задачи значительно упрощается, если можно пренебречь различием спектральной плотности распределения энергии по различным направлениям.

С учетом этого допущения N и m зависят от диапазона видимых яркостей и пороговой контрастной чувствительности глаза рыбы. Возможный диапазон видимых яркостей зависит в основном от углового распределения яркости в водоеме, цвета рассматриваемого объекта и его ориентации, расстояния до рассматриваемого объекта и направления, в котором он рассматривается. Как показали наши исследования, отношение яркости элементов орудий лова обычно не превышает 30—40, а по данным различных гидрооптических исследований, отношение яркости световых лучей в водоеме по различным направлениям составляет не более 80—100.

Контрастная чувствительность глаза рыбы, по данным В. Р. Протасова, в условиях наблюдения, близких к оптимальным, изменяется от 0,01 до 0,12. Действительная величина контрастной чувствительности может колебаться в значительно больших пределах, так как зависит от интенсивности освещения в водоеме, угловых размеров рассматриваемого объекта, распределения яркости по полю зрения и многих других причин.

Если считать, что восприятие яркости рыбой подчиняется закону Вебера—Фехнера, то число градаций яркости m можно найти по формуле (24). Расчеты показывают, что m в нашем случае колеблется от 1 до нескольких сотен. Однако практически число различных градаций яркости по ряду причин изменяется значительно меньше. Например, для глаза человека в оптимальных условиях число различных градаций яркости составляет всего 30—40 вместо 170—200, получаемых по расчету.

Число элементарных объемов N в стационарном световом поле, служащем для рыбы только средством ориентации в пространстве, зависит в основном от углового распределения света в водоеме, размеров поля зрения и пороговой чувствительности глаза рыбы. Можно считать, что при дневном световом режиме N имеет величину порядка 10^2 , уменьшаясь при переходе от дневного режима освещения к ночному.

Если в световом поле находятся элементы орудия лова или другие объекты, то N зависит не только от указанных выше факторов, но и от размеров, формы, структуры, распределения цвета по поверхности объектов и т. д. Даже с учетом довольно равномерного углового распределения света в водоемах и малой контрастности обычно рассматриваемых рыбой объектов число N в этом случае может быть порядка 10^3 и более.

Таким образом, в стационарном световом поле в водоеме сигнал может нести различное количество информации, причем максимальное ее значение составляет примерно $5 \cdot 10^3$ бит. Для сравнения можно указать, что информационная емкость телевизионных устройств колеблется от $8,8 \cdot 10^4$ до $8,8 \cdot 10^5$ бит.

Если световое поле нестационарно, то при определении количества информации необходимо учитывать изменение светового поля во времени путем квантования по времени. При выборе интервала квантования Δt необходимо учитывать временные характеристики зрения рыбы. Зрительные процессы инерционны. Требуется время, чтобы накопить некоторую энергию, достаточную для выделения светового сигнала из шума. По этой причине изменения раздражителя во время внутри интервала, не превышающего некоторой критической длительности, останутся незамеченными. Интервал квантования Δt , равный критической длительности, в первом приближении, можно принимать равным критической частоте мельканий глаза рыбы¹.

Задача определения количества информации, которую несет световое поле, значительно усложняется, если ее решать на спектральном уровне. Однако в подавляющем большинстве случаев такое уточнение не повлияет существенным образом на результат. Это связано со значительной равномерностью углового распределения цветности в водоемах и довольно быстрым сближением видимой цветности различных частей объекта и фона при удалении от объекта.

При определении количества информации, которую несет акустический сигнал, акустическое поле давлений в каждой точке может быть охарактеризовано функцией $B(\nu; t)$, описывающей распределение спектральной плотности мощности звука по частоте ν и времени t . Следовательно, рассматриваемая функция представляет собой распределение B в двумерном пространстве. Тогда

$$W_i = \int_{\Delta \nu_i} \int_{\Delta t_i} B(\nu; t) d\nu dt. \quad (27)$$

Определение количества информации в акустическом сигнале требует данных о воспринимаемой рыбами полосе частот, различении тонов различной высоты, пороговой чувствительности органов слуха и т. д.

На основании литературных данных можно составить представление о количестве информации в звуковом сигнале, которая определяется по способности органа слуха рыбы отмечать разнообразие в таком сигнале. Очень ориентировочно можно считать, что максимальное количество информации в таком сигнале соответствует пропускной способности органов чувств рыбы порядка 10^3 — 10^4 бит/с.

При энергетическом действии волновых и статических полей (тепловых, гидродинамических, электрических и т. д.) информационную емкость сигнала можно найти несколько условно по числу уровней квантования величины, которая определяет воздействие физического поля на рыбу. Квантование следует производить в интервале, верхняя граница которого соответствует либо максимально возможному значению этой величины, либо значению величины, при котором воздействие поля достигает крайнего (с точки зрения управления объектом лова) эффекта (электрошок или электронаркоз — при действии электрического поля, прекращение сопротивления потоку — в гидродинамическом поле, ослепление рыбы — в световом поле, потеря двигательной активности при понижении температуры — в тепловом поле и т. д.). Шагом квантования при этом является разностный порог приемника. Следо-

¹ По-видимому, яркие вспышки на большой площади регистрируются глазом рыбы так же, как и глазом человека, как раздельные, если период этих вспышек значительно меньше критической частоты мельканий.

вательно, число уровней квантования можно определить по формуле (5) для вычисления действительно эффективных величин, приняв соответствующие значения верхнего предела интегрирования.

ОБЪЕКТ ЛОВА КАК ПРИЕМНИК ИНФОРМАЦИИ

Рыба пользуется всеми тремя способами получения информации: пеленгацией, локацией и сигнализацией. В зоне действия орудий лова и средств интенсификации промысла преобладающую роль играет первый способ получения информации, основанный на восприятии различного рода сигналов и шумов. Значительно меньшую роль играет локационный способ. Встречаются лишь единичные указания об использовании рыбами локации с помощью акустических и электромагнитных полей. По-видимому, локация осуществляется и с помощью гидродинамических полей, образуемых рыбой при движении. На первый взгляд, передача информации сигнализацией как средством общения между рыбами в нашем случае не имеет значения. На самом же деле роль обмена информацией между рыбами в зоне ощущения ими орудий лова может быть очень велика. Об этом свидетельствует различный характер одиночного и группового поведения рыб и многочисленные эксперименты, в которых изучались вопросы их ориентации и сигнализации.

Из трех способов получения рыбой управляющей информации лишь первый позволяет активно воздействовать на рыбу, посылая управляющие сигналы. Два других можно использовать в целях управления, влияя на количество информации, которую рыба получает этими способами. Такая задача может быть решена изменением условий внешней среды, особой конструкцией орудия лова или воздействием на функции рецепторов. Необходимо также учитывать возможности, которые открывает в управлении поведением рыб имитация биосигналов, особенно акустических.

Основными информационными характеристиками рецепторных систем объекта лова являются чувствительность, пропускная способность и помехоустойчивость.

Из различных понятий информационной чувствительности, разработанных в основном для систем воспроизведения наиболее пригодна в нашем случае информационная оценка чувствительности g , равная отношению количества информации, поступающей на объект лова I_B , к входной энергии W_B

$$g = \frac{I_B}{W_B} \quad (28)$$

Информационная чувствительность объекта лова к физическому полю, кроме прочих причин, зависит от величины входной энергии, поэтому наиболее полно информационную чувствительность можно оценить графиком $g=f(W)$. Построение графика по многим причинам связано со значительными трудностями и практически целесообразно ограничиться определением двух величин: пороговой информационной чувствительности $g_{\text{пор}}$ как отношения порогового количества информации $I_{\text{пор}}$ к входной энергии $W_{\text{пор}}$, несущей это количество информации,

$$g_{\text{пор}} = \frac{I_{\text{пор}}}{W_{\text{пор}}} \quad (29)$$

и информационной чувствительности g_m при входной энергии $W_{\text{макс}}$, когда сигнал несет максимальное количество информации $I_{\text{макс}}$,

$$g_m = \frac{I_{\text{макс}}}{W_{\text{макс}}}. \quad (30)$$

Эти величины не только достаточно хорошо характеризуют информационную чувствительность объекта лова к рассматриваемому физическому полю, но и позволяют определять интенсивность сигнала, соответствующего пороговому количеству информации или несущего наибольшее количество информации. Они позволяют также сравнивать информационную чувствительность различных объектов лова.

При оценке пороговой информационной чувствительности рецепторных систем объекта лова необходимо учитывать весьма интересное, но требующее проверки положение о постоянстве порогового количества информации. В соответствии с этим положением для работы органов чувств необходимо постоянное пороговое количество информации, независимо от различия внешних условий.

Для некоторых видов полей (электрических, тепловых и т. д.) $I_{\text{макс}}$ формально соответствует наибольшему количеству энергии в сигнале. Практически $I_{\text{макс}}$ необходимо определять для такого значения $W_{\text{макс}}$, при котором достигается наибольший, с точки зрения управления, эффект.

Наиболее важным показателем рецепторной системы является ее пропускная способность. Она характеризует количество информации, которую система может пропустить в единицу времени.

В общем случае пропускная способность органа чувств изменяется во времени и определяется функцией $C(t)$. Тогда количество информации I , воспринимаемой им за время T , можно определить по формуле

$$I = \int_0^T C(t) dt. \quad (31)$$

Пропускная способность обычно зависит от степени развития органов чувств и центральной нервной системы. Многие ученые отмечают зависимость пропускной способности от количества нервных окончаний различных органов чувств и даже считают, что она в десятичных единицах примерно соответствует количеству нервных волокон. Это подтверждают данные о количестве нервных клеток и объеме информации, воспринимаемой органами зрения, слуха и осязания человека, хотя по другим органам чувств это соответствие нарушается (см. таблицу).

Вид рецепции	Количество нервных окончаний	Объем воспринимаемой информации, бит/с	Вид рецепции	Количество нервных окончаний	Объем воспринимаемой информации, бит/с
Зрение	10^8	$3 \cdot 10^8$	Ощущение тепла и холода	10^5	$2 \cdot 10^3$
Слух	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	Обоняние	10^7	10^2
Осязание	$5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	Вкус	10^7	10

Данные о количестве нервных окончаний и свойствах некоторых органов чувств рыбы, сведения о реакции ее на различные раздражители, приведенные ниже данные о возможном количестве информации,

которую несут сигналы различной физической природы, позволяют сделать вывод о том, что основные рецепторы рыбы (органы зрения и слуха) имеют очень высокую пропускную способность, которая не реализуется центральной нервной системой¹ и значительно превосходит необходимую для ликвидации неопределенности поведения скорость поступления информации.

Пропускная способность других органов чувств, по-видимому, значительно меньше из-за небольшого объема пропускаемой одновременно информации или значительного времени ее восприятия.

При анализе информационной емкости сигнала для некоторых видов полей мы исходили из предельно возможного количества информации в сигнале, поэтому полученные значения информационной емкости соответствуют в основном максимальной пропускной способности органов чувств с учетом критической длительности сигнала. Однако пропускная способность органов чувств зависит от условий, в которых работают соответствующие приемники рыбы, и их физиологического состояния, поэтому она может колебаться в чрезвычайно широких пределах.

Таким образом, при использовании различных физических полей для управления поведением рыб необходимо всякий раз учитывать, соответствует ли скорость поступления управляющей информации пропускной способности объекта лова в рассматриваемых условиях. При этом необходимо помнить, что в центральной нервной системе происходит отбор и отбраковка информации.

Наиболее важным средством уменьшения количества перерабатываемой информации является обобщение совокупности простых признаков в образы. В результате такой анализаторной деятельности организма бесконечное множество состояний внешней среды сводится к малому количеству решений.

Рыбам свойственно опознавание образов (зрительных, звуковых, запаховых и, возможно, других). Образом может стать не любая совокупность простых признаков, а лишь такая, которая встречается довольно часто и имеет для рыбы большое сигнальное значение (различные часто встречаемые виды рыб, объекты питания и т. д.).

Образы, как правило, описываются совокупностью сравнительно небольшого числа признаков. Эта совокупность мало изменяется при различных преобразованиях, сохраняющих образ. Рыба, например, четко опознает хищника или объект питания, несмотря на различия, иногда значительные, в размерах, форме, окраске и т. д. Точно так же рыба хорошо опознает звуковые образы, имеющие сигнальное значение, несмотря на их амплитудно-частотную и временную разницу.

Кроме образов, необходимо различать совокупность большого числа простых признаков, для опознавания которых рыба должна перерабатывать большое количество информации. Задача опознавания такой совокупности простых признаков усложняется тем, что, как показала Н. В. Праздникова, у рыб сильно ограничено инвариантное различение, по крайней мере при зрительном опoznании. Она показала, что при таком опознавании не имеет значения только изменение масштаба.

Сталкиваясь с такой совокупностью признаков в виде сигналов различного рода, рыба или не обращает на нее внимания, или у нее возникает ориентировочная реакция как стремление «познакомиться» с предметом или явлением.

¹ Например, человек усваивает зрительную и звуковую информацию со скоростью всего 15—50 бит/с.

Количество переработанной информации и степень знакомства с источником информации будут зависеть от скорости восприятия рыбой информации и продолжительности ориентировочной реакции.

Чтобы определить скорость переработки рыбой информации, необходимо знать количество возможных сообщений и время для опознания каждого из них. Например, установлено, что зрительных образов типа «самолет», «стол», «дом» у взрослого человека порядка 1000. Следовательно, объем сообщения составляет $\log_2 1000 \approx 10$ бит. В среднем для правильного опознания достаточно предъявить изображение на 0,2 с. Отсюда скорость переработки зрительной информации у человека составляет 50 бит/с.

Количество зрительных образов у рыб определить трудно. Однако очень примерную оценку можно дать, если учесть, что наиболее важными для них являются внутривидовые, пищевые и оборонительные взаимоотношения, поэтому основное число зрительных образов у рыб связано именно с этими взаимоотношениями. Количество таких образов у рыб, по-видимому, лежит в интервале $10 \div 10^2$ и, следовательно, объем зрительного сообщения составляет примерно 3—7 бит.

Определение времени опознания зрительных образов также связано с известными трудностями. Приблизительно об этой величине можно судить в ряде случаев по времени наступления двигательной реакции при предъявлении рыбе зрительного образа (из наблюдений за поведением рыб) и времени начала биоэлектрической активности соответствующих участков головного мозга (при электрофизиологических исследованиях). В первом случае результат будет в основном завышенным, во втором — заниженным. По нашим данным и данным других авторов, время распознавания зрительного образа у рыб колеблется от 0,2 до 0,4 с. Следовательно, скорость переработки рыбами зрительной информации в оптимальных условиях составляет в среднем 15—20 бит/с.

В таких же пределах, по-видимому, лежит скорость переработки звуковой информации, так как объем звукового сообщения и время опознания звуковых и зрительных образов для рыбы примерно совпадают.

О скорости переработки информации, поступающей через органы обоняния и вкуса, можно говорить примерно в таком же приближении, как для световых и акустических сигналов, поскольку сведений о количестве обонятельных и вкусовых образов у рыб недостаточно. Известно лишь, что кроме запаха рыб своего вида, рыбы способны четко реагировать на запах других рыб, растений, животных, причем число различных запахов разных рыб может достигать 15. Известно также, что химические вещества, выделяемые одним и тем же видом рыб, могут быть различными по составу и, по-видимому, все они воспринимаются на крайней мере особями того же вида.

Исследования, проведенные Г. А. Малюкиной и Г. В. Юркевичем, Г. А. Малюкиной и С. С. Соломатиним показывают, что орган обоняния рыб, как и животных других классов, является медленно адаптирующимся сенсорным образованием, для которого латентный период составляет $10-10^2$ с и более.

Даже эти весьма отрывочные данные говорят о том, что скорость переработки информации, поступающей через орган обоняния, значительно меньше, чем скорость переработки зрительной и звуковой информации, и составляет примерно 0,1—1 бит/с.

О скорости вкусовых восприятий нельзя составить даже такого приближенного представления. Однако сравнительно большая длитель-

ность латентного периода при действии поля плотности массы на орган вкуса животных позволяет предполагать, что скорость переработки информации в этом случае также не превышает 1 бит/с.

Когда информация в световых, акустических сигналах и полях плотности массы воспринимается как совокупность большого числа простых признаков, а не в виде образов, обычно не имеет смысла говорить о переработке информации центральной нервной системой и можно ограничиться лишь рассмотрением объема информации, воспринимаемой органами чувств рыбы. Это в равной степени относится к информационной оценке воздействия тепловых, гидродинамических и электрических полей.

Об информационном воздействии на рыбу магнитных и электромагнитных полей некоторых видов говорить преждевременно, поскольку данные о их влиянии на рыбу почти полностью отсутствуют.

Помехоустойчивостью в общем случае называют способность некоторой системы противостоять воздействию помех. Помехоустойчивость объекта лова можно рассматривать с различных точек зрения и соответственно оценивать различными величинами. Дадим несколько возможных вариантов такой оценки, связывая ее с биофизической и тактической стороной воздействия физических полей на рыбу.

Биофизическая сторона помехоустойчивости отражает воздействие помех на объект лова как приемник сигналов. Помехоустойчивость в этом случае можно оценить отношением сигнал/шум, при котором рыба еще способна выделить сигнал из шума. Под отношением сигнал/шум можно понимать отношение различных величин, каждое из которых применимо к специальным видам сигналов и помех. Например, отношение мощности сигнала к мощности шума применимо к стационарным сигналам большой длительности, отношение амплитуды сигнала к среднеквадратическому значению шума — к гармоническим сигналам и т. д. Помехоустойчивость рыбы, оцененная отношением сигнал/шум, в значительной степени зависит от структуры сигналов и шумов.

Тактическая сторона помехоустойчивости связана с выполнением задачи управления объектом лова, и ее анализ сводится к оценкам эффективности управления при наличии помех. Как уже отмечалось, эффективность управления объектом лова можно оценить функциями, которые выражают плотность вероятности получения рыбой сигнала и вероятность решения задачи управления, если сигнал получен. Следовательно, помехоустойчивость объекта лова в этом случае можно оценивать двумя отношениями сигнал/шум, первое из которых такое же, как при биофизической оценке помехоустойчивости, а второе — равно величине, при которой наблюдается значительное снижение управляющего действия сигнала.

Несмотря на наглядность выражения помехоустойчивости объекта лова через отношение сигнал/шум, такая оценка не позволяет установить, какие факторы влияют на помехоустойчивость. По этой причине значительный интерес представляет информационная оценка помехоустойчивости систем. Информационную помехоустойчивость объекта лова можно охарактеризовать через избыточность информации.

Избыточность информации

$$\delta = \frac{C - R^*}{R^*}, \quad (32)$$

где R^* — скорость поступления информации; необходимая для управления объектом лова.

Очевидно, управление объектом лова в соответствии с заданием возможно, если $C > R^*$, или $\delta > 0$. Таким образом, величина δ характеризует принципиально возможную помехоустойчивость объекта лова.

К. Шеннон показал, что максимально возможная пропускная способность системы

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right), \quad (33)$$

где W — полоса пропускания системы;
 P_c и $P_{\text{ш}}$ — соответственно мощности сигнала и шума.

Мощность шумов $P_{\text{ш}}$ складывается из внутренних шумов (например, шумов в нервных каналах) $P_{\text{вн}}$ и внешних (шумов поля управления) $P_{\text{п}}$

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{вн}} + P_{\text{п}}. \quad (34)$$

Если решить совместно уравнения (32) и (33) и учесть выражение (34), то получим предельную величину внешних шумов, при которой объект лова подвержен управляющему действию

$$P_{\text{п}} = \frac{\frac{P_c}{C}}{2^{W(1+\delta)} - 1} - P_{\text{вн}}. \quad (35)$$

Из этого выражения непосредственно видна зависимость помехоустойчивости от избыточности информации и других характеристик объекта лова как управляемой системы.

Следует отметить, что избыточность информации можно связать не только с помехоустойчивостью объекта лова. Избыточная информация в процессе управления может быть излишней, преждевременной или способствующей увеличению избыточности на следующем этапе управления.

Существуют и другие способы оценки тактической помехоустойчивости. Например, Н. Л. Теплов и К. Ю. Аграновский считают численной мерой помехоустойчивости вероятность правильного решения системой задачи, а та, в свою очередь, связывается с вероятностью правильного обнаружения сигнала. Если считать априорную вероятность появления сигнала равной единице, то вероятность правильного обнаружения сигнала можно определить по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1 - \int_0^{u_0} p(u_{\text{с.п}}) du_{\text{с.п}}, \quad (36)$$

где $p(u_{\text{с.п}})$ — плотность распределения вероятности огибающей сигнала совместно с помехой;

u_0 — пороговое значение органа чувств рыбы.

Вероятность правильного обнаружения повышается с увеличением отношения сигнала к помехе; при заданном отношении сигнала к помехе она зависит от порогового уровня. Оценка помехоустойчивости с помощью выражения (36) пригодна, если обнаружение рыбой управляющего сигнала гарантирует выполнение цели управления.

При выполнении этого условия помехоустойчивость объекта лова можно сравнивать с потенциальной помехоустойчивостью идеального приемника и судить о степени совершенства рыбы с этой точки зрения.

О СВЯЗИ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ РАЗДРАЖИТЕЛЯ И ВЕЛИЧИНОЙ ОЩУЩЕНИЯ

Недостаточное развитие способов управления объектом лова в значительной степени обусловлено отсутствием для рыб данных о связи между интенсивностью раздражителя и величиной ощущения. Рассмотрим метод, который позволяет получить зависимость между ними для любого биологического объекта, если действие раздражителя сопровождается развитием в объекте некоторых наблюдаемых процессов активности и можно измерить пороговое значение интенсивности раздражителя, при которой тот или иной вид активности возникает.

Предлагаемый метод является в значительной степени универсальным, так как он пригоден для установления рассматриваемой связи для различных биологических объектов с учетом таких показателей раздражителя как модальность, интенсивность, длительность, пространственная и временная характеристики и т. д.

Метод определения зависимости между интенсивностью раздражителя F и величиной ощущения (возбуждения) Φ основан на свойстве распределения большого числа независимых случайных величин подчиняться нормальному закону. Если по данным большого числа измерений пороговой интенсивности раздражителя построить кривую плотности распределения, то ее отличие от кривой нормального распределения без учета погрешностей методики исследований связано с несоответствием принятого типа шкалы по оси, где откладываются значения F , закону связи между Φ и F .

Следовательно, задача состоит в том, чтобы подобрать такой тип неравномерной шкалы по этой оси, применение которой при построении кривой плотности распределения пороговой интенсивности даст график нормального распределения. Тип шкалы можно установить лишь методом подбора, т. е. путем последовательного построения нескольких графиков с различными типами неравномерных шкал. Задача облегчается тем, что связь между Φ и F весьма часто должна быть логарифмической (закон Вебера—Фехнера) или степенной (закон Стивенса). По этой причине подбор типа шкалы обычно следует начинать с построения логарифмической и степенной шкал. Для уменьшения трудоемкости выполнения работы и необходимого объема экспериментальных данных целесообразно использовать следующий порядок установления связи между Φ и F , использованный нами при исследовании действия на рыбу (*Cyprinus carpio* L.) непрерывного постоянного тока (принимали во внимание пороговые значения, соответствующие минимальной реакции):

1. Заполняется таблица экспериментальных данных:

F_i, B	n_i	N_i	$\frac{N_i}{\Sigma n_i}$	$1 - \frac{N_i}{\Sigma n_i}$	F_i, B	n_i	N_i	$\frac{N_i}{\Sigma n_i}$	$1 - \frac{N_i}{\Sigma n_i}$
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0,575	1	1	0,008	0,992	0,975	9	100	0,81	0,19
0,625	5	6	0,05	0,95	1,025	7	107	0,87	0,13
0,675	9	15	0,12	0,88	1,075	6	113	0,92	0,08
0,725	15	30	0,25	0,75	1,125	4	117	0,95	0,05
0,775	16	46	0,37	0,63	1,175	3	120	0,97	0,03
0,825	17	63	0,51	0,49	1,225	2	122	0,99	0,01
0,875	15	78	0,65	0,35	1,275	1	123	1,00	0,00
0,925	13	91	0,74	0,26					

$$\Sigma n_i = 123$$

В первый столбец заносят в возрастающем порядке в сгруппированном или несгруппированном виде значения F_i , во второй — количество значений, соответствующих каждому F_i , в третий — число значений n_i по нарастающему итогу. Заполнение четвертого и пятого столбцов не требует пояснений.

2. Данные, приведенные в последнем столбце таблицы, наносят на специальную координатную сетку. По оси абсцисс такой сетки откладывают тот или иной тип неравномерной шкалы F . По оси ординат наносят значения $1 - \frac{N_i}{\Sigma p_i}$, причем шкала подобрана таким образом, что точки, принадлежащие некоторой кривой нормального распределения, лежат на прямой линии.

3. Через нанесенные эмпирические точки проводят прямую и устанавливают, возможна ли линейная интерполяция экспериментальных данных. Для этого подсчитывают величину критерия согласия Колмогорова, равную

$$\lambda = D \sqrt{\Sigma n_i},$$

где D — максимальное отклонение статистической функции распределения для некоторого значения F_i от теоретической, устанавливаемое по отстоянию эмпирической точки от прямой.

Если значение λ оказывается меньше единицы, то можно считать, что тип неравномерной шкалы характеризует связь между Φ и F . Так, в рассмотренном примере $\lambda = 0,33$ и, следовательно, логарифмическая зависимость, отвечающая закону Вебера—Фехнера, оказалась справедливой. Аналогичная зависимость получена по данным исследования порогов некоторых реакций для ряда рыб дельты Волги при действии на них переменного непрерывного тока и на оптомоторной установке.

Приведенные примеры являются лишь иллюстрацией предлагаемого метода установления связи между Φ и F и на их основе нельзя делать каких-либо обобщений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Аграновский К. Ю. Радиокрибернетические методы управления морскими объектами. Л., «Судостроение», 1967. 360 с.

Асланова Н. Е. Поведение пелагических рыб в Черном море в период их зимовки. — «Труды совещания по вопросам поведения и разведки рыб». М., 1955, с. 144—153.

Аронов М. П. Некоторые вопросы изучения поведения рыб. — «Труды ВНИРО», 1966, т. LX, с. 189—201.

Баранов Ф. И. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960. 696 с.

Гуревич С. Б. Эффективность и чувствительность телевизионных систем. М.—Л., «Энергия», 1964. 344 с.

Лукашов В. Н. Классификация орудий промышленного рыболовства. Калининградское книжное издательство, 1968. 42 с.

Малюкина Г. А. Слух некоторых черноморских рыб в связи с экологией и особенностями строения их слухового аппарата. — «Журнал общей биологии», 1960, т. 21, вып. 3, с. 198—205.

Малюкина Г. А. и Юркевич Г. В. О функциональных особенностях периферического аппарата обонятельной системы рыб. — В кн.: Поведение и рецепции рыб. М., «Наука», 1967, с. 114—121.

Мантейфель Б. П. Изучение поведения стайных рыб в целях усовершенствования техники их лова. — «Труды совещания по вопросам поведения и разведки рыб», 1955, с. 108—117.

Мантейфель Б. П., Протасов В. Р. Роль физики в изучении поведения рыб. — «Вопросы ихтиологии», 1963, т. 3, вып. 3, с. 433—440.

Мантейфель Б. П. и Радаков Д. В. Об изучении адаптивного значения стайного поведения рыб. — «Успехи современной биологии», 1960, т. 50, вып. 3 (6), с. 362—370.

Майзелис М. Р. Некоторые дискуссионные вопросы исследования и применения рыбозащитных устройств. — В кн.: Поведение рыб в зоне гидротехнических сооружений. М., «Наука», 1967, с. 137—155.

Мельников В. Н. Видимость сетных орудий лова в воде в связи с их уловистостью. — «Труды ВНИРО», 1962, т. 47, с. 68—113.

Мельников В. Н. Определение расстояния, с которого рыба обнаруживает источник подводного освещения. — В кн.: Научно-техническая информация ВНИРО, 1966, № 4, с. 91—96.

Мельников В. Н. Об эффективности действия света на глаза рыб. — «Вопросы ихтиологии», 1967, т. 7, вып. 1, с. 140—155.

Милсум Дж. Анализ биологических систем управления. М., «Мир», 1968. 501 с.

Никонов И. В. Лов рыбы на свет. М., «Рыбное хозяйство», 1963, 166 с.

Никонов И. В. Непрерывные способы лова рыбы. М., «Пищевая промышленность», 1968, 103 с.

Нусенбаум Л. М., Фалеева Т. И. Исследование поведения рыб в электрическом поле. — «Труды Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства», 1961, т. 52, вып. 1, с. 92—93.

Праздника Н. В. Особенности различения зрительных образов рыбами. — В кн.: Поведение и рецепции рыб. М., «Наука», 1967, с. 36—38.

Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. М., «Наука», 1968. 287 с.

Протасов В. Р. Биоакустика рыб. М., «Наука», 1965, 207 с.

Протасов В. Р. Зрение и ближняя ориентация рыб. М., «Наука», 1968, 206 с.

Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М., Физматгиз, 1962, 679 с.

Радаков Д. В. Об особенностях оборонительного поведения стайных рыб. — «Труды ИМЖ им. А. Н. Северцева», 1961, вып. 39, с. 47—71.

Радаков Д. В. Об основах экологической теории стайного поведения. — В кн.: Поведение и рецепции рыб. М., «Наука», 1967, с. 17—19.

Урсул А. Л. Природа информации. М. «Изд-во политической литературы», 1968, 287 с.

Флеров Б. А. Обоимание рыб. — «Вопросы ихтиологии», 1962, вып. 3, с. 517—529.

Хайлов К. М. Упорядоченность биологических систем. — «Успехи современной биологии», 1966, т. 61, вып. 2, с. 198—218.

Шентяков В. А. Пресноводный электротраловый лов рыбы с применением переменного тока. М., «Пищевая промышленность», 1964, 82 с.

Beamish, T. W. Reaction of fish to other trawls. Fish. Canada, N 5, 1966.

Breder, C. M. Studies on social groupings in fishes. Bull. Amer. Mus. Natur. Hist., V. 117, pt. 6, 1959.

Chapman, C. J. The importance of mechanical stimuli in fish behaviour especially to trawls. Second World Fishing Gear Congress, 1963.

Denzer, H. W. Die Elektrofischerei. Handbuch der Binnenfischerei Mitteleuropas. Ergänzungsband zu Bd. 5, 1956.

Dijkgraaf, S. The function and significance of the lateral line organs. Biol. Rev., v. 38, 1962.

Frings, H. Animals communication. „Amer. J. Psychiatry“, v. 118, N 10, 1962.

Göz, H. Über den Art und Individualgeruch bei Fischen. Zeitschn. vergl. Physiol., Bd. 29, 1941.

Halsband E. Die Beziehung zwischen Intensität und Zeitdauer des Reizes bei der elektrischen Durchströmung von Fischen. Arch. Fischereiwissenschaft, 7, N 1, 1956.

Hasler, A. The sense organs, olfactory and gustatory senses of fishes. Physiol. of Fishes, v. 2, 1957.

Jacobson, H. Information and the human ear, JASA, 23, N 4, 1951.

Kainz, E. Die „Sprache“, der Tiere. Tatsachen. Problemschau—Theorie Ferdinand Enke verlag. Stuttgart, 1961.

Koyama, T. Fishing jigs in Japan with special reference to an artificial bait made of latex sponge rubber. Second World Fishing Congress, 1963.

Kupfmüller, K. Information Schwerarbeit durch den Menschen, NTZ, N 2, 1959.

Labass, J. A. Etude des reflexes conditionne's naturels provogues par l'aspect de la nourriture chez les Saumoneaux. Union Internat Sci. Biol., 1959.

- Lenoble, J. Angular distribution of submarine daylight in deep water. *Nature*. V. 49, 1956.
- Morrow, J. Schooling behavior in fish. *Quarterly Rev. Bio.* V. 23, N 1, 1948.
- Quastler, H. Studies of human channel capacity. *Inform. Theory London, Symp.*, 1956.
- Rashevsky, N. Life, information theory and topology. *Bull. Math. Biophysics* v. 17, N 33, 1955.
- Schmitt, O. H. Signals assimilable by living organisms. *Bionic. Symp.*, 1963.
- Shober H. Grundlegende Bemerkungen zur Anwendbarkeit der informationstheorie auf die Optix Wiss Hochschule Elektrotechn. Ilmenau, N 3—4, 1957.
- Steward, J. L. Fundamental law for discrimination and recognition in animal sensory system. *IEEE Intern. Conv. Rec.*—pt. 9, 1963.
- Tavolga, W. & Wodinsky, I. Auditory capacities in fishes. Pure tone thresholds in nine species of marine teleosts. *Bull. Amer. Mus. Natur. Hist.*, 126, Art. 2, 179, 1963.
- Tester, A. Summary of experiments on the response of tuna to stimuli. *Second World Fishing Congress*, 1963.
- Trucco, E. On the information content of graphs. Compound symbols, Different states for each point. *Bull. Math. Bioph.* v. 18, N 3, 1956.

SUMMARY

Some problems of control over the behaviour of fish based on the energetical and information influence of contact stimulants and physical fields on fish are considered. The main methods of control over commercial species, types of control systems and characteristics of the principle elements in the systems are presented.

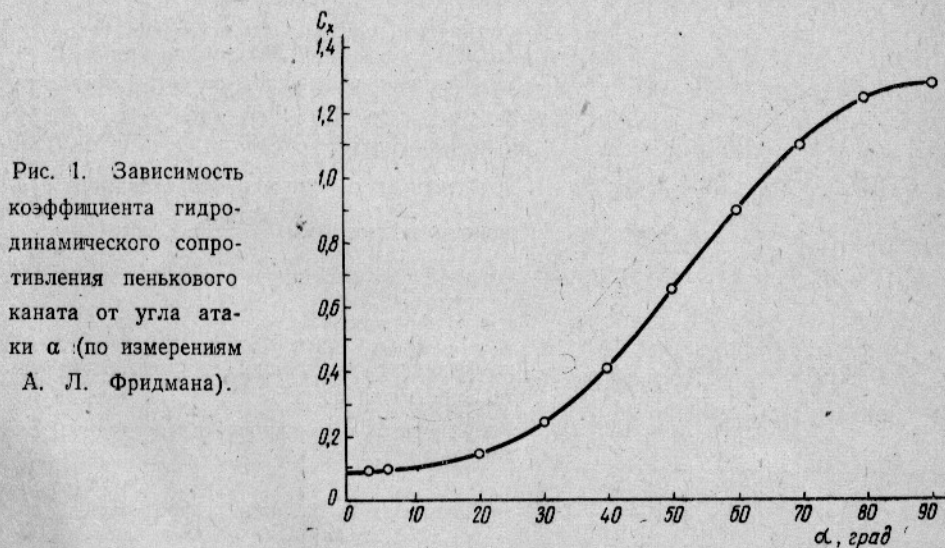
The main notions of the information theory being used, the methods of evaluation of a degree of uncertainty for the field of feelings and, thus, the behaviour of fish in it, are discussed. The method of assessing the amount of information in a signal and loss of information in case of noise is shown. The characteristics of the main information indices of commercial species are described.

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЯХ ДРЕЙФА С ПОРЯДКОМ СЕТЕЙ

А. В. Засосов, В. В. Блинов

ВНИРО

Известно, что уловистость дрейтерной сети существенно зависит от формы ячеи. В свою очередь, форма ячеи и сети в порядке сложным образом зависит от скоростей дрейфа, геометрических размеров и массы вожака, сетей и поводцов, а также плавучести буйков. При малых скоростях дрейфа v форма сети, очевидно, не будет искажаться. При больших скоростях дрейфа наблюдается изменение формы сетей в порядке. Отсюда понятно, что при точном расчете сопротивления порядка можно выявить область оптимальных скоростей дрейфа, при которых форма сетей не искажается.



С целью последующего сравнения с натурными измерениями Ю. В. Кадильникова [8] в расчете приняты его исходные данные: все параметры дрейтерных сетей, находящихся в эксплуатации Калининградской базы океанического рыболовства, число сетей N и скорость дрейфа в опытах,

В основу расчета положено правило суммирования сопротивлений, экспериментально доказанное А. Л. Фридманом и Ю. А. Даниловым [9]. В расчетах использованы точные формулы для коэффициента гидродинамического сопротивления хлопчатобумажных сетей, параллельных потоку $C_{X(0)}^{X/6}$, известные кривые С. Визельсбергера для C_X гладкого шара и цилиндра $C_{X(виз)}^{ш}$ и $C_{X(90)}^{(ц)}$. Последняя величина вычислялась по формуле, полученной в работе [4]. Буйки считались гладкими шарами, а поводцы — гладкими цилиндрами, в сопротивление поводцов вносили поправку на крутку приготовительной нитки [3]. Отличия принятых моделей буйков и поводцов от реальных мало повлияло на точность расчета вследствие сравнительно малого сопротивления буйков и поводцов.

Для расчета сопротивления (в Н) вожака использовали опытную кривую $C_{X(a)}$ для пенькового каната, полученную А. Л. Фридманом [10] (рис. 1). Экстраполяция $C_{X(a)}$ в область малых углов атаки произведена по методике, разработанной в работе [6].

Сопротивление дрефтерного порядка (в Н)

$$R_{дп} = \frac{\rho v^2}{2} \sum_{i=1}^{10} C_i F_i, \quad (1)$$

где $C_1 = 0,087$, $F_1 = \sum_j F_{1j}$ — коэффициент и площадь сопротивления вожака, m^2 ;

$F_{1j} = l_{Bj} D_{Bj}$ — площадь сопротивления j -го звена вожака, m^2 ;

l_{Bj} , D_{Bj} — длина и диаметр j -го звена вожака, m ;

ρ — плотность морской воды, kg/m^3 ;

v — скорость дрейфа;

N — число сетей в порядке;

F_n — суммарная площадь сопротивления ниток сети, m^2 ;

C_2 , $F_2 = NF_n$ — коэффициент и площадь сопротивления сети, m^2 ;

ν — коэффициент кинематической вязкости морской воды, m^2/c ;

$C_3(Re, A)$, $F_3 = (N+1) l_{б.п} D_{б.п}$ — коэффициент и площадь сопротивления буйковых поводцов $\left(Re = \frac{v D_{б.п}}{\nu} \right)$, m^2 ;

$C_4(Re, A)$, $F_4 = (N+1) l_{в.п} D_{в.п}$ — коэффициент и площадь сопротивления вожачковых поводцов $\left(Re = \frac{v D_{в.п}}{\nu} \right)$, m^2 ;

$C_5(Re, A)$, $F_5 = 4N l_{вер.п} D_{вер.п}$ — коэффициент и площадь сопротивления вертикальных подбор, m^2 ;

$C_6(Re, A)$, $F_6 = 4N l_{п} D_{п}$ — коэффициент и площадь сопротивления пожилин сетей, m^2 ;

$C_7 = C_{X(виз)}^{(ш)}(Re)$, $F_7 = 48N \frac{\pi D_{поп}^2}{4}$ — коэффициент и площадь сопротивления поплавков $\left(Re = \frac{v D_{поп}}{\nu} \right)$;

$C_8 = C_{X(виз)}^{(ш)}(Re)$, $F_8 = (N+1) \frac{\pi D_{б}^2}{4}$ — коэффициент и площадь сопротивления буйков, m^2 ;

$C_9 = 0,087$, $F_9 = 4N l_{г.п} D_{г.п}$ — коэффициент и площадь сопротивления горизонтальных подбор, m^2 ;

$C_{10} = 0,087$, $F_{10} = N l_{\text{вер. поп}} D_{\text{вер. поп}}$ — коэффициент и площадь сопротивления веревки для поплавков;
 Re — число Рейнольдса;
 A — коэффициент крутки приготовительной нитки веревки.

Приведем некоторые детали расчета.

Дрифтерная сеть. Сеть для летнего периода размером $C \times B = 30 \text{ м} \times 12 \text{ м}$. Строительная посадка 0,6/0,8. Диаметр мокрой нитки $d = 0,8 \text{ мм}$. Шаг ячеи $a = 28 \text{ мм}$. По формулам работы [2] получаем $n = 894$ ячеи и $m = 286$ ячеи, $I_0 = 480346$ узлов, $L_0 = 25300,92 \text{ м}$. Очевидно, $\Delta I = \Delta L = 0$. Вычисления дают: $F_{\text{уз}} = 0,966 \text{ м}^2$, $F_{\text{нит}} = 20,241 \text{ м}^2$, $F_{\text{н}} = F_{\text{уз}} + F_{\text{нит}} = 21,207 \text{ м}^2$, $a/d = 35$.

Поскольку перпендикулярной к потоку оказывается большая диагональ ячеи, то следует взять обратное соотношение $(u_1/u_2)^{-1} = 1,333$. Удлинение сети $C/B = 2,5$. Значение $C_{X(0)}$ сети находят по формулам работы [5]. При исследовании гипотезы об обтекании сетной части порядка как одной непрерывной сети вместо C/B берут CN/B .

Вертикальные подборы. Веревка $D_{\text{в. п}} = 5,64 \text{ мм}$. Приведенный номер нитки $N_{\text{пр}} = 0,38$. По формуле работы [3] $A = 1,096$. По формулам работ [3, 4] находятся составляющие коэффициента $C_{X \text{ в. п}} = C_{X(0)}^{(1)} + C_{X(0)}^{(2)}$.

Аналогичным образом рассчитывают сопротивление буйковых и вожаковых поводцов.

Буйковые поводцы. Веревка $D_{\text{б. п}} = 5,64 \text{ мм}$, $l_{\text{б. п}} = 10 \text{ м}$, $N_{\text{пр}} = 0,38$, $A = 1,096$.

Вожак поводцы. Веревка $D_{\text{в. пов}} = 14,3 \text{ мм}$, $N_{\text{пр}} = 0,38$, $A = 1,096$.

По рекомендациям справочника [1], суммарная длина вожаковых поводцов принята $l_{\text{в. п}} = 230 \text{ м}$.

Пожилины. Нитка $D_{\text{п}} = 3,4 \text{ мм}$, $l_{\text{п}} = 12,2 \text{ м}$, $N_{\text{пр}} = 0,38$, $A = 1,096$.

Поплавки. Пенопласт $D_{\text{поп}} = 60 \text{ мм}$, $h = 45 \text{ мм}$. При расчете поплавки считали гладкими шарами диаметром $D_{\text{поп}}$. Коэффициент $C_{X \text{ поп}}$ находили по кривой С. Визельсбергера C_X для шара при числах Рейнольдса $Re = \frac{v D_{\text{поп}}}{\nu}$.

Буйки. $D_{\text{б}} = 320 \text{ мм}$. Коэффициент $C_{X \text{ б}}$ находили по кривой C_X Визельсбергера для шара при числах Рейнольдса $Re = \frac{v D_{\text{б}}}{\nu}$.

Горизонтальные подборы. Веревка $D_{\text{г. п}} = 5,64 \text{ мм}$, $N_{\text{пр}} = 0,38$, $A = 1,096$. Использовали значение $C_{X(0) \text{ г. п}} = 0,087$ (см. рис. 1).

Вожак. Как и в опытах Ю. В. Кадильниковой [8], а также в соответствии с рекомендациями справочника [1] использовали пятизвенный вожак со следующими данными

Звенья	I	II	III	IV	V
$L_{\text{кис. см}}$	100	90	75	65	50
$D_{\text{в, мм}}$	31,8	28,6	23,8	20,7	15,9
$l, \text{ м}$	150	300	1220	1525	596
$q_{\text{эв, н/м}}$	0,725	0,585	0,4	0,3	0,172

* $L_{\text{кис}}$ — длина окружности каната, см.

Вожак считали горизонтальным (непровисающим) и при расчете принимали $C_{x(0)} = 0,087$ (см. рис. 1). Для каждого звена вычисляли сопротивление и результат суммировали.

Учет провисания вожака возможен, например, по цепной линии. Тогда, используя интегральное представление коэффициента C_x , предложенное в работе [6], можно записать

$$C_{x(B)} = \frac{\int_0^{L/2} C_{x(z)}^{\text{пен}} \sqrt{1 + \text{Sh}^2 x} dx}{\int_0^{L/2} \sqrt{1 + \text{Sh}^2 x} dx}, \quad (2)$$

где L — хорда цепной линии (расстояние между соседними вожakovыми поводцами), м.

Еще более точный учет кривой провисания вожака и вычисления сопротивления можно осуществить в соответствующей вариационной задаче на ЭЦВМ. Однако принятая в данной работе схема расчета дает удовлетворительную точность.

Веревка для поплавков. Диаметр $D_{\text{вер. поп}} = 5,1$ мм, $C_{x(0) \text{ поп}} = 0,087$.

Результаты расчета сравнивали с измерениями Ю. В. Кадильниковца [8]. В расчетных вариантах проверяли следующие гипотезы:

- 1) каждая сеть порядка обтекается независимо, т. е. отсутствует взаимодействие струй;
- 2) вся сетная часть порядка обтекается как одна сеть;
- 3) действительная высота сетей уменьшается;
- 4) действительная высота сетей уменьшается и элементы оснастки отклоняются от вертикали.

На рис. 2, 3 видно, что наилучшее совпадение с опытом в области $0,05 < v < 0,09$ м/с дает гипотеза 1. Искажения формы и ячеек сетей в этой области нет. Независимое обтекание сетей объясняется отсутствием спутной струи после сети вследствие малых скоростей дрейфа.

С ростом скорости дрейфа (в области $0,1 < v < 0,2$ м/с) опытными данным плохо удовлетворяют обе гипотезы: гипотеза 1 дает завышенные результаты, гипотеза 2 — заниженные. В области $v > 0,1$ м/с резко проявляется искажение формы сети. Учет действительной высоты сети (гипотеза 3) по формуле А. В. Засосова [7]

$$h_d = \frac{h_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_c}{2q_{3в}}\right)^2}}, \quad (3)$$

где R_c — сопротивление сети, $N \left(R_c = \frac{R_{д.п}}{N} \right)$, N — число сетей в порядке

позволяет существенно приблизить расчетные точки к опытным (см. рис. 2, 3). В этой области действительная форма ячеек определяется по формуле

$$\left(\frac{u_1}{u_2} \right)_d = \left(\frac{u_1}{u_2} \right)_0 \frac{h_d}{h_0}. \quad (4)$$

Более наглядно результаты расчета отражены в зависимости R_c от v (см. рис. 3). Расслоение точек становится более определенным для

опыта и расчета по каждой гипотезе. Рис. 3 позволяет указать оптимальную область дрейфа для судов типа СРТ, в которой искажения сетей будут невелики ($h_d/h_0 \approx 0,95$) — $v \leq 0,155 - 0,016$ м/с.

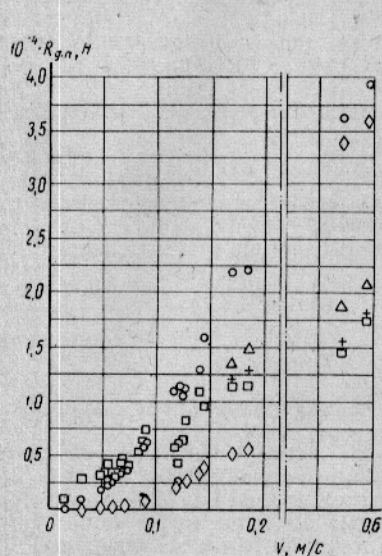


Рис. 2. Опытные и расчетные значения сопротивления дрейферного порядка для скоростей дрейфа в натурных испытаниях Ю. В. Кади́льникова:

□ — измерения Ю. В. Кади́льникова (1957); ○ и ◊ — независимое и зависимое обтекание сетей (расчет при $h_d = h_0$);
△ — учет $h_d < h_0$ (по А. В. Засосову);
+ — учет $h_d < h_0$ и наклона вертикальных подбор и поводцов.

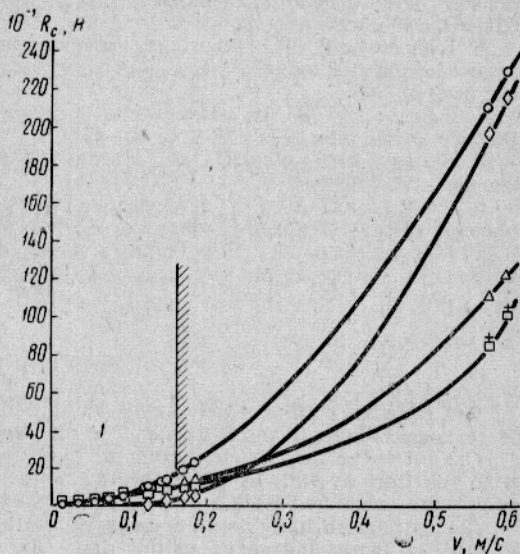


Рис. 3. Опытные и расчетные значения сопротивления дрейферного порядка в пересчете на одну сеть для скоростей дрейфа в натурных испытаниях Ю. В. Кади́льникова:

1 — область дрейфа с малым искажением формы сети.

Отметим характерную особенность рис. 2 и 3: при больших скоростях дрейфа ($v = 0,58 \div 0,6$ м/с) расчет по гипотезам 1 и 2 дает почти одинаковые результаты. Это можно объяснить общим малым влиянием спутных струй на сопротивление сети по сравнению с собственно гидродинамическим трением ниток сети о поток. В области умеренных скоростей дрейфа ($v = 0,2 - 0,3$ м/с) влияние спутных струй значительно.

Таким образом, данный расчет доказывает справедливость принципа суммирования сопротивлений при расчете сопротивления дрейферного порядка с учетом фактической формы сетей и оснастки порядка и позволяет установить область оптимальных скоростей дрейфа для судов типа СРТ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Н. Н. Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению. М., Пищепромиздат, 1962, 504 с.
2. Блинов В. В. К расчету геометрических характеристик сетных образцов круглой и прямоугольной формы. — В кн.: Промышленное рыболовство. ЦНИИЭИРХ, 1973, вып. 1.
3. Блинов В. В. Расчет коэффициента гидродинамического сопротивления ниток, канатов и веревок, перпендикулярных к потоку. — В кн.: Промышленное рыболовство и механизация. Владивосток, вып. 6, 1971, с. 64—69.

4. Блинов В. В. Расчет коэффициента гидродинамического сопротивления плоских капроновых сетных пластин, перпендикулярных к потоку. — «Труды молодых ученых ВНИРО». ВНИРО, 1970, вып. 2, с. 7—27.
5. Блинов В. В. Расчет коэффициента гидродинамического сопротивления плоского сетного полотна, параллельного потоку. — «Труды молодых ученых ВНИРО». ВНИРО, 1971, вып. 5, с. 22—36.
6. Блинов В. В. Некоторые системотехнические задачи гидродинамики сетных и тросовых частей орудий лова. — «Труды молодых ученых ВНИРО». ВНИРО, 1971, вып. 5, с. 37—68.
7. Засосов А. В. Изменение площади плавной морской сети на дрейфе. — «Рыбное хозяйство», 1958, № 3, с. 44—47.
8. Кадильников Ю. В. Направленный дрейф с дрейтерным порядком. Вильнюс, 1967, 80 с.
9. Фридман А. Л., Данилов Ю. А. Об особенностях сопротивления рыболовной сети. — «Рыбное хозяйство», 1967, № 6, с. 38—40.
10. Фридман А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М., «Пищевая промышленность», 1969, 568 с.

SUMMARY

The resistance of the drift net is estimated according to the rule of summing up the resistances of net and wire parts of the fishing gear.

The formulae for the coefficient of hydrodynamic resistance of nets set in parallel to the flow as well as of ropes and wire drifting perpendicularly to the flow which were calculated with a sufficient accuracy earlier, are used in the estimation.

The estimation has revealed the effect of a certain distortion in the form of the net with an increasing speed of the drift, the optimum drift speed range and the character of stream—lining webs in the drift net.

Раздел II. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЫБОЛОВНЫХ ОРУДИЙ

УДК 639.2.081.8

НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОДВОДНЫХ И НАДВОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЛОВА РЫБЫ

В. Н. Мельников**Астрыбвтуз**

Совершенствование промысла рыбы с применением света во многом зависит от полноты разработки светотехнических и биофизических основ лова. Довольно обширная литература, посвященная этому вопросу, касается в основном изучения светового поля и зоны действия точечных источников подводного освещения. Значительно менее подробно рассмотрены светотехнические и биофизические основы лова с применением точечных надводных источников и совокупности источников подводного и надводного освещения.

Ниже рассматривается классификация способов применения искусственных световых полей в рыболовстве, методика выбора параметров и расположения источников, обеспечивающих заданную по размерам, форме и структуре зону действия и необходимое управляющее воздействие на рыбу. Предлагаемые методы расчета весьма приближенны и основаны на ряде серьезных допущений (используется детерминированный метод решения задач, не учитывается ослабление света рыбой, иногда вместо точных спектральных формул используются приближенные, делаются допущения о форме зоны действия и скоплений рыбы у источников и т. д.). В ряде случаев этих допущений можно было бы избежать в ущерб простоте математических выражений и пониманию их сущности.

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ В РЫБОЛОВСТВЕ

Рассматривая способы лова рыбы с применением искусственного света, нетрудно убедиться, что в их основу положены комбинации трех видов световых полей:¹

¹ Вид поля определяется без учета возможных случайных колебаний положения, ориентации и параметров источников, например в результате качки судна, случайного изменения напряжения в электрической сети и т. д.

а) стационарных C , образованных неподвижными источниками с постоянным по интенсивности и спектральному составу излучением;

б) подвижных D , которые наблюдаются, когда источник поля перемещается в горизонтальном или вертикальном направлении или изменяет ориентацию в пространстве; соответственно световые поля, образованные такими способами, обозначим $ДГ$, $ДВ$, $ДО$;

в) переменных P , образованных неподвижными источниками с переменными параметрами излучения; при быстром количественном или качественном изменении светового потока источников (импульсные источники, источники мигающего света) световое поле будем условно обозначать $ПБ$, при медленном — $ПМ$.

Количество возможных комбинаций световых полей может быть чрезвычайно велико, однако практически их число ограничено. Во-первых, маловероятно использование в одном способе более трех разновидностей световых полей. Во-вторых, применение ряда комбинаций световых полей ни теоретически, ни практически не оправдано. С другой стороны, способы применения световых полей характеризуются не только определенным сочетанием световых полей, но и другими признаками. По этой причине возможны различные варианты почти каждого из указанных способов.

В простейшем случае при ловле рыбы используется одна разновидность световых полей.

Стационарные световые поля можно использовать самостоятельно для концентрации рыбы у световых точек как световые заграждения и как средство перемещения рыбы в определенном направлении. Способы применения стационарных световых полей отличаются типом освещения (надводное, подводное, комбинированное), количеством, параметрами и расположением источников.

Подвижные световые поля могут служить для концентрации рыбы у источника, который перемещается вместе с судном ($ДГ$), в качестве подвижных световых заграждений ($ДГ$), для привлечения или отпугивания рыбы с помощью светового поля, образованного световыми приборами (например, прожекторами) при изменении их ориентации ($ДО$), для концентрации рыбы путем уменьшения высоты источника над поверхностью воды ($ДВ$) и т. д. Способы применения этого вида полей, кроме признаков, отмеченных для стационарных полей, отличаются видом, направлением и скоростью движения или изменения ориентации источников поля.

Переменные световые поля можно использовать для концентрации рыбы, оказавшейся в момент включения источника в зоне его действия, путем медленного уменьшения интенсивности поля ($ПМ$), в световых заграждениях, которые образованы источниками импульсного или мигающего света ($ПБ$), для дезориентации и распугивания рыбы в зоне или у зоны действия орудий лова светом импульсных или мигающих источников ($ПБ$) и т. д. Способы применения переменных световых полей отличаются, кроме типа освещения, количества и расположения источников, характером и скоростью изменения параметров источников.

Более разнообразны случаи применения комбинации двух видов световых полей.

Сочетания $C—P$, $P—C$ и $C=P^*$ пригодны для накопления рыбы в стационарном световом поле с последующей концентрацией ее ближе

* Знак $(—)$ указывает, что источники поля работают последовательно, а знак $(=)$ означает, что они действуют одновременно.

к источнику путем медленного уменьшения интенсивности поля ($C-ПМ$), для образования световых трасс, с помощью которых рыба накапливается в стационарном световом поле нескольких источников, а затем перемещается в сторону залавливающего устройства благодаря соответствующему режиму работы источников, выбору их параметров и расположения ($C-ПМ$ или $C-ПБ$); для образования световых заграждений, состоящих из обычных и импульсных или мигающих источников ($C=ПБ$); для уплотнения скопления рыбы путем уменьшения интенсивности поля с дальнейшей выдержкой скопления в стационарном световом поле ($ПМ-C$) и т. д.

Комбинации $C-D$ и $D-C$ можно использовать для накопления рыбы в стационарном световом поле с последующим вертикальным перемещением источника вместе с залавливающим устройством ($C-ДВ$), для накопления рыбы в стационарном световом поле, после чего она переходит с подвижным световым полем в зону действия орудия лова ($C-ДГ$, $C-ДВ$, $C-ДО$); для перемещения плотного скопления по горизонтали или вертикали в стационарное световое поле у залавливающего устройства ($ДГ-C$, $ДО-C$, $ДВ-C$) и т. д. Не менее многочисленны способы применения комбинаций световых полей $Д-П$, $П-Д$ и $Д=П$. Такие комбинации пригодны для образования скопления рыбы подвижными световыми заграждениями, образованными переменным по интенсивности световым полем ($ДГ=ПБ$), для дезориентации рыбы в зоне действия трала светом источников импульсного или мигающего света, расположенных у устья орудия лова ($ДГ=ПБ$); для образования скопления рыбы при лове на ходу судна, когда уплотнение скопления у залавливающего устройства осуществляется за счет медленного уменьшения интенсивности поля ($ДГ-ГМ$); для уплотнения скопления рыбы путем уменьшения интенсивности и высоты источника надводного освещения над поверхностью воды ($ДВ=ПМ$) и т. д.

Из большого числа комбинаций с использованием трех видов световых полей укажем в качестве примера лишь на некоторые способы применения сочетания $C-П-Д$.

Это сочетание можно использовать для образования скопления в стационарном световом поле с последующей концентрацией рыбы посредством медленного уменьшения интенсивности поля и перемещением ее в горизонтальном или вертикальном направлении к залавливающему устройству ($C-ПМ-ДГ$, $C-ПМ-ДВ$; $C-ПМ-ДО$); для образования скопления подвижными световыми заграждениями вида $ПБ-ДГ$ с предварительным накоплением рыбы в стационарном световом поле ($C-ПБ-ДГ$), для концентрации рыбы в световом поле, образованном одновременно источниками непрерывного действия и импульсными с последующим горизонтальным или вертикальным перемещением рыбы к залавливающему устройству ($C-ПБ-ДГ$, $C-ПБ-ДВ$) и т. д.

Выбор соответствующей комбинации световых полей зависит от концентрации, распределения и степени подвижности рыбы в водоеме, особенностей реакции рыбы на различные виды световых полей, некоторых гидрологических факторов, вида и конструкции орудия лова, техники лова и т. д. В ряде случаев может возникнуть и обратная задача, когда в основу кладется определенная комбинация световых полей, а подбирается орудие и техника лова.

По способу применения и особенностям расчета удобно различать четыре типа световых устройств для лова рыбы: точечные источники

подводного и надводного освещения; совокупность точечных источников, образующих единое световое поле, служащее для концентрации в нем рыбы; световые трассы; световые заграждения. Рассмотрим некоторые элементы методики расчета таких устройств.

ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК НАДВОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Рассмотрим методику светотехнического и биофизического расчета точечного источника надводного освещения; подобная методика для точечных подводных источников изложена ранее.

Максимальную эффективную освещенность E_φ глаза рыбы на глубине H лучами точечного источника с углом падения на поверхность воды φ (рис. 1) можно определить по приближенной спектральной формуле:¹

$$E_\varphi = \frac{\tau_\varphi C_p}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda) \frac{H}{\cos \beta}} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где τ_φ — отношение яркости преломленного света к яркости света, падающего на поверхность воды под углом φ ;

C_p — максимальная величина спектральной чувствительности глаза рыбы;²

β — угол преломления световых лучей, падающих на поверхность воды под углом φ , равный $\arcsin \frac{\sin \varphi}{n}$ (n — показатель преломления для воды);

h — высота источника над поверхностью воды;

$I_\varphi(\lambda)$ — функция спектральной интенсивности излучения источника со сплошным спектром в направлении, определяемом углом φ ;

$\alpha_1(\lambda)$ — функция, характеризующая изменение показателя ослабления света точечного источника по спектру;

$v_p(\lambda)$ — функция относительной спектральной чувствительности глаз рыбы.

Величину τ_φ в выражении (1) обычно определяют по формуле Френеля. Для углов $\varphi > 80^\circ$ значение τ_φ можно считать равным $5 \cos \varphi$.

Чтобы найти зону действия источника, необходимо знать координату x площадки (см. рис. 1), которая находится на глубине H и освещается лучами с углом падения φ . Очевидно,

$$x = h \operatorname{tg} \varphi + H \operatorname{tg} \beta = h \operatorname{tg} \varphi + H \frac{\sin \varphi}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}}. \quad (2)$$

С помощью уравнений (1) и (2) по заданной кривой силы света источника и высоте его расположения над поверхностью воды можно построить кривые распределения освещенности на различных глубинах (рис. 2). Если известно пороговое значение освещенности $E_{\text{п}}$ глаза

¹ Формула не учитывает ослабления света рыбой и воздушной средой, а также неоднородности воды.

² Если за основу принять систему световых единиц, то $C_p = 683$.

рыбы, то, используя кривые $E=f(x)$, нетрудно определить зону действия источника.¹ Соответствующие построения для определения сечения зоны действия источника вертикальной плоскостью, проходящей через источник, показаны на рис. 2.

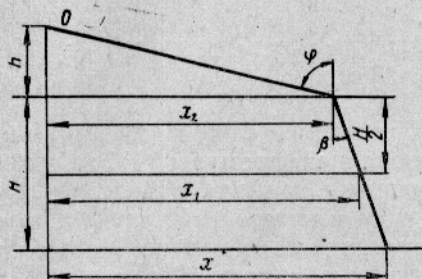


Рис. 1

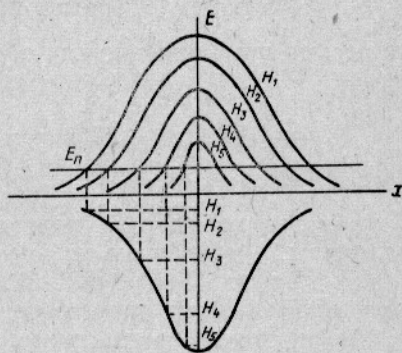


Рис. 2

Для приближенной оценки размеров зоны иногда достаточно знать наибольшую высоту зоны H_M и радиус зоны действия сразу же под поверхностью воды x_M . H_M можно найти из уравнения (1), считая угол $\varphi=0$, а $E_\varphi=E_n$; из этого же уравнения можно найти x_M , принимая $H=0$

$$H_M = \sqrt{\frac{0,98 C_p}{E_n} \int_0^\infty 10^{-a_1(\lambda) H_M} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda - h}; * \quad (3)$$

$$x_M = \sqrt[3]{\frac{5h C_p}{E_n} \int_0^\infty I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda}. \quad (4)$$

Анализ выражений (3) и (4) свидетельствует о значительном влиянии высоты источника над поверхностью воды на размеры зоны и показывает, что прирост размеров зоны с увеличением мощности близко расположенных источников до 15—20 кВт, а иногда и более достаточно велик, несмотря на резкое уменьшение τ_φ для углов φ , близких к 90° .

Зона действия источников обычно должна иметь определенную форму и размеры. Рассмотрим, как подобрать в некоторых практически важных случаях интенсивность излучения источников с равномерным в пределах нижней полусферы угловым распределением света и высоту их расположения над поверхностью воды.

1 случай. Рыба располагается в поверхностном слое воды до глубины H . При заданной интенсивности излучения источника необходимо обеспечить наибольшую по объему зону его действия в этом слое воды.

¹ В более точных расчетах необходимо учитывать, что в результате изменения естественной освещенности с глубиной E_n уменьшается.

* Уравнение (3) можно решить методом последовательного приближения.

Искомой в рассматриваемом случае является высота h источника над водой. Если решить уравнение (1) относительно h , предварительно подставив в него E_n вместо E_e , то нетрудно заметить, что расчетная высота зависит от угла φ . Установим, какой угол φ следует принимать в расчет, чтобы при h , соответствующем этому углу, зона действия была наибольшей по объему. В достаточно прозрачных морских водах при $\frac{H}{x_m} < 1/5$ объем V зоны в пределах слоя воды высотой H можно найти весьма приближенно как объем усеченного конуса

$$V = \pi H \left[(h \operatorname{tg} \varphi)^2 + h H \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}} + \frac{H^2}{3} \cdot \frac{\sin^2 \varphi}{n^2 - \sin^2 \varphi} \right]. \quad (5)$$

Если в выражение (5) подставить значения φ и соответствующие им величины h , найденные из преобразованной формулы (1), то можно построить график $V(\varphi)$ (рис. 3). Максимум графика определяет угол φ , который и является расчетным. По углу φ можно найти искомую высоту h , если на тот же график нанести кривую $h(\varphi)$. В некоторых случаях источник нельзя поднять на расчетную высоту. Тогда оптимальную интенсивность излучения источника для определенной высоты подвеса источника над поверхностью воды можно установить, построив графики $h(\varphi)$ и $V(\varphi)$ для заданной глубины H и различных значений I_φ и график $I_\varphi(h)$ (рис. 4), на котором кривые 1—4— $h(\varphi)$ для четырех I_φ , кривые 5—8— $V(\varphi)$ — для тех же значений.

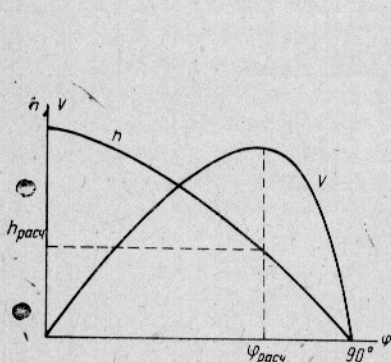


Рис. 3

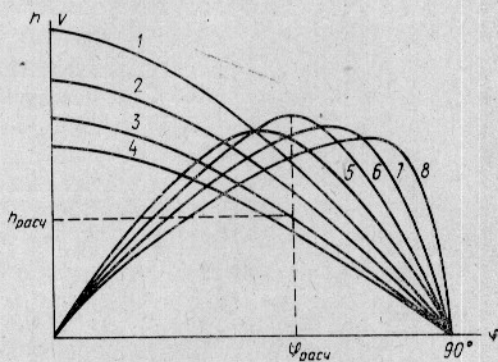


Рис. 4

Из построений следует, что чем ниже располагается источник, тем меньше его оптимальная мощность. Если мощность источника больше расчетной, то высота зоны действия окажется излишней, а по горизонтали она увеличится незначительно из-за быстрого уменьшения τ_φ на больших углах φ .

II случай.

Определить интенсивность излучения источника и высоту его расположения над поверхностью воды, если зона действия источника должна быть ограничена по горизонтали и вертикали.

Заданными величинами в этом случае являются H и x_1 (см. рис. 1). Строим графики $h(\varphi)$, $V(\varphi)$ и $h[I(\varphi)]$ для заданного значения H , подобные изображенным на рис. 4. С помощью графиков $h(\varphi)$ и $V(\varphi)$

можно найти, для какой высоты h значения x_1 и x_2 равны расчетным¹ (рис. 5).

На рис. 5 кривые 1—4 — $h(\varphi)$ для четырех значений H ; 5—8 — $V(\varphi)$ для тех же значений H .

График $h(I_\varphi)$ позволяет по найденной высоте h найти вторую искомую величину I_φ .

III случай.

Источник света должен обеспечить наибольшую по объему зону действия. Размеры зоны по вертикали и горизонтали не ограничены.

Объем зоны действия в этом случае можно приближенно определить как объем конуса, у которого высота равна H_m , а основание (κ) x_m (κ — коэффициент, зависящий в основном от отношения $\frac{H_m}{x_m}$ и равный 0,6—0,8).

Строим графики $h(\varphi)$ и $V(\varphi)$ для заданной интенсивности излучения источника и различных значений H (см. рис. 5) и устанавливаем, для какой глубины H источник заданной мощности позволяет получить наибольший объем зоны действия. После этого нетрудно найти искомую высоту источника над водой.

Кроме трех рассмотренных, возможны и другие расчетные случаи. В частности, если промысел основан на подходах рыбы в освещенную зону, то эффективность зоны определяется не ее объемом, а наибольшей площадью поперечного сечения S . Тогда определение интенсивности и расположения источника производится аналогично описанному, но вместо V в расчетах используют S . Представляют интерес случаи, когда рыба держится не у самой поверхности, а в слое воды некоторой толщины.

Значительное влияние на размеры, форму и структуру зоны действия оказывает угловое распределение света осветительной установки. Требуемое угловое распределение света можно получить при помощи ламп с зеркально отражающей поверхностью или различных осветительных приборов (светильников, прожекторов), причем возможности зеркальных ламп и прожекторов в этом отношении значительно более ограничены.

Задача сводится к выбору или расчету формы кривой силы света или угла рассеяния осветительного прибора. Как правило, решение этих задач не вызывает затруднений. Так, кривую силы света источника, позволяющего получить в определенном интервале значений x одинаковую по высоте зону действия, можно найти, определив I_φ из уравнения (1) для различных углов φ и постоянном значении H .

Способы расчета параметров световых приборов с заданными кривыми силы света подробно описаны в светотехнической литературе.

В заключение покажем, как определить спектральный состав света

¹ При определении x_1 через x_2 для углов $\varphi > 70^\circ$ величину $\text{tg } \beta$ можно считать постоянной и равной в среднем 1,07.

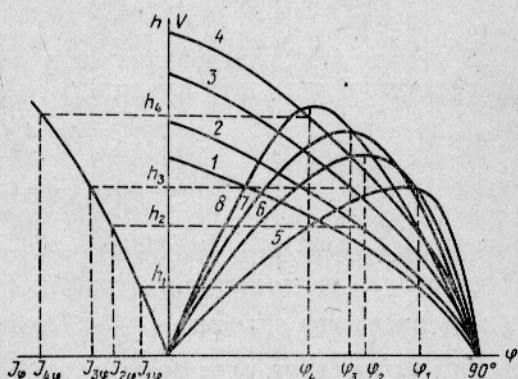


Рис. 5

надводного источника, который при других одинаковых условиях позволяет получить наибольшую по размерам зону действия. Решение задачи сводится к исследованию на экстремум функции

$$f(\lambda) = 10^{-\alpha_1(\lambda)} \frac{H}{\cos \beta} v_p(\lambda).$$

В результате исследования получаем уравнение, которое можно представить в виде двух функций:

$$f_1(\lambda) = v_p'(\lambda);$$

$$f_2(\lambda) = 2,3 \frac{H}{\cos \beta} \alpha_1'(\lambda) v_p(\lambda).$$

Точка пересечения графиков указанных функций соответствует $\lambda_{\text{опт}}$. Однако прежде чем строить график функции $f_2(\lambda)$, необходимо определить расчетное значение $\frac{H}{\cos \beta}$. Глубина H , на которой рыба держится в поверхностном слое воды, обычно бывает известна. Величину угла β с достаточной степенью точности можно определить по значению угла φ . В подавляющем большинстве случаев расчетный угол φ превышает 70° . Для таких φ угол β равен $45-49^\circ$, а $\cos \beta$ можно считать постоянным и равным 0,68.

СОВОКУПНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ПОДВОДНОГО И НАДВОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В практике лова рыбы с применением электросвета часто используют не один, а несколько источников подводного или надводного освещения, образующих единое световое поле. Расчет светового поля и зоны действия совокупности источников затруднителен, если количество источников в совокупности достаточно велико. Чтобы облегчить задачу, часто заменяют всю совокупность источников или часть ее эквивалентной системой. Такой системой может быть светящаяся точка, полоса или поверхность. Ослабление света водой и преломление света надводных источников на границе воздушной и водной среды делают расчеты освещенности от светящейся полосы и поверхности довольно сложными, поэтому удобнее заменять совокупность источников эквивалентной системой, состоящей из одной или нескольких светящихся точек.

В светотехнике источник света принято считать точечным, если размеры источника в 5—10 раз меньше расстояния до освещаемой поверхности. Как показывают расчеты, это правило справедливо и для водной среды, хотя из-за мутности воды точность расчетов в результате замены совокупности источников эквивалентной системой снижается. Правило позволяет весьма просто устанавливать, какую группу источников можно считать светящейся точкой, если задано расстояние до освещаемой поверхности. Обычно светящейся точкой в рыболовстве можно считать две или несколько ламп у всасывающего патрубка рыбонасоса, группу источников, расположенных в одном светильнике (например, на промысле сайры). Более того, при исследовании светового поля на значительном расстоянии от источников светящейся точкой можно считать группу светильников.

Определение положения эквивалентной светящейся точки в общем случае весьма сложно, тем более, что оно является функцией координат точки, для которой находят освещенность. Учитывая сравнительно небольшую точность наших расчетов, положение эквивалентной светя-

щейся точки для выбранной группы источников можно считать постоянным и находить его по аналогии с определением центра тяжести механической системы. Это допущение особенно оправдано, если расстояние от светящейся системы до освещаемой плоскости велико по сравнению с размерами самой системы. Уменьшая количество источников в системе, можно всегда добиться требуемой точности.

Для определения параметров светового поля в ряде точек исследуемого пространства воспользуемся векторным методом.

В соответствии с векторным методом световой вектор точечного источника в рассматриваемой точке имеет величину, равную в масштабе нормальной освещенности. Световой вектор от нескольких точечных источников равен сумме световых векторов от каждого из них.

Величину светового вектора ε_i в рассматриваемой точке от одного источника подводного освещения с равномерным угловым распределением света можно найти по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{C_p}{4\pi L_i} \int_0^\infty 10^{-a_i(\lambda) L_i} I(\lambda) V_p(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

где L_i — расстояние от источника до рассматриваемой точки.

Геометрическое сложение векторов в пространстве сложно, поэтому сначала следует найти ортогональные проекции светового вектора ε_{xi} , ε_{yi} и ε_{zi} каждого источника на оси прямоугольной системы координат, а затем подсчитать по известным из аналитической геометрии формулам величину и направление результирующего вектора ε в поле нескольких источников.

Зная ε и ориентацию освещаемой плоскости, нетрудно найти освещенность этой плоскости в исследуемой точке.

Если подводные источники расположены на одной прямой, то задача значительно упрощается, так как при любом положении исследуемой точки световые векторы оказываются в одной плоскости.

При исследовании светового поля совокупности надводных источников векторным методом необходимо учитывать изменение направления световых лучей при проникновении их в воду.

Пусть заданы координаты световых точек $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$ и т. д. и координаты исследуемой точки $O(x_0, y_0, z_0)$. Величина светового вектора ε_i от каждого из источников в этой точке определяется по формуле (1), в которой угол падения φ_i можно найти из уравнения (рис. 6).

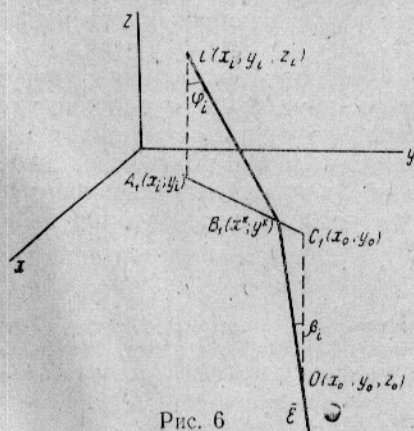


Рис. 6

$$\begin{aligned} & \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \\ &= z_i \operatorname{tg} \varphi_i + z_0 \\ & \frac{\sin \varphi_i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_i}} \end{aligned} \quad (7)$$

При определении результирующего вектора через ортогональные проекции отдельных векторов необходимо знать углы β_{xi} , β_{yi} и β_{zi} , характеризующие положения преломленного луча и, следовательно, светового вектора ε_i . Для этого найдем сначала координаты x_i^* и y_i^* точки B_1^* , в которой луч, идущий в исследуемую точку от световой точки с координатами x_i , y_i и z_i , попадает в воду. Так как задача сводится к определению координат точки, делящей отрезок в заданном отношении, то можно воспользоваться известными формулами аналитической геометрии:

$$x_i^* = \frac{x_i + \lambda x_0}{1 + \lambda}; \quad y_i^* = \frac{y_i + \lambda y_0}{1 + \lambda}. \quad (8)$$

Величину λ в этих формулах можно найти из известного соотношения

$$\lambda = \frac{A_1 B_1}{B_1 C_1} = \frac{z_i \sin \beta}{z_0 \sin \varphi} = \frac{z_i}{z_0 n}. \quad (9)$$

Направляющие косинусы углов β_{xi} , β_{yi} и β_{zi} результирующего вектора можно определить как направляющие косинусы прямой, проходящей через две точки с известными координатами (x_0, y_0, z_0) и (x^*, y^*, z^*) .

При исследовании светового поля векторным методом наиболее трудоемко определение величины световых векторов. Для облегчения расчетов удобно построить ряд кривых $\varepsilon = f(L)$ для различных значений силы света подводных источников. При исследовании светового поля от совокупности источников надводного освещения задача усложняется, так как световой вектор ε в этом случае зависит от расстояния, которое проходит луч света в воздухе $\frac{h}{\cos \varphi}$ и в воде $\frac{H}{\cos \beta}$ поэтому график следует строить в функции двух, а при неравномерном угловом распределении света источников — трех переменных.

Определение зоны действия совокупности источников векторным методом удобно вести в следующей последовательности.

Предполагаемая зона действия источников рассекается рядом горизонтальных плоскостей, расположенных на разной глубине. На каждой плоскости намечается система точек¹, в которых находят величину результирующей освещенности. Далее, в каждой плоскости проводят линии равных освещенностей. По кривым равных освещенностей легко определить границу зоны действия в этих плоскостях, если известно пороговое значение освещенности, и составить общее представление о зоне, изобразив контуры зоны действия для различных глубин на одном чертеже.

Когда источники света находятся на больших расстояниях друг от друга и их световые поля незначительно накладываются одно на другое, удобнее сначала построить для нескольких плоскостей линии равных освещенностей отдельных источников, а затем подсчитать значения освещенности в ряде точек и провести линии равных освещенностей от совокупности источников. Дальнейшие расчеты и построения не отличаются от ранее описанных.

* В выбранной системе координат $z^* = 0$.

¹ Правильному выбору количества и расположения точек в значительной мере способствуют графики $\varepsilon = f(L)$, $\varepsilon = f_1(h/\cos \varphi)$ и $\varepsilon = f_2(H/\cos \beta)$, поэтому, прежде чем приступить к определению зоны действия совокупности источников, желательно построить указанные графики.

Определение зоны действия совокупности источников весьма трудоемко. В то же время иногда достаточно иметь не столь полное представление о световом поле и зоне действия источников. Например, при линейном расположении надводных источников часто можно ограничиться построением сечения тела распределения освещенностей и зоны действия источников вертикальной плоскостью, проходящей через источники. С этой целью для ряда глубин необходимо построить кривые распределения освещенности в этой плоскости отдельных источников с учетом их взаимного расположения, а затем соответствующие ординаты сложить. В результате будут получены суммарные кривые распределения освещенности на каждой из глубин. Затем суммарные кривые освещенности для различных глубин нужно изобразить в одних координатных осях и по известному пороговому значению освещенности E_n определить границу зоны действия источников.

Если полученная форма и размеры зоны действия источников неудовлетворительны, можно попытаться изменить их, изменяя расположение и интенсивность излучения источников. К сожалению, решение в общем виде задач выбора параметров совокупности источников света и их взаимного расположения с целью получения заданной зоны действия, сопряжено с большими математическими трудностями.

СВЕТОВЫЕ ТРАССЫ

Световые трассы являются одним из эффективных средств расширения зоны привлечения рыбы к залавливающему устройству. Они характеризуются рядом параметров, которые подлежат выбору или расчету: режимом работы, который определяет порядок включения и выключения и продолжительность горения отдельных световых точек трассы; количеством, мощностью и спектральным составом света источников; расстоянием между световыми точками; формой световой трассы; коэффициентом использования источников в световой трассе, равным отношению световой энергии, излучаемой всеми источниками света трассы за один цикл ее работы, к световой энергии, которую они могли бы излучить за то же время, работая непрерывно; коэффициентом плавности подхода рыбы к залавливающему устройству, равным величине, обратной времени одного цикла работы световой трассы.

Ниже на основе приближенных соотношений дается обоснование выбора некоторых параметров световых трасс для двух наиболее перспективных вариантов режима их работы. При этом сначала рассматриваются подводные, а затем надводные световые трассы.

По первому варианту сначала включают все световые точки трассы, а затем их последовательно выключают, и рыба постепенно переходит к залавливающему устройству. В зависимости от особенностей поведения рыбы возможно несколько расчетных случаев этого варианта.

1 случай. После выключения очередной световой точки рыба стремительно расходится в разные стороны.

Наименее вероятно возвращение к горящей световой точке 1 той рыбы, которая ушла от потушенной световой точки под углом θ , близким к 0, и которая в момент выключения света была на периферии скопления радиусом r (рис. 7). Через время t после выключения света эта рыба окажется на расстоянии X от световой точки 1.

$$x = a + r + v_p t, \quad (10)$$

где a — расстояние между источниками;
 v_p — скорость перемещения рыбы.

Наибольшую освещенность E_x глаза рыбы на расстоянии x можно определить по приближенной формуле:

$$E_x = \frac{I_{\text{эф}}}{(a + r + v_p t)^2} \cdot 10^{-\alpha_{\text{ср}} (a + r + v_p t)}, \quad (11)$$

где $I_{\text{эф}}$ — эффективная сила света световой точки;

$\alpha_{\text{ср}}$ — среднее значение коэффициента ослабления точечного источника в слое воды толщиной x .

После выключения световой точки в результате темновой адаптации пороговая разность освещенности, равная в момент выключения света E_n^0 , уменьшается и через время t станет равной

$$E_n^t = E_n^0 10^{-k_1 t}, \quad (12)$$

где k_1 — коэффициент, определяющий скорость темновой адаптации глаза рыбы.

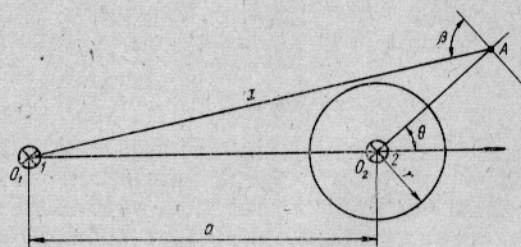


Рис. 7

Приравнивая выражения (11) и (12), находим условие, при котором рыба повернет к горящей световой точке I :

$$\frac{I_{\text{эф}}}{E_n^0 10^{\alpha_{\text{ср}} (a+r)}} = (a + r + v_p t)^2 10^{(\alpha_{\text{ср}} v_p - k_1) t}, \quad (13)$$

Значение t , при котором a имеет экстремальное значение, можно найти, приравняв к нулю частную производную функции (13) по t

$$t = \frac{0,87}{k_1 - \alpha_{\text{ср}} v_p} - \frac{a + r}{v_p}. \quad (14)$$

Подставляя t в выражение (13), получаем следующие расчетные уравнения

при $k_1 < \alpha_{\text{ср}} v_p$

$$\frac{I_{\text{эф}}}{E_n^0} = (a + r) 10^{\alpha_{\text{ср}} (a+r)}; \quad (15)$$

при $\alpha_{\text{ср}} v_p < k_1 < \alpha_{\text{ср}} v_p + \frac{0,87 v_p}{a + r}$

$$\frac{I_{\text{эф}}}{E_n^0} + \frac{v_p^2}{k_1 - \alpha_{\text{ср}} v_p} 10^{\frac{k_1 (a + r)}{v_p}}. \quad (16)$$

При $k_1 < \alpha_{\text{ср}} v_p + \frac{3v_p}{a+r}$ значение a теоретически может быть бесконеч-

но большим, практически оно не должно превышать расстояния, на котором освещенность глаза искусственным светом меньше, чем пороговая разность, соответствующая уровню естественной освещенности в водоеме.

Очевидно, далеко не всегда рыба в состоянии возбуждения направляется к горячей световой точке, как только освещенность ее глаза становится больше $E_{\text{п}}$, поэтому, наряду с рассмотренным выше способом определения a , необходимо провести расчет, подставляя в уравнение (13) время t сильного возбуждения рыбы после выключения световой точки 2.

2 случай. После выключения очередной световой точки рыба не расходуется беспорядочно в разные стороны, а благодаря стайному инстинкту перемещается к горячей световой точке вслед за особями, которые оказались к ней ближе других.

Если световая точка 1 после выключения источника 2 (рис. 8) создает в точке A освещенность глаза рыбы не меньше $E_{\text{п}}^0$, то расчетное уравнение для определения $I_{\text{эф}}$ или a имеет вид

$$E_{\text{п}}^0 = \frac{I_{\text{эф}}}{(a-r)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a-r)}. \quad (17)$$

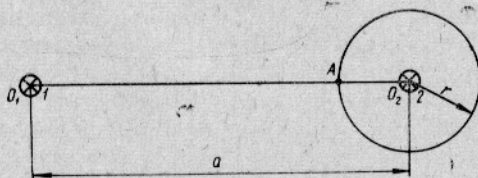


Рис. 8

Если освещенность глаза рыбы, расположенной в точке A , светом источника 2 меньше $E_{\text{п}}^0$, то рыба направляется к световой точке 1 при выполнении двух условий: световая точка 1 должна создавать на одном из глаз рыбы освещенность E_1 не меньшую, чем освещенность E_2 светом источника 2 и разность в освещенности правого и левого глаза рыбы должна превышать пороговую контрастность освещения $k_{\text{п}}$ глаз рыбы. Первое условие выполняется, когда

$$E_2 = \frac{I_{\text{эф}}}{(a-r)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a-r)}, \quad (18)$$

второе, когда

$$\frac{E_{\text{ест}} + E_{\text{р}}}{1 - k_{\text{п}}} = \frac{I_{\text{эф}}}{(a-r)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a-r)} \quad (19)$$

где $E_{\text{ест}}$ — освещенность глаза рыбы естественным светом;

$E_{\text{р}}$ — освещенность глаза рыбы рассеянным светом источника 1.

Таким образом, во втором расчетном случае искомые величины следует находить дважды: из уравнений (17) или (18) и из уравнения (19). Из двух значений следует выбрать то, которое обеспечивает большую освещенность глаз рыбы.

Иногда рыба направляется к соседнему горящему источнику не сразу после выключения очередного источника, а спустя некоторое время. Если при этом положение рыбы изменяется незначительно, то можно пользоваться теми же уравнениями (17), (18) и (19), но подставляя в уравнение (17) вместо E_n^0 пороговое значение, соответствующее времени t .

3 случай. После выключения очередной световой точки рыба, не обладающая достаточным стайным инстинктом, отстает от нее вследствие дрейфа судна или относится течением.

В этом случае освещенность глаза любой из рыб в скоплении (рис. 9) светом соседнего источника должна быть больше, чем E_n сразу же после выключения света или через время t . Если принять за основу самый неблагоприятный случай, когда рыба удаляется в сторону,

противоположную направлению на горящий источник, то задача сводится к решению уравнения (13).

По второму варианту режима работы световой трассы световые точки горят через одну с последующим их переключением (кроме световой точки у залавливающего устройства). Время между переключениями должно быть достаточным для перехода рыбы от одной световой точки к другой. Чтобы при очередном гашении световых точек рыба двигалась к залавливающему устройству, а не от него, необходимо обеспечить большее привлекающее действие световой точки, расположенной ближе к залавливающему устройству, на-

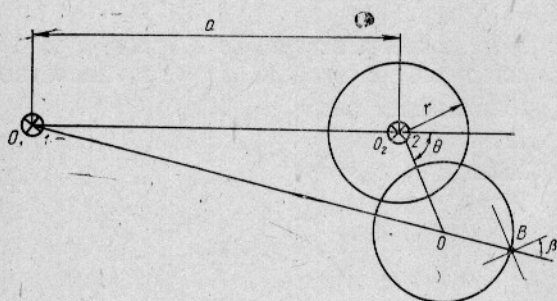


Рис. 9

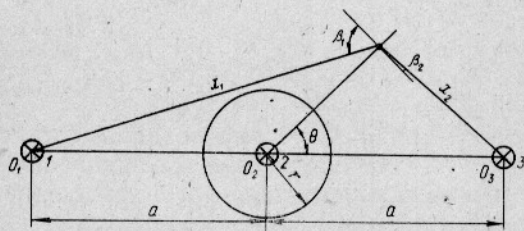


Рис. 10

пример за счет увеличения мощности источников, уменьшения расстояния между ними или применяя осветительные установки с неравномерным угловым распределением света.

Если нужный эффект достигается первым способом, то расчет сводится к определению расстояния между световыми точками и соотношения между мощностями соседних световых точек. Расчет расстояния между световыми точками следует вести, задаваясь мощностью предпоследнего от конца трассы источника. Соотношение между мощностями соседних световых точек можно найти, сравнивая освещенность, которую создают на глазу рыбы у потушенного источника две соседние горящие световые точки. Как и для первого варианта режима работы световой трассы, возможно несколько расчетных случаев в зависимости от особенностей поведения рыбы. Разберем лишь один из них, когда рыба после выключения источника стремительно расходится в раз-

ные стороны. Расчет будем вести для части рыб, уходящих от потушенного источника в направлениях, для которых угол Θ близок к нулю.

Расстояние a между источниками можно найти с помощью формул, полученных из уравнения (13), задаваясь силой света источника 2 (рис. 10).

Чтобы рыба после выключения световой точки 2 пошла в направлении залавливающего устройства, необходимо выполнить следующее условие:

$$\frac{E_1 - E_3}{E_1} = k_n, \quad (20)$$

где E_1 и E_3 — соответственно освещенность глаза рыбы светом источников 1 и 3.

Подставляя в уравнение (20) значения E_1 и E_3 , получим

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{1}{1 - k_n} \left(\frac{a + r + v_p t}{a - r - v_p t} \right)^2 10^{2\alpha_{\text{ср}}(r + v_p t)}. \quad (21)$$

Наименьшее значение I_1/I_3 , как следует из уравнения (21), будет иметь при $t=0$. Однако I_1/I_3 нужно находить с учетом времени сильно возбужденного состояния рыбы после выключения света. Расчеты показывают, что при $t=0$ для вод средней прозрачности $I_1/I_3 = 6 \div 8$, а отношение силы света соседних световых точек составляет 2,5—3,0. Следовательно, даже в этом случае трудно осуществить световую трассу, состоящую более чем из пяти-шести световых точек.

Если движение рыбы к залавливающему устройству достигается по второму способу, то необходимо задаться мощностью световых точек и с учетом этого определить расстояние между последней и предпоследней световой точкой трассы. Далее следует найти, в каком соотношении должны находиться расстояния между соседними источниками. Расчет можно вести с помощью уравнения (21), приняв в нем $I_1 = I_3$ и вводя вместо a — расстояния a_1 и a_2 . Анализ показывает, что расстояние между световыми точками по мере приближения к залавливающему устройству быстро убывает, поэтому таким способом также нельзя осуществить трассу большой длины.

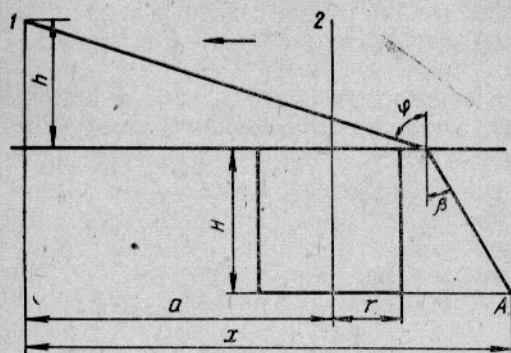
Третий способ позволяет без затруднений осуществлять световые трассы любой длины. Однако кроме обычного исследования поведения рыбы в зоне действия световых трасс, он требует изучения реакции рыбы на неравномерное угловое распределение света источников. Расстояние между световыми точками в этом случае определяют по формулам, полученным для первого варианта режима работы световой трассы.

Мы рассмотрели методику расчета основных параметров световых трасс, образованных подводными источниками, для двух режимов их работы. Первый из них применим при сравнительно небольших концентрациях рыбы, когда залавливающее устройство работает периодически с продолжительным циклом. Второй вариант можно использовать при любой концентрации рыбы, когда залавливающее устройство работает непрерывно или периодически с коротким циклом.

Рассмотрим далее методику расчета надводных световых трасс для тех же вариантов режима работы, считая в первом приближении,

что скопление рыбы под каждой световой точкой трассы имеет форму цилиндра с радиусом основания r и высотой H .

Первый вариант. 1 случай. Освещенность глаза рыбы в точке A (рис. 11) можно найти по приближенной формуле:



$$E_A = \frac{\tau_\varphi I_{\text{эф}}}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}} \frac{H}{\cos \beta}} \quad (22)$$

Рис. 11

Расчетный угол φ обычно больше 80° , тогда можно считать: $1/\cos \varphi = \operatorname{tg} \varphi_1$, $\beta = 48 \div 49^\circ$ и $\tau = 5 \cos \varphi$. С учетом этого, а также выражений (3) и (10), которые справедливы в рассматриваемом случае, формулу (22) можно записать в следующем виде

$$E_A = \frac{5 I_{\text{эф}} h}{(a + r + v_p t + 0,038 H)(a + r + v_p t - 1,12 H)} 10^{-1,5 \alpha_{\text{ср}} H} \quad (23)$$

Заменив в формуле (23) E_A на E_n^t получим выражение для $I_{\text{эф}}$, при котором рыба перемещается к горячей световой точке:

$$I_{\text{эф}} = \frac{E_n^0}{5h} 10^{1,5 \alpha_{\text{ср}} H - k_1 t} (a + r + v_p t + 0,38 H)^2 (a + r + v_p t - 1,12 H). \quad (24)$$

Исследуя уравнение (24) на экстремум, находим t , которому соответствует наименьшее значение $I_{\text{эф}}$:

$$t = \frac{3 - k_1 S_2 - k_1 S_3}{2 k_1 v_p} \pm \sqrt{\left(\frac{3 - k_1 S_2 - k_1 S_3}{2 k_1 v_p}\right)^2 - \frac{k_1 S_2 S_3 - S_1 v_p}{k_1 v_p^2}}, \quad (25)$$

где $S_1 = 3a + 3r - 1,86$; $S_2 = a + r + 0,38 H$; $S_3 = a + r - 1,12 H$.

Полученное выражение для t весьма громоздко. В то же время надводные световые трассы применимы для перемещения рыбы преимущественно в самом поверхностном слое воды (до глубины 10—15 м). В таких случаях в формуле (25) с достаточной для практики точностью члены, стоящие в скобках и содержащие H , можно отбросить. Тогда выражение для t примет вид:

$$t = \frac{3}{k_1} - \frac{a + r}{v_p}. \quad (26)$$

Из выражения (26) следует, что при $t < \frac{a + r}{3v_p}$ значение $I_{\text{эф}}$ следует искать при $t = 0$. Для этого случая уравнение (24) примет вид:

$$I_{\text{эф}} = \frac{E_n^0}{5h} 10^{1,5 \alpha_{\text{ср}} H} (a + r)^3. \quad (27)$$

Если $k_1 > \frac{a+r}{3v_0}$, то экстремум функции лежит в области положительных значений t и найти $I_{\text{эф}}$ можно, подставив значение t в уравнение (24). После небольших преобразований получаем:

$$I_{\text{эф}} = \frac{0,0006 E_n^0}{k_1 h} 10^{1,5\alpha_{\text{ср}} H + \frac{k_1(a+r)}{v_p}} \quad (28)$$

В состоянии сильного возбуждения после выключения световой точки рыба не всегда способна обнаружить слабый свет соседней световой точки, поэтому наряду с подсчетом $I_{\text{эф}}$ по времени t рассмотренным выше способом необходимо определить его по времени $t_{\text{в}}$ сильного возбуждения рыбы после выключения света. Из двух значений $I_{\text{эф}}$ следует выбрать большее.

Для более эффективного использования света источников соотношение между h и $I_{\text{эф}}$ должно быть не произвольным, а определяться по методике, описанной ранее для точечных источников надводного освещения.

2 случай. Условие, при котором рыба перемещается вдоль световой трассы, можно записать для любого времени t , меньшего времени распада скопления под световой точкой после ее выключения. Наиболее определенное решение получаем для $t=0$, когда освещенность в точке A (рис. 12) должна быть равна E_n :

$$E_n^0 = \frac{\tau_{\varphi} I_{\text{эф}}}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}} \frac{H}{\cos \beta}} \quad (29)$$

Угол φ в этом случае может быть меньше 80° , поэтому принятые ранее приближенные зависимости при определении φ оказываются не всегда пригодными и его следует находить из соотношения (см. рис. 12):

$$\cos \varphi = \frac{h}{\sqrt{h^2 + (a-r-H)^2}} \quad (30)$$

Подставляем значение $\cos \varphi$ в формулу (29) и находим из нее $I_{\text{эф}}$:

$$I_{\text{эф}} = \frac{(\sqrt{h^2 + (a-r-H)^2} + H)^2 E_n^0}{\tau_{\varphi}} 10^{1,5\alpha_{\text{ср}} H} \quad (31)$$

Кроме условия, выраженного в виде формулы (29), для нормальной работы трассы необходимо обеспечить контрастность освещения глаз рыбы, равную k_n . Освещенность глаза, обращенного в сторону горячей световой точки, равна максимальной освещенности E_A в точке A светом световой точки I и освещенности естественным светом $E_{\text{ест}}$; освещенность другого глаза складывается из освещенности этого глаза светом световой точки I , равной очень приближенно $E_A \cos \beta$ (рис. 12),

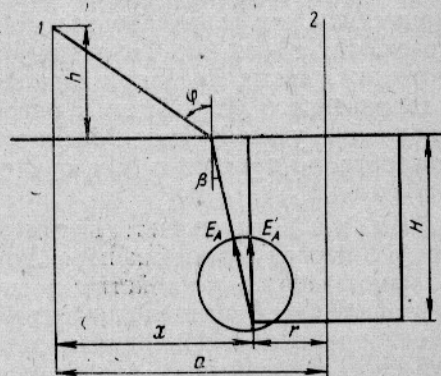


Рис. 12

и освещенности естественным светом $E_{\text{ест}}$. Чтобы рыба обнаружила световую точку I , должно быть выполнено условие:

$$k_{\pi} = \frac{E_A (1 - \cos \beta)}{E_A + E_{\text{ест}}}, \quad (32)$$

откуда

$$E_A = \frac{k_{\pi} E_{\text{ест}}}{(1 - \cos \beta) - k_{\pi}}. \quad (33)$$

Если в формулу (29) вместо E_{π} подставить E_A из выражения (33), то можно определить $I_{\text{эф}}$, которая обеспечит необходимую величину k_{π} . Сравнив эту величину $I_{\text{эф}}$ с полученной по формуле (31), следует выбрать большую.

3 случай. Если принимать во внимание самый неблагоприятный случай, когда рыба удаляется в противоположную сторону от горящего источника, то расчетные уравнения для определения $I_{\text{эф}}$ будут иметь такой же вид и решаться таким же способом, как и уравнения (24), (27) и (28).

Первый вариант режима работы надводных световых трасс можно применять как с предварительной выдержкой со светом всех световых точек, так и без нее. Поскольку рыба не затеняет или слабо затеняет источник, время предварительной выдержки зависит от готовности залавливающего устройства к очередному циклу работы и устойчивости скопления у источника. Рассматриваемый вариант режима работы целесообразно применять для орудий и способов лова с длинным циклом работы.

Второй вариант. Когда световые точки трассы горят через одну с последующим их переключением, перемещение рыбы в сторону залавливающего устройства можно обеспечить увеличением мощности световых точек, расположенных ближе к залавливающему устройству, с одновременным изменением расстояния между ними (источники имеют неограниченный в пределах нижней полусферы угол рассеяния); увеличением угла рассеяния симметричных источников, расположенных ближе к залавливающему устройству; применением симметричных источников, ось симметрии которых повернута относительно вертикали на некоторый угол в сторону, противоположную направлению на залавливающее устройство; применением источников с несимметричным относительно вертикальной оси распределением света.

В первом случае следует задаться высотой расположения крайней от залавливающего устройства световой точки h . По ранее разработанной методике для этой высоты можно определить силу света световой точки, при которой световой поток будет использоваться наиболее рационально, а также найти угол φ_n (рис. 13), ограничивающий зону действия световой точки. По известному углу φ_n далее необходимо построить контуры зоны действия и примерные контуры скопления рыбы под световой точкой (для упрощения мы изображаем скопление рыбы в виде цилиндра). Расположение и необходимые контуры зоны действия световой точки $n-1$ можно найти из условия того, что контуры зоны действия последней световой точки не должны касаться контура скопления под световой точкой $n-1$, а контуры зоны действия световой точки $n-1$ должны охватывать скопление рыбы под световой точкой n .

Определив с учетом этого расстояние между световыми точками, по формуле (24) находим величину $I_{эф}$ для предпоследнего источника. Время t , входящее в эту формулу, выбирается в зависимости от особен-

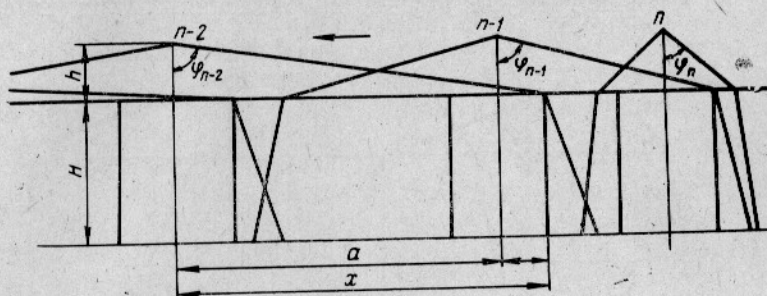


Рис. 13

ностей поведения рыбы так же, как при расчете световой трассы, работающей по первому варианту.

Таким же образом можно определить расположение и параметры других световых точек трассы. Мощность световых точек и расстояние между ними растет очень быстро, поэтому таким способом можно осуществить световые трассы небольшой длины. Кроме того, световой поток всех световых точек, кроме крайних, используется нерационально.

Во втором случае мощность симметричных световых точек можно брать одинаковой или увеличивать по мере приближения световой точки к залавливающему устройству. Последний вариант предпочтительней, так как позволяет использовать мощность световых точек более эффективно.

При заданной высоте расположения световых точек искомыми являются необходимый угол рассеяния φ_i , их мощность и расстояние между ними. Мощность световых точек (имеются в виду световые точки с равномерным в пределах угла рассеяния распределением света) и расстояние между ними определяют так же, как и в первом случае, а необходимый угол рассеяния φ_i получают в результате графических построений.

При осуществлении световой трассы по этому способу рационально применять световые устройства с неравномерным угловым распределением света, однако расчеты в этом случае усложняются.

В третьем случае световые точки можно брать одинаковой мощности, с одинаковым углом рассеяния и располагать на равном расстоянии друг от друга. По заданной высоте подвеса источников и расстоянию между ними необходимо найти мощность, угол рассеяния φ и угол наклона φ_0 оптической оси световых устройств к вертикали (рис. 14).

Углы φ_1 и φ_2 , составляющие угол рассеяния φ , можно найти из следующих соотношений:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{h}{x_1}; \quad (34)$$

$$h \operatorname{tg} \varphi_2 + H \operatorname{tg} \beta_2 \leq a - r. \quad (35)$$

Силу света световой точки в пределах угла рассеяния можно определить в общем случае по формуле (24).

Очевидно, в этом случае можно использовать симметричные источники с неравномерным угловым распределением света в пределах угла

рассеяния, однако особого эффекта это не даст. Более экономичными являются несимметричные осветительные приборы, у которых сила света в направлениях, противоположных направлению на залавливающее устройство, больше, чем по другим направлениям. Угол рассеяния φ

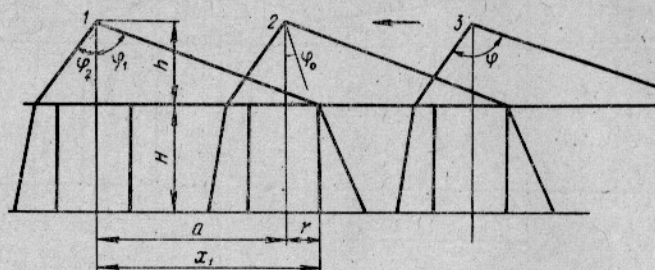


Рис. 14

осветительного прибора в этом случае рассчитывается так же, как и в предыдущем, а необходимое угловое распределение света определяют известными в светотехнике способами.

Второй вариант режима работы надводных световых трасс можно использовать при любой концентрации рыбы, когда залавливающее устройство работает непрерывно или периодически с коротким циклом.

В заключение рассмотрим, какова эффективность световых трасс в зависимости от количества световых точек. Решим эту задачу в первом приближении, считая, что интенсивность попадания рыбы к источнику через единичную площадку равна q , а при переходе от одной точки к другой теряется $(1-m)$ доля рыбы.

Если за эффективность f световой трассы принять отношение количества рыбы, подошедшей к залавливающему устройству, к количеству рыбы, подходящей к единичной световой точке с радиусом зоны действия R , то для первого варианта режима работы световой трассы

$$f = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{a}{2R} \right) (1 - m^{n-1}) + \frac{m(1 - m^{n-2})}{1 - m} \cdot \frac{a}{4R} \sin \alpha, \quad (36)$$

а для второго варианта

$$f = 1 + \frac{m(1 - m^{n-1})}{2(1 - m)}, \quad (37)^*$$

где α — угол между направлением световой трассы и направлением движения рыбы;
 n — количество световых точек односторонней световой трассы.

Как видно из формул (36) и (37), эффективность световых трасс в значительной степени зависит от m . Даже при $m=0,9$ нецелесообразно применять односторонние световые трассы, состоящие более чем из пяти-шести световых точек. По этой причине более перспективны двухсторонние световые трассы, у которых световые точки расположены по обе стороны от залавливающего устройства.

* Уравнение (37) справедливо лишь для больших углов α ($\sin \alpha > \frac{R}{a}$).

СВЕТОВЫЕ ЗАГРАЖДЕНИЯ

Световые заграждения предназначены в основном для концентрации или перемещения в нужном направлении рыбы с отрицательной реакцией на искусственное световое поле. Для рыбы характерна некоторая минимальная освещенность глаз $E_{отп}$, при которой она не проходит заграждение. Эта величина зависит, очевидно, не только от отношения рыбы к свету, но и от вида применяемых в заграждении световых полей. По-видимому, $E_{отп}$ будет меньше при использовании переменных световых полей, которые к тому же экономичнее.

Световые заграждения характеризуются режимом работы, количеством, мощностью и спектральным составом света источников, расстоянием между световыми точками и их относительным расположением, формой и размерами светового заграждения и степенью его подвижности.

Обычно задают размеры и форму светового заграждения, степень его подвижности. Остальные параметры подлежат выбору или расчету.

Рассмотрим методику расчета некоторых вариантов световых заграждений, которые различаются в основном относительным расположением источников.

Первый вариант. Световое заграждение небольшой высоты, в котором источники света расположены в один ряд.

Когда источники света мощностью 50—100 Вт имеют размер зоны действия, примерно равный необходимой высоте заграждения, их следует располагать у верхней или нижней границы заграждения. В обоих случаях целесообразнее применять светильники, образующие «плоское» полукруговое световое поле. Расположение таких светильников у поверхности воды, в общем, предпочтительнее, так как положительное влияние света, отраженного от дна, будет сказываться в большей степени, а количество света, уходящего в воздух, будет, наоборот, меньше.

Определим потребную интенсивность света источников, расположенных у поверхности воды, и расстояние между ними. Расчетная точка A находится у дна на одинаковом расстоянии от двух ближайших источников (рис. 15). Отраженный от дна свет учитывать не будем, считая, что он создает некоторый дополнительный оплугивающий эффект.

Задача состоит в том, чтобы найти максимальную освещенность плоскостей, проходящих через точку A , так как она в первом приближении определяет воздействие светового поля заграждения на рыбу.

Если высота заграждения H , а расстояние между соседними источниками a , то нормальная освещенность E_0 в точке A светом одного из источников O_2 или O_3

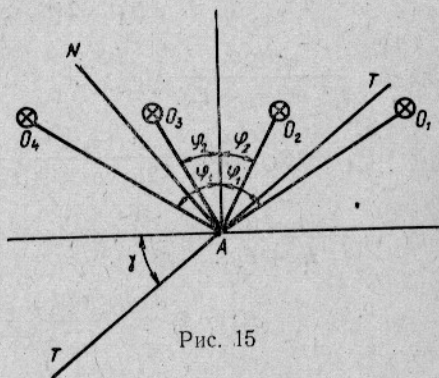


Рис. 15

$$E_0 = \frac{C_p}{\omega \left[H^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^{\infty} 10^{-\alpha_1(\lambda)} \sqrt{H^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda, \quad (38)$$

где ω — телесный угол, в пределах которого излучает источник.

Если источник имеет «плоское» световое поле с углом растворения α и излучает в пределах центрального угла $\beta = 180^\circ$, то

$$\omega = 2\pi \sin \alpha. \quad (39)$$

Нормальную освещенность E'_0 в точке A светом одного из источников O_1 или O_4 можно найти по формуле:

$$E_0 = \frac{C_p}{\omega \left[H^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-a_1(\lambda)} \sqrt{H^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (40)$$

Освещенность плоскости в точке A светом четырех источников, когда $\gamma < 90^\circ - \varphi^2$,

$$E_A = 2 \cos \gamma [E_0 \cos \varphi_1 + E_0' \cos \varphi_2]. \quad (41)$$

Освещенность той же плоскости в точке A , когда $90^\circ - \varphi_1 \geq \gamma \geq 90^\circ - \varphi_2$

$$E_A = 2E_0 \cos \varphi_1 \cos \gamma + E_0' \cos (\varphi_2 - \gamma). \quad (42)$$

Наконец, освещенность плоскости в точке A , когда $\gamma > 90^\circ - \varphi_1$,

$$E_A = E_0 \cos (\varphi_1 - \gamma) + E_0' \cos (\varphi_2 - \gamma). \quad (43)$$

В результате исследования уравнений (41), (42) и (43) на экстремум получаем следующие значения максимальной освещенности: для $\gamma = 0$

$$E_A = 2 [E_0 \cos \varphi_1 + E_0' \cos \varphi_2]; \quad (44)$$

$$\text{для } \gamma = \frac{\varphi_2 E_0'}{2E_0 \cos \varphi_1 + E_0'}$$

$$E_A = 2E_0 \cos \varphi_1 \cos \frac{\varphi_2 E_0'}{2E_0 \cos \varphi_1 + E_0'} + E_0' \cos \varphi_2 \left(1 - \frac{E_0'}{2E_0 \cos \varphi_1 + E_0'} \right); \quad (45)$$

$$\text{для } \gamma = \frac{E_0 \varphi_1 + E_0' \varphi_2}{E_0 + E_0'}$$

$$E_A = E_0 \cos \frac{E_0' (\varphi_1 - \varphi_2)}{E_0 + E_0'} + E_0' \cos \frac{E_0 (\varphi_2 - \varphi_1)}{E_0 + E_0'}. \quad (46)$$

При расчете освещенности от четырех источников в общем случае затруднительно определить, какая из трех указанных плоскостей имеет наибольшую освещенность, поэтому необходимо всякий раз находить ориентацию такой плоскости и величину ее освещенности расчетным путем по заданным или найденным значениям φ_1 , φ_2 , E_0 и E_0' .

Если установить, какая плоскость имеет наибольшую освещенность и подставить в соответствующее уравнение вместо $E_1 - E_{\text{отп}}$, то получим уравнение, из которого можно найти искомую интенсивность света источников или расстояние между ними, задаваясь одной из указанных величин.

При $I(\lambda)$, соответствующем 50—100 Вт, расстояние между источниками не должно быть менее 1,0—1,5 H , иначе рассматриваемый вариант светового заграждения становится малоэкономичным, и источни-

ки следует располагать в средней по высоте части заграждения (рис. 16).

Будем считать, что светильники в этом случае также имеют «плоское» световое поле с углом раствора α и излучают в пределах

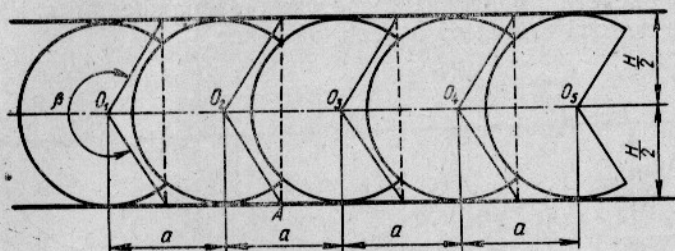


Рис. 16

центрального угла β , высота заграждения H , расстояние между источниками a . Для расчетной точки A нормальная освещенность E_0 светом одного из источников O_2 или O_3 равна:

$$E_0 = \frac{C_p}{\omega_1 \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda)} \sqrt{\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (47)$$

Телесный угол ω_1 , в пределах которого излучает источник, можно определить по формуле:

$$\omega_1 = \frac{\pi \beta}{90^\circ} \sin \alpha. \quad (48)$$

Угол β должен быть таким, чтобы прямой свет двух ближайших источников попадал в расчетную точку. Очевидно, это условие выполняется, когда

$$-\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} > \frac{a}{H}. \quad (49)$$

Нормальная освещенность E_0' светом источника O_4 (свет источника O_1 в точку A не попадает)

$$E_0' = \frac{C_p}{\omega_1 \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda)} \sqrt{\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (50)$$

Расчетное уравнение для этого случая можно получить, если подставить E_0 и E_0' из уравнений (47) и (50) в одну из формул (44), (45) или (46), считая в ней освещенность светом источника O_1 , равной нулю, и заменяя E_A на $E_{отп}$.

Расположение источников в один ряд можно рекомендовать лишь для такой высоты заграждения, пока потребная мощность источника не превышает 200—250 Вт. При большой высоте заграждения источники необходимо располагать по высоте в несколько рядов. Практически количество рядов вряд ли будет превышать два-три. Так же, как и ранее, необходимо исходить из того, что наиболее экономичны и удобны

в эксплуатации световые заграждения с источниками света мощностью 50—200 Вт.

Возможны несколько вариантов расположения источников в два и три ряда. Наиболее перспективные из них показаны на рис. 17 и 18. Методика расчета подводных световых заграждений в этом случае в принципе не отличается от описанной выше.

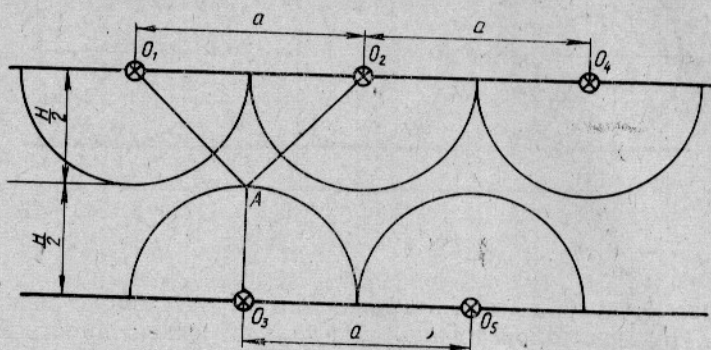


Рис. 17

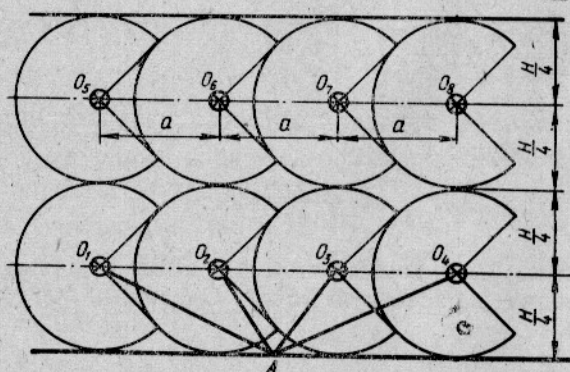


Рис. 18

В световых заграждениях, образованных надводными источниками, расстояние между световыми точками, как правило, велико, и в расчет следует принимать одновременно световой поток не более чем от двух источников. Преломленный луч составляет с вертикалью угол, мень-

ший, чем 49° , поэтому наибольшую освещенность в расчетной точке будет всегда иметь горизонтальная плоскость.

Таким образом, при расчете надводных световых заграждений возможен лишь один случай.

Положение расчетной точки зависит от формы кривых сил света источников; наиболее часто она занимает положение А, показанное на рис. 19.

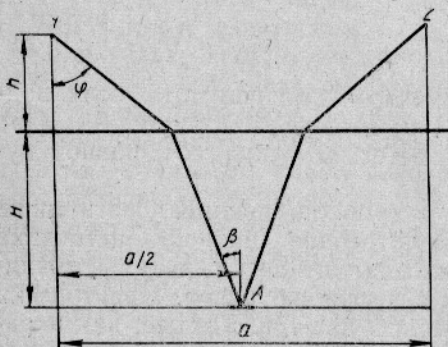


Рис. 19

Освещенность E_A горизонтальной плоскости в точке A светом обоих источников

$$E_A = \frac{2\tau_\varphi \cos \beta C_p}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} \int_0^\infty 10^{-z_1(\lambda) \frac{H}{\cos \beta}} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (51)$$

Расчетный угол φ обычно превышает 80° , а угол β близок к 45° . Тогда

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \frac{1}{\cos \varphi} = \frac{\frac{a}{2} - H}{h}. \quad (52)$$

С учетом этого и после замены E_A на $E_{\text{отп}}$ уравнение (51) примет вид, пригодный для расчета световых заграждений, образованных надводными источниками:

$$E_{\text{отп}} = \frac{7,0 h}{\left(\frac{a}{2} + 0,4H\right)^2 \left(\frac{a}{2} - H\right)} \int_0^\infty 10^{-1,4z_1(\lambda) H} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (53)$$

Наиболее удобно при помощи уравнения (53) определять расстояние между источниками a , задаваясь остальными величинами.

В надводных световых заграждениях также целесообразно применять световые приборы с «плоским» распределением светового потока, поскольку поперечные размеры светового заграждения обычно не имеют значения.

При равномерном в пределах нижнего светового пояса распределении света эффективность использования светового потока источников низка, так как непосредственно под источником света высота зоны действия будет значительно превышать расчетную. Поэтому наиболее эффективными будут источники с таким угловым распределением света, которое обеспечивает в некотором интервале x примерно одинаковую высоту светового заграждения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Гершун А. А. Световое поле. ОНТИ НКТП, 1936, 285.
- Исследование подводной освещенности, создаваемой рыболовными светильниками в море. — «Рыбное хозяйство», 1969, № 2, с. 47—50. Авт.: Е. Г. Шарапов, С. Ф. Жуков, М. Н. Кайгородов, Г. Г. Неумин.
- Кириллов В. М. О возможности увеличения добычи анчоуса в Черном море. — «Рыбное хозяйство», 1955; № 8, с. 11—14.
- Мельников В. Н. Определение расстояния, с которого рыба обнаруживает источник подводного освещения. Сборник НТИ ВНИРО, 1966, № 4, с. 91—96.
- Мельников В. Н. Исследование светового поля источника надводного освещения. Сборник рефератов, докладов и сообщений XVII научной конференции Астрыбуза, Астрахань, 1967, с. 23—24.
- Мельников В. Н. Исследование работы совокупности источников надводного освещения при лове рыбы. Сборник рефератов, докладов и сообщений XIX конференции Астрыбуза, Астрахань, 1968, с. 56—57.
- Мельников В. Н. Определение оптимального спектрального состава излучения подводных источников для лова рыбы. Сборник НТИ ВНИРО, 1968, № 4, с. 80—86.

Мешков В. В., Соколов И. И. Курс осветительной техники. М.—Л. Госэнергоиздат, 1960, с. 363.

Никоноров И. В. Лов рыбы на свет. М., «Рыбное хозяйство», 1963, с. 166.

Никоноров И. В. Выбор режима освещения при лове рыбы на свет. — «Рыбное хозяйство», 1965, № 2, с. 48—50, № 3, с. 41—43.

Никоноров И. В. Итоги исследований в области непрерывных методов лова рыбы. — «Труды ВНИРО», 1966, т. 61, с. 95—113.

Никоноров И. В. Поведение рыбы в зоне действия световых трасс. — «Рыбное хозяйство», 1968, № 4, с. 43—45.

Ракай Н. О развитии промысла сардины в народной республике Албании. — «Рыбное хозяйство», 1959, № 5, с. 36—38.

Сидельников И. И. О рациональном использовании светового оборудования на судах, занятых ловом сайры. — «Труды ВНИРО», 1966, т. 61, с. 191—196.

Справочная книга по светотехнике. М., изд. АН СССР, т. 1—1956, т. 2—1958.

Шабанов А. Н. Советские исследователи — основоположники теории лова рыбы на свет. — «Рыбное хозяйство», 1966, № 1, с. 41—44; № 2, с. 43—45.

SUMMARY

Light fishing is based on the usage of various combinations of stationary and movable light fields which are variable as to intensities and quantitative compositions.

The methods of calculating individual above- and underwater sources of illumination, various combinations of above- and underwater sources applied for concentrating fish, for setting up light defences and tracks are suggested. By using the methods it is possible to determine, at the first approximation, a position and parameters of light fishing devices involved in the arrangement of light fields of certain dimensions and forms.

УДК 639.2.081.117

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОШЕЛЬКОВЫХ НЕВОДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОВЕДЕНИЯ РЫБ

Г. Н. Степанов

ВНИРО

При лове кошельковыми неводами результативность добычи зависит от поведения рыбы в значительно большей степени, чем при других способах лова. Это объясняется принципиальным отличием кошельковых неводов от других орудий лова.

Прежде всего кошельковым неводом обычно вылавливается сразу вся рыба, находящаяся в косяке, в отличие от других орудий лова. Другой особенностью кошелькового лова является то, что в процессе работы необходимо точно знать взаимное расположение косяка, орудия лова и судна, в то время как лов другими способами производится обычно вслепую. Даже при траловом лове с помощью гидроакустических приборов на косяк наводится судно, а не сам трал, причем после прохождения судна над косяками связь с рыбой, как правило, прекращается. Отсюда можно сделать вывод, что результат кошелькового лова зависит главным образом от поведения стаи в целом, а не от поведения отдельных рыб. Поведение отдельных рыб влияет на лов только в той степени, в какой определяет поведение всей стаи.

При конструировании кошельковых неводов необходимо иметь следующие данные о рыбе: поперечный размер косяка a , скорость перемещения стаи v_p , глубину расположения косяка Y_k и минимальное расстояние z , на котором стая еще не реагирует на судно и орудие лова.

Эти характеристики можно получить путем визуального наблюдения, а также используя гидроакустические приборы непосредственно на промысле.

Рассмотрим методику определения оптимальных параметров кошельковых неводов — длины невода L_0 высоты сетного полотна в жгуте $H_{ж}$, посадочного коэффициента u_0 , загрузки нижней подборы G_0 в зависимости от перечисленных выше характеристик облавливаемой стаи рыб.

Для поимки рыбы кошельковым неводом необходимо выполнить два условия:

1) окружить косяк неводом так, чтобы концы сетной стены (клячи невода) сомкнулись до того момента, когда к ним подойдет рыба;

2) своевременно закрыть выход стае рыбы вниз, т. е. не допустить ухода ее под нижнюю подбору из окруженного неводом пространства.

Первое условие зависит главным образом от длины невода L_0 .

Методика определения минимальной длины невода (в м) подробно рассмотрена Н. Н. Андреевым [1], который вывел следующую зависимость:

$$L_0 = \frac{\pi(2z + a)}{1 - \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v_p}{v_c}}, \quad (1)$$

где z — расстояние, на котором косяк начинает реагировать на судно или невод, м;
 a — поперечный размер косяка, м;
 v_p — скорость перемещения косяка, м/с;
 v_c — скорость циркуляции судна, м/с.

Уравнение (1) определяет минимальную длину невода из условий окружения косяка. Может оказаться, что эта длина будет меньше длины окружности, которую описывает судно на минимальной циркуляции. Тогда за оптимальную длину невода следует принимать длину минимальной циркуляции судна.

Прежде чем перейти к рассмотрению условий захвата и удержания косяка кошельковым неводом, проанализируем схему движения стены невода в процессе кошелькования.

Процесс кошелькования условно можно разбить на три стадии (рис. 1). На первой стадии сетное полотно невода деформируется, принимая криволинейную форму, причем верхняя подбора остается в покое ($1-1' \div 1-2'$).

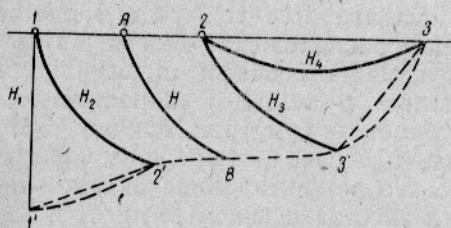


Рис. 1. Условные стадии кошелькования.

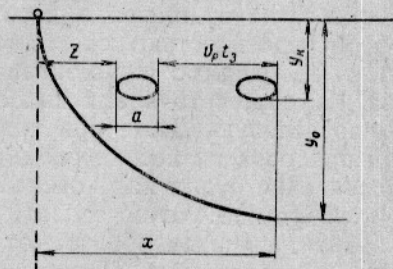


Рис. 2. Схема захвата косяка рыбы неводом.

На второй стадии кошелькования стена невода начинает поступательное движение к центру обметанного пространства. Верхняя подбора также участвует в движении ($1-2' \div 2-3'$).

Третья стадия кошелькования начинается с момента остановки верхней подбора ($2-3' \div 2-3$). На этой стадии скошелькованная нижняя подбора невода подтягивается к борту судна.

Захват окруженного неводом косяка осуществляется обычно на первых двух стадиях процесса кошелькования.

Очевидно для захвата и удержания окруженного неводом косяка необходимо выполнить следующие два условия:

нижняя подбора невода при кошельковании должна находиться ниже косяка;

косяк на протяжении всего процесса кошелькования должен оставаться между стеной невода и условной цилиндрической поверхностью, образующей которой является нижняя кромка невода.

Схема захвата косяка неводом в процессе кошелькования показана на рис. 2.

Пусть по окончании замета расстояние между косяком и стеной невода оказалось равным z , т. е. наименьшему расстоянию, на котором рыба еще не реагирует на невод.

С началом кошелькования естественное поведение рыбы нарушается, так как расстояние между косяком и сетным полотном становится меньше z , и она начинает искать выход.

Допустим, что стая рыбы стремится уйти вниз. Тогда для ее захвата, очевидно, достаточно, чтобы к моменту, когда косяк опустился на глубину Y_0 , нижняя подборка прошла по горизонтали путь не менее чем $z+a$, т. е. под косяком.

Обозначим время, истекшее с начала кошелькования до окончания захвата, t_3 . Тогда условие захвата рыбы, стремящейся уйти под нижнюю подборку, имеет вид:

$$Y_0 - Y_k = v_p t_3 \quad (2)$$

и одновременно

$$x > z + a. \quad (3)$$

Если рыба стремится выйти из обметанного пространства между клячей, то для ее захвата необходимо, чтобы горизонтальный путь x , проделанный нижней подборкой, был больше расстояния $z+a$ плюс расстояние, которое может пройти рыба за время t_3 .

Иначе говоря, в этом случае имеет место следующая зависимость:

$$x > z + a + v_p t_3, \quad (4)$$

которая является более общей, чем уравнение (3), поэтому можно утверждать, что соблюдение условий (2) и (4) обеспечивает захват косяка.

Чтобы после захвата косяк не ушел, очевидно, скорость движения подборки к центру обметанного пространства, т. е. скорость поступательного движения стены невода, должна быть не меньше скорости рыбы.

Отсюда получаем условие удержания захваченного неводом косяка

$$v \geq v_p. \quad (5)$$

Таким образом, условия захвата и удержания окруженного неводом косяка характеризуются уравнениями (2), (4) и (5).

Рассмотренные варианты возможного выхода рыбы при осуществлении захвата вниз и в сторону клячей являются предельными. Легко убедиться, что движение рыбы в любую другую сторону в этот момент значительно облегчает условия захвата.

Из условия (5) легко определяется продолжительность кошелькования. Так, согласно исследованиям проф. Ф. И. Баранова [2], скорость кошелькования (в м/с):

$$v = \frac{v_l}{\pi}, \quad (6)$$

где v_l — скорость выборки стяжного линия, м/с.

Считая $v_l = \text{const}$, можно записать:

$$v_l = \frac{L_0}{t_0}, \quad (7)$$

где L_0 — начальная длина стяжного линия, равная длине нижней подборки, м;
 t_0 — продолжительность кошелькования, с.

Из уравнений (5), (6) и (7) находим продолжительность кошелькования:

$$t_0 = \frac{L_0}{\pi v_p} \quad (8)$$

Полученная формула показывает, что продолжительность кошелькования обратно пропорциональна скорости рыбы, т. е. чем быстрее движется рыба, тем меньше должно быть время кошелькования.

Исследование процесса стягивания невода показывает, что продолжительность первой стадии кошелькования составляет приблизительно $0,2 t_0$ [3]. Отсюда можно принять

$$t_3 = 0,2 t_0 = 0,2 \frac{L_0}{\pi v_p} \quad (9)$$

При поступательном движении стены невода глубина движения нижней подборы Y_0 и отстояние ее от верхней x (в м) характеризуются уравнениями:

$$Y_0 = \frac{G_0}{A} \operatorname{cosec} \alpha_H \ln \operatorname{ctg} \frac{\alpha_H}{2}; \quad (10)$$

$$x = \frac{G_0}{A} \operatorname{cosec} \alpha_H (\operatorname{cosec} \alpha_H - 1); \quad (11)$$

$$\alpha_H = \arccos \left[\sqrt{\left(\frac{G_0}{2AH} \right)^2 + 1} - \frac{G_0}{2AH} \right], \quad (12)$$

где G_0 — масса 1 м нижней кромки невода в данный момент кошелькования, кг;
 A — сопротивление одного квадратного метра сетного полотна, расположенного перпендикулярно потоку, Н/м²;
 H — высота стены невода в данный момент кошелькования, м.

Таким образом, условия захвата косяка (2) и (4) принимают вид:

$$\frac{G_0}{A} \operatorname{cosec} \alpha_H \ln \operatorname{ctg} \frac{\alpha_H}{2} = Y_K + 0,2 \frac{L_0}{\pi}; \quad (13)$$

$$\frac{G_0}{A} \operatorname{cosec} \alpha_H (\operatorname{cosec} \alpha_H - 1) = z + a + 0,2 \frac{L_0}{\pi}. \quad (14)$$

Кроме рассмотренных, для успешного лова желательно соблюдение еще одного условия, смысл которого заключается в том, что к концу захвата нижняя подбора средней части невода должна погрузиться на глубину, не меньшую, чем глубина облова Y_0 .

Принципиально это условие не является необходимым, так как его можно всегда осуществить во время паузы между окончанием замата и началом выборки стяжного линя. Однако такая пауза, или как ее называют промысловики «выдержка», не всегда целесообразна. За время выдержки рыба может выйти из обметанного пространства, невод может сложить течением и т. д., поэтому, очевидно, правильнее добиться такого положения, чтобы при отсутствии выдержки к концу захвата косяка нижняя подбора середины невода уже погрузилась на глубину облова Y_0 .

В этом случае время погружения середины невода, очевидно, составит

$$t_1 = 0,5 t_2 + t_4 + t_3, \quad (15)$$

где t_1 — время погружения нижней подборы невода, с;
 t_2 — продолжительность циркуляции, с;
 t_4 — пауза между окончанием замата и началом кошелькования, с.

При скорости циркуляции судна v_c последнее уравнение принимает вид:

$$t_1 = 0,5 \frac{L_0}{v_c} + t_4 + \frac{L_0}{\pi v_p} \quad (16)$$

Время погружения нижней подборы можно определить из формулы (4)

$$t_1 = \frac{2}{\varphi} \sqrt{\frac{k}{P}} \left[\sqrt{\frac{G_0}{P} + H} - \sqrt{\frac{G_0}{P} + H - \varphi y_0} \right]; \quad (17)$$

$$k = 186 \frac{d}{a} u_0^3 y_0 \left(\frac{PH}{G_0} \right)^{1/3}, \quad (18)$$

где φ — безразмерный коэффициент (для большинства неводов $\varphi=0,2$);
 P — сила тяжести 1 м² сетного полотна в воде;
 G_0 — загрузка нижней подборы, Н/м;
 H — высота невода в посадке, м;
 y_0 — глубина погружения, м;
 d — отношение диаметра нити сетного полотна к шагу ячеи;
 u_0 — коэффициент посадки по горизонтали.

Отсюда дополнительное условие захвата косяка имеет вид:

$$\frac{2}{\varphi} \sqrt{\frac{k}{P}} \left[\sqrt{\frac{G_0}{P} + H} - \sqrt{\frac{G_0}{P} + H - \varphi y_0} \right] = 0,5 \frac{L_0}{v_c} + t_4 + 0,2 \frac{L_0}{\pi v_p} \quad (19)$$

Решая совместно уравнения (13), (14) и (19), можно определить высоту невода в жгуте $H_{ж}$, посадочный коэффициент u_0 и загрузку G_0 в зависимости от биологических особенностей поведения косяка v_p , Y_k , a и z .

Выводы

Оптимальные параметры кошелькового невода, обеспечивающие наиболее вероятный захват косяка, зависят от перечисленных выше биологических характеристик рыбы, поэтому при изучении объектов кошелькового лова следует уделять особое внимание сбору данных о скорости передвижения, размерах косяков, глубине их расположения, а также определению расстояния, на котором рыба начинает реагировать на невод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. Н. Андреев. Теория лова рыбы кошельковыми неводами. — «Труды ВНИРО», 1959, т. 41. 114 с.
2. Ф. И. Баранов. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960. 696 с.
3. Г. Н. Степанов. Траектория движения нижней подборы кошелькового невода при стягивании колец. — «Сборник научно-технической информации ВНИРО», 1967, вып. 5, с. 44—51.
4. Г. Н. Степанов. Скорость погружения нижней подборы высокостенных кошельковых неводов. — «Труды ВНИРО», 1966, т. 61. 338 с.

SUMMARY

The optimum parameters of purse seines which should secure the most probable enclosure of a school of fish depend on the speed and depth of their movement, size of the school and distance from which fish begins responding to purse seines. Applying received equations it is possible to determine the height of the seine stretched, load and attachment coefficient proceeding from some known biological peculiarities in the behaviour of the school.

УДК 639.2.081.1

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕТНОГО МЕШКА РАЗНОГЛУБИННОГО
ТРАЛАВ. В. Блинов
ВНИРО

В работе [3] нами предложена формула для определения коэффициента гидродинамического сопротивления изогнутого сетного полотна

$$\tilde{C}_X^{\text{сет}} = \frac{\int C_{X\alpha}^{\text{сет}} dS}{\int dS}. \quad (1)$$

Аналогичным образом можно определить коэффициент подъемной силы $\tilde{C}_Y^{\text{сет}}$ изогнутого сетного полотна

$$\tilde{C}_Y^{\text{сет}} = \frac{\int C_{Y\alpha}^{\text{сет}} dS}{\int dS}. \quad (1')$$

Как и $C_{X\alpha}^{\text{сет}}$, коэффициент $C_{Y\alpha}^{\text{сет}}$ является функцией основных параметров сетного полотна — A , a/d , u_1/u_2 , Re , α — и его следует определять из опытных данных. Кроме того, в формулах (1) и (1') предполагается известным уравнение поверхности полотна.

Поверхность тралового мешка в потоке воды не остается фиксированной, поэтому задача нахождения поверхности сетных полотен типа тралового мешка относится к классу вариационных задач.

С физической точки зрения правомерно предположить, что сетной мешок как система будет принимать в потоке воды такую форму, которая приведет к общей минимальной нагрузке на него в целом. Такая трактовка приводит к следующему вариационному принципу: сетной мешок в потоке воды представляет собой поверхность (или натянут на поверхность), уравнение которой минимизирует некоторый функционал, содержащий $C_{X\alpha}^{\text{сет}}$ и $C_{Y\alpha}^{\text{сет}}$ сети и являющийся коэффициентом гидродинамической нагрузки тралового мешка. Обозначим его через $\tilde{C}_{(\text{мрт})}$.

Подробных и широкоплановых экспериментов для измерения $C_{Y\alpha}$ различных ассортиментов делей, а также для измерения $C_{X\alpha}^{\text{сет}}$ для капроновых сетей не проводилось, поэтому можно лишь сформулировать ограниченную вариационную задачу для сетного мешка из хлопчатобумажной дели.

Для коэффициента гидродинамического сопротивления тралового мешка запишем

$$\tilde{C}_{X(\text{мрт})} = \frac{\int C_{X_a}^{\text{сет}} dS}{\int dS} \quad (2)$$

Функция $C_{X_a}^{\text{сет}}$ найдена, например, в нашей работе [3]. Минимизацию функционала $\tilde{C}_{X(\text{мрт})}$ нельзя осуществить аналитическими вариационными методами. Задача решается прямым численным методом Рунта.

Рассмотрим подробнее физическую модель тралового мешка. Будем искать минимизирующую поверхность в классе поверхностей вращения, так как в большинстве режимов траления разноглубинным тралом сетной мешок его симметричен. Исключим из рассмотрения куток, считающийся цилиндрической сетью, так как математическая формулировка задачи и ее программная реализация существенно бы осложнились.

В предположении, что решение вариационной задачи существует и оно единственно, примем за исходную форму сетного мешка поверхность вращения, образуемую пластинами раскроечного чертежа. Последовательные приближения при решении задачи на ЭЦВМ должны привести к «вытяжке» мешка при условии, что сечения, в которых пластины съезжают, остаются окружностями строительного радиуса. Для простоты будем считать также форму ячеек одинаковой в пределах каждой пластины ($u_{2(i)} = \text{idem}$ для i -той пластины).

Пусть $y = \sum_{i=0}^N a_i x^i$ — уравнение образующей

в меридиональном сечении сетного мешка (рисунок). Требуется найти коэффициенты a_i . Искомая функция y , таким образом, представлена как линейная комбинация конечного числа функций x^i минимизирующей последовательности функций $(1, x, x^2, \dots, x_n, \dots)$. Формула (2) тогда запишется

$$\tilde{C}_{X(\text{мрт})} = \frac{\int x C_{X_a}^{\text{сет}} \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int x \sqrt{1 + (y')^2} dx} \quad (3)$$

Отметим, что вариационный метод позволяет избежать решения сложных уравнений равновесия сетного полотна [4, 5], хотя при численной реализации метода Рунта возникают значительные трудности.

Дифференцирование вариационного функционала (3) по коэффициентам a_i полинома y приводит к следующей системе уравнений Рунта [1] ($C_{X_a}^{\text{сет}}$ — неявная функция коэффициентов a_i):

$$F_i = \left(\int x \sqrt{1 + (y')^2} dx \right) \left[\int x \frac{\partial C_{X_a}^{\text{сет}}}{\partial a_i} \cdot \frac{da_i}{da_j} \sqrt{1 + (y')^2} dx + \int C_{X_a}^{\text{сет}} x Q_j dx \right] - \left(\int x C_{X_a}^{\text{сет}} \sqrt{1 + (y')^2} dx \right) \int x Q_j dx = 0, \quad (4)$$

где $y' = \sum_{i=1}^N a_{i+1} i x^{i-1}$;

$\alpha = \arctg(y')$;

$$\frac{\partial a}{\partial a_j} = \left(-\frac{1}{1 + (y')^2} \right) \left(\sum_{i=1, i \neq j}^N a_{i+1} ix^{i-1} + jx^{j-1} \right).$$

$$Q_j = \frac{y' \left(\sum_{i=1, i \neq j}^N a_{i+1} ix^{i-1} + jx^{j-1} \right)}{\sqrt{1 + (y')^2}}. \quad (5)$$

В формулах (4) $C_{x\alpha}^{\text{сст}}$ является сложной функцией от x и α (так как ее аргументы a/d , u_1/u_2 , Re зависят от x и α , что учитывается программным путем), поэтому система (4) является системой трансцендентных уравнений. Для решения ее используем метод последовательных приближений Ньютона [2].

Построим матрицу F_{jk}

$$F_{jk} = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial a_1} & \frac{\partial F_1}{\partial a_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial a_{N+1}} \\ \frac{\partial F_{N+1}}{\partial a_1} & \frac{\partial F_{N+1}}{\partial a_2} & \dots & \frac{\partial F_{N+1}}{\partial a_{N+1}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Дифференцированием по a_k правых частей системы (4) получаем матричный элемент $\frac{\partial F_j}{\partial a_k}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial a_k} = & \int x Q_j dx \left[\int x \frac{\partial C_{x\alpha}^{\text{сст}}}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{da_j} \sqrt{1 + (y')^2} dx + \int C_{x\alpha}^{\text{сст}} x Q_j dx \right] + \\ & + \int x \sqrt{1 + (y')^2} dx \left[\int x \frac{\partial C_{x\alpha}^{\text{сст}}}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{da_j} Q_j dx + \int x \frac{\partial}{\partial a_k} \left(\frac{\partial C_{x\alpha}^{\text{сст}}}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{da_j} \right) \sqrt{1 + (y')^2} dx + \right. \\ & + \left. \int \frac{\partial C_{x\alpha}^{\text{сст}}}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{da_k} x Q_j dx + \int C_{x\alpha}^{\text{сст}} x \frac{\partial Q_j}{\partial a_k} dx \right] - \left[\left[\int x \frac{\partial C_{x\alpha}^{\text{сст}}}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{da_k} \sqrt{1 + (y')^2} dx + \right. \right. \\ & + \left. \left. \int x C_{x\alpha}^{\text{сст}} Q_j dx \right] \left[\int x Q_j dx + \left(\int x C_{x\alpha}^{\text{сст}} \sqrt{1 + (y')^2} dx \right) \int x \frac{\partial Q_j}{\partial a_k} dx \right] \right]. \quad (7) \end{aligned}$$

Полезно выписать результат дифференцирования функций Q_j и $\sqrt{1 + (y')^2}$:

$$\frac{\partial}{\partial a_k} (Q_j) = \frac{\left[1 + \left(\sum_{i=1}^N a_{i+1} ix^{i-1} \right)^2 W - V \right]}{\left[1 + \left(\sum_{i=1}^N a_{i+1} ix^{i-1} \right)^2 \right]^{3/2}}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{где } W = & \left(\sum_{i=1, i \neq k}^N a_{i+1} ix^{i-1} + kx^{k-1} \right) \left(\sum_{i=1, i \neq j}^N a_{i+1} ix^{i-1} + jx^{j-1} \right) + \\ & + \left(\sum_{i=1}^N a_{i+1} ix^{i-1} \right) \left(\sum_{i=1, i \neq j}^N a_{i+1} ix^{i-1} + kx^{k-1} \right); \end{aligned}$$

$$V = \left(\sum_{i=1}^N a_{i+1} ix^{i-1} \right)^2 \left(\sum_{i=1, i \neq j}^N a_{i+1} ix^{i-1} + jx^{j-1} \right) \left(kx^{k-1} + \sum_{i=1, i \neq k}^N a_{i+1} ix^{i-1} \right); \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial a_k} (V \sqrt{1 + (y')^2}) = \frac{\left(\sum_{i=1}^N a_{i+1} i x^{i-1} \right) \left(\sum_{i=1, i \neq k}^N a_{i+1} i x^{i-1} + k x^{k-1} \right)}{V \sqrt{1 + \left(\sum_{i=1}^N a_{i+1} i x^{i-1} \right)^2}}.$$

Система алгебраических уравнений, к которой приводит метод Ньютона, теперь запишется как

$$\sum_{k=1}^{N+1} F_{jk} (a_k^{(m)}) (a_k^{(m+1)} - a_k^{(m)}) = -F_j (a_k^{(m)}), \quad (10)$$

где $a^{(m)}$ — m -тое приближение.

Алгоритм данной задачи реализован в программе для ЭВМ «Минск-22». До начала цикла последовательных приближений в программе происходит ввод, печать исходных данных, подготовка к задаче и делается нулевое приближение.

Нулевым приближением считается полином Y с коэффициентами, которые находятся методом наименьших квадратов из данных раскроечного чертежа.

Основной частью программы является решение системы Рунге методом Ньютона. В программе применены переключатели процедур, использующие стандартную программу вычисления определенного интеграла для различных подынтегральных выражений.

После нахождения очередного приближения и проверки условия цикла происходит подготовка к следующему приближению: вычисляются новые значения c/b , u_2 и u_1/u_2 для каждой пластины. В качестве b в формулах $S_{X(0)}^{\text{сет}}$ принимается длина образующей.

После последнего приближения, определяющегося заданной точностью, производится печать найденных коэффициентов полинома и вычерчивается график меридионального сечения мешка на рулонной ленте АЦПУ. На график наносятся также точки нулевого приближения.

Программа позволяет рассчитывать форму сетного мешка для различных скоростей течения и температур воды. В программе использована найденная нами зависимость (аппроксимация табличных данных для воды) [6]

$$\nu = 0,00000743 (t^0 - 37)^2 + 0,0077, \quad (11)$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости воды, $\text{м}^2/\text{с}$;
 t^0 — температура, $^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, в программе учтены изменения числа Рейнольдса вдоль сетного мешка, зависимость его от температуры и скорости течения. При интегрировании по поверхности используется выражение для угла наклона элементарной широтной полоски поверхности, вычисляемое в предыдущем приближении.

В конце программы ЭВМ вычерчивает графики зависимости $S_{x(\text{мрт})}$ от скорости течения и температур воды.

Программным путем следует ограничить величину производной Y' в точке $X_{\text{макс}}$, что соответствует ограничению на угол отклонения крыла траля от вертикальной плоскости.

Сходимость методов Рунге и Ньютона существенно зависит от начального приближения и ряда программных деталей, поэтому дальней-

шее совершенствование построенного алгоритма возможно лишь при практической работе с ЭЦВМ.

Настоящая программа является четвертой программой серии научно-исследовательских программ разработки АСПОЛ и обозначена НИС-ПРОГ 4 АСПОЛ-1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. Т. 1, М., Физматиз, 1962. 464 с.
2. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. Т. 2, М., Физматиз, 1963. 640 с.
3. Блинов В. В. Некоторые системотехнические задачи проблемы гидродинамики тросовых и сетных частей орудий лова. — «Труды молодых ученых», 1971, с. 5, с. 37—68.
4. Зонов А. И. К расчету формы рыболовных сетей. — «Научно-технический бюллетень ВНИОРХа», 1957, № 51, с. 70—76.
5. Зонов А. И. Уравнения равновесия рыболовной сети. — «Известия ГОСНИОРХ», 1958, т. 47, вып. 3, с. 20—29.
6. Көй Д., Ләби Т. Таблицы физических и химических постоянных. М., Физматиз, 1961. 299 с.

SUMMARY

The problem of changes in the form of the net bag of the mid-trawl with a fixed rope is considered. The stretching of the web in the flow is assumed to be homogeneous.

A formula of the coefficient of hydrodynamic resistance of the central part of the trawl or a variation functional of the problem is given. For the purpose of minimization of the functional a transcendental equation system $N+1$ (Ritz's system), where N is the order of the polynomial, that is the equation of the web component is developed.

Ritz's system is solved by the Newton method of successive approximations. By solving the system the polynomial coefficients are found. The hydrodynamic resistance coefficient is determined for the web surface.

The problem is programmed for a computer, Model Minsk-22.

597—151:639.2.081.193

ЭМПИРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ПРИ РЕАКЦИЯХ РЫБ
НА ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Ю. М. Лосев

КаспНИРХ

В естественных условиях воздействие электрического поля на рыб, как известно, зависит от вида рыбы, ее размеров, ориентации относительно направленности поля, электропроводности воды, формы тела и множества других факторов, т. е.

$$E = f_1(L, \alpha, n, \gamma, \dots, t), \quad (1)$$

где E — скалярная величина напряженности однородного электрического поля, обуславливающая начало какой-либо характерной реакции рыбы на воздействие электрического тока, В/см;

L — длина рыбы, см;

α — угол между продольной осью тела рыбы и направлением силовых линий электрического поля, рад;

n — параметр, характеризующий вид реакции рыбы;

γ — удельная электропроводность воды и тела рыбы, мСм/м;

t — скорость нарастания напряженности электрического поля, В/см · с.

Выявление математической зависимости между E и перечисленными факторами позволит с научной точки зрения подходить к выбору оптимальных параметров поля перед орудием электролова.

По картине поля, снятой в электролитической ванне с модели электроподборы орудия лова, можно определить следующую функциональную зависимость:

$$E = f_2(S), \quad (2)$$

где S — расстояние по перпендикуляру к линии электроподборы, м.

Приравнивая правые части уравнения (1) и (2), получим:

$$f_2(S) = f_1(L, \alpha, n, \gamma, \dots, t). \quad (3)$$

Чтобы пользоваться уравнением (3), необходимо знать конкретные математические зависимости между пороговой напряженностью тела рыбы и перечисленными факторами. Особенно важно аналитически определять пороговые границы между характерными реакциями на электроток рыб, различно ориентированных по отношению к электрическому полю орудия лова, поэтому целью наших исследований было определить закономерности изменения функции E в зависимости от трех аргументов: длины рыбы L , угла между продольной осью тела рыбы и направлением силовых линий электрополя α и вида реакции рыбы на переменный электроток n .

При выборе места и объекта исследования учитывали, что электрический ток для лова рыбы в низовьях Волги наиболее целесообразно применять в прудовых хозяйствах, а также для задержания хищных и сорных рыб. Объектами лова были белый амур, толстолобик, сазан, карась, а также малоценные рыбы — окунь и красноперка в прудах Астраханского комбината прудовых хозяйств и лещ в дельте Волги на тоне «Глубокая». Всего воздействию электротока было подвергнуто около 400 рыб.

Перед началом работ измеряли электропроводность воды водоемов. Было установлено, что удельная электропроводность воды в дельте Волги по сезонам года существенно не изменяется. Наибольшая удельная электропроводность наблюдалась в апреле—августе (33,6—39,0 мСм/м), наименьшая — в сентябре—ноябре (25,0—33,0 мСм/м). Электропроводность воды в прудах Лиманского и Икрянинского прудовых хозяйств весной и в период наполнения водой близка к электропроводности воды Волги. С июля и до осушения электропроводность воды в них непрерывно возрастает. В период вылова рыбы из прудов (октябрь, ноябрь) отмечается максимальная удельная электропроводность воды, которая варьирует по разным прудам от 158 до 560 мСм/м.

Параметры электротока, вызывающие различные реакции рыб, определяли в однородном электрическом поле по обычной методике при удельных электропроводностях воды, наблюдавшихся в прудах и дельте Волги в период вылова из них рыбы.

На каждой из исследуемых рыб были получены следующие реакции: минимальная, возбуждения, угнетения, электронаркоз. Для каждой реакции определяли пороговые значения величины электрического поля. За пороговые принимали минимальные значения напряженности однородного электрического поля, при достижении которых рыбы отвечали одной из характерных реакций.

Работы проводили в деревянном аквариуме (1000×500×300 мм), изолированном с внутренней стороны резиновой клеенкой. Электроды были изготовлены из оцинкованной стали.

Для измерения угла α применяли прозрачную градусную шкалу.

Известно, что чувствительность рыбы к электротоку зависит от расположения продольной оси ее тела относительно силовых линий поля. Однако данные о закономерностях этого изменения отсутствуют. При исследовании этого вопроса мы получили зависимость, изображенную на рис. 1. Как видно из рис. 1, значение v при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (кривая 1) близко к значению v на кривой 2 при $\alpha = 0$; значение кривой 2 при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ близко к v на кривой 3 при $\alpha = 0$; значение v на кривой 3 при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ — соответственно к v на кривой 4 при $\alpha = 0$. Иначе говоря, изменение пороговой величины условного напряжения тела леща при изменении α от 0 до $\frac{\pi}{2}$ соответствует началу и концу любой рассматриваемой реакции. Аналогичные кривые были получены и для белого амура. Откладывая по оси абсцисс значения условного приведенного угла $\alpha_{пр}$

$$\alpha_{пр} = (n - 1) \frac{\pi}{2} + \alpha, \quad (4)$$

где n — параметр реакции, численно равный для минимальной реакции 1; возбуждения 2; угнетения 3; электронаркоза 4,

а по оси ординат условное напряжение тела рыбы u , получим общую для всех видов реакций кривую для леща ($t=23^{\circ}\text{C}$, $\gamma=41$ мСм/м, $L=29,1$ см) и белого амура ($t=10^{\circ}\text{C}$, $\gamma=186$ мСм/м, $L=31,2$ см (рис. 2)).

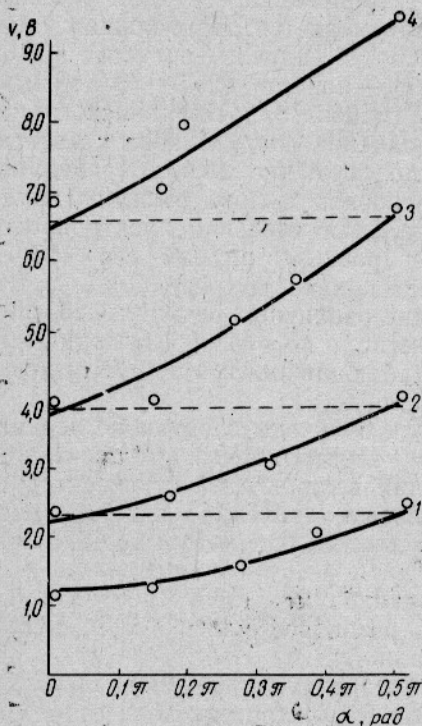


Рис. 1. Зависимость условного напряжения тела леща u от угла α :
1 — минимальная реакция; 2 — реакция возбуждения; 3 — реакция угнетения; 4 — электронаркоз.

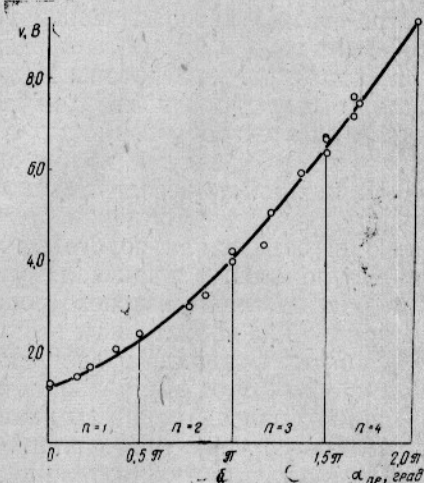
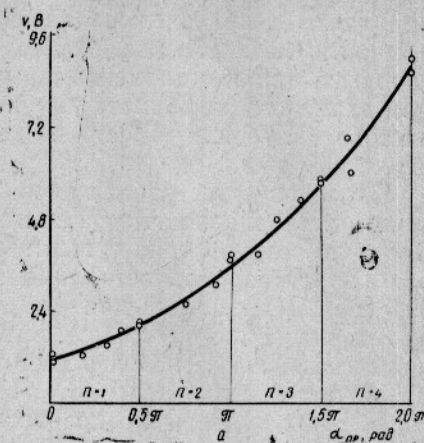


Рис. 2. Изменение условного напряжения u тела леща (а) и белого амура (б) в зависимости от условного приведенного угла $\alpha_{пр}$.

Эти кривые в общем виде выражаются уравнением:

$$u = u_1 e^{k_1 \alpha_{пр} + k_2 \alpha_{пр}^2} \quad (5)$$

где u_1 — условное напряжение тела рыбы, при котором наступает минимальная реакция, В;
 e — основание натуральных логарифмов;
 k_1, k_2 — коэффициенты, зависящие от вида, размера и условий содержания рыбы.

Для кривых рис. 2 были определены методом средних коэффициенты k_1 и k_2 . В результате было получено для леща длиной $29,1 \pm 3$ см при $\gamma=41$ мСм/м и $t=23^{\circ}\text{C}$:

$$u = 1,35 e^{0,312 \alpha_{пр} - 0,0006 \alpha_{пр}^2} \quad (6)$$

для белого амура при $L = 31,2 \pm 3,0$ см,

$t = 10^\circ \text{C}$ и $\gamma = 188$ мСм/м:

$$u = 0,8 e^{0,243\alpha_{\text{пр}} + 0,026\alpha_{\text{пр}}^2} \quad (7)$$

Если значения u , определенные по формулам (6) и (7), нанести на графики (см. рис. 2), то получим кривые, практически совпадающие с построенными по экспериментальным данным. Разделив левые и правые части уравнения (6) и (7) на длину рыбы, получим:

$$E = \frac{u}{L} 0,0464 e^{0,312\alpha_{\text{пр}} - 0,0006\alpha_{\text{пр}}^2};$$

$$E = \frac{u}{L} 0,0257 e^{0,243\alpha_{\text{пр}} + 0,026\alpha_{\text{пр}}^2};$$

где 0,0464 и 0,0257 — условные напряженности тела леща и белого амура, вызывающие минимальную реакцию.

Запишем эти уравнения в общем виде

$$E = E_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} \quad (8)$$

Уравнения (5) и (8) удобны для получения более сложных уравнений с тремя и более независимыми переменными (L , α , n). По В. А. Шентякову (1964),

$$u = a + bL \quad (9)$$

Если для рыбы длиной L_1

$$u = u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2},$$

а длиной L_2

$$u = u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2};$$

то на основании выражения (9) можно записать

$$u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} = a + bL_1; \quad (10)$$

$$u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2} = a + bL_2.$$

Решая эту систему уравнений, находим a и b и подставляем их в выражение (9). Тогда

$$u = \frac{u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2} (L_1 - L) + u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} (L - L_2)}{(L_1 - L_2)}; \quad (11)$$

или

$$E = \frac{u}{L} = \frac{u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2} (L_1 - L) + u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} (L - L_2)}{(L_1 - L_2)L} \quad (12)$$

В таблице приведены коэффициенты k_1 , k_2 и значения u_1 , соответствующие двум размерам исследуемых рыб при различных γ и t . При помощи этой таблицы можно решать уравнения (11) и (12).

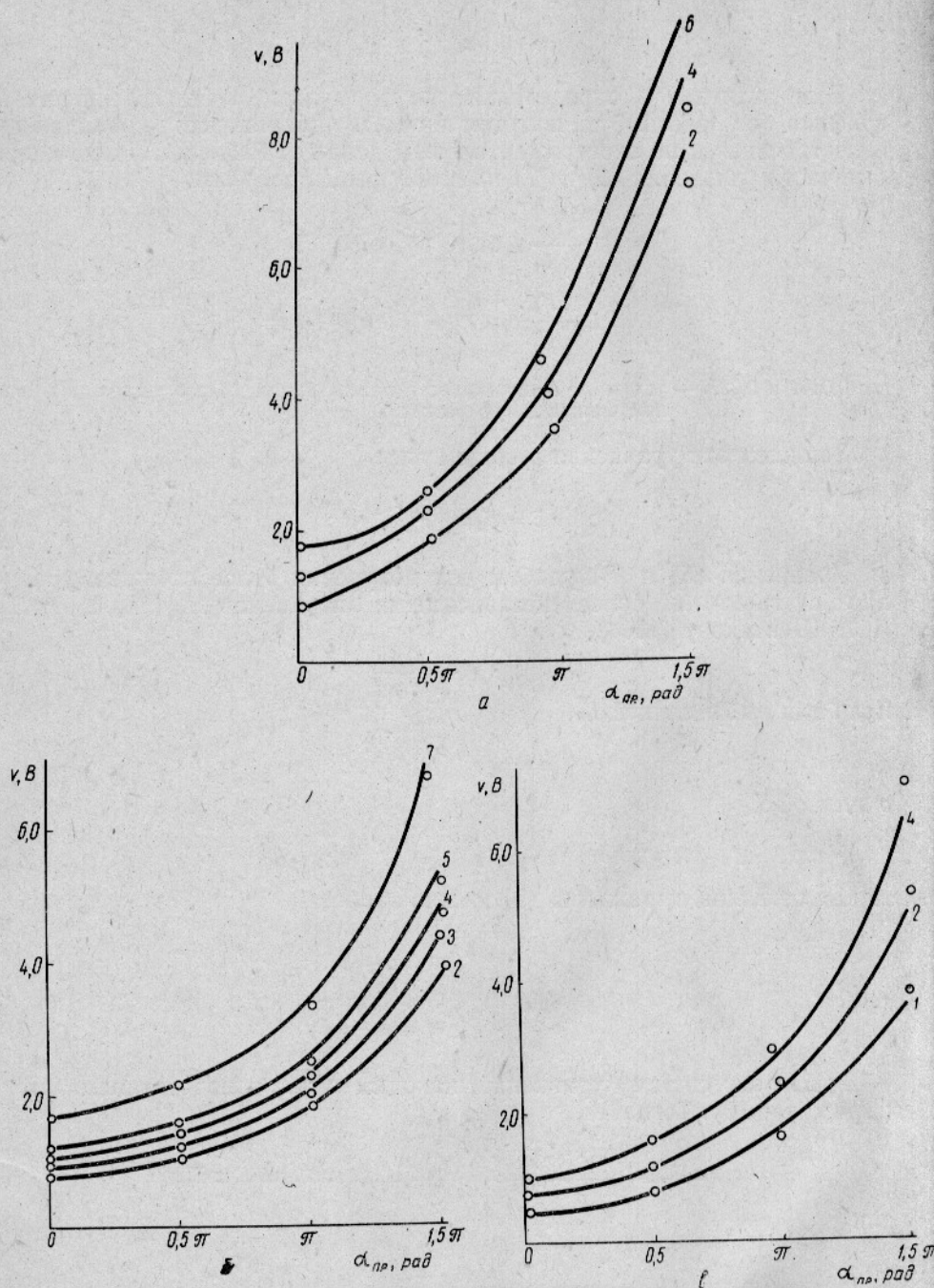


Рис. 3. Разброс экспериментальных точек по теоретическим кривым для леща при $t=24^{\circ}\text{C}$, $\gamma=40$ мСм/м (а), сазана при $t=9,5^{\circ}\text{C}$, $\gamma=180$ мСм/м (б) и карася при $t=20^{\circ}\text{C}$, $\gamma=197$ мСм/м (в) различной длины (в см): 1 — 10; 2 — 20; 3 — 25; 4 — 30; 5 — 35; 6 — 40; 7 — 50 см.

Рыба	Условия эксперимента		Параметры уравнения			
	темпера- тура воды, °C	удельная электро- провод- ность, мСм/м	длина рыбы, см	u_1, B	k_1	k_2
Сазан	22	184	20	0,84	0,3	0,018
			30	0,88	0,339	0,01
	9,5	180	20	0,76	0,103	0,0538
			30	1,06	0,111	0,0446
	5	180	20	0,84	0,1146	0,0365
			30	1,11	0,1159	0,038
Белый амур	4	172,5	20	0,57	0,535	—0,042
			30	0,87	0,432	—0,0269
	7	219,0	20	0,5	0,743	—0,0671
			30	0,75	0,759	—0,0706
	13	204,0	10	0,25	0,97	—0,11
			20	0,59	0,66	—0,0687
Толстолобик	11	188,0	30	0,75	0,208	0,0466
			40	1,17	0,1406	0,042
Карась	12	30,0	10	0,77	0,099	0,051
			20	0,77	0,144	0,046
	20	197,0	10	0,5	0,200	0,049
			20	0,74	0,208	0,048
Красноперка	22	62,4	10	0,52	0,582	—0,0314
			20	0,72	0,696	—0,054
Окунь	23	64,0	10	0,5	0,59	—0,048
			20	0,7	0,576	—0,0445
Лещ	24	40,0	25	1,03	0,43	0,00191
			35	1,50	0,221	0,043

На рис. 3 показан разброс точек (каждая точка получена из среднеарифметического значения 10—15 измерений), полученных экспериментально по кривым, построенным с помощью уравнения (11). Из этих графиков видно, что эти кривые удачно выражают закономерности в распределении экспериментальных точек. Максимальное отклонение между теоретическими и экспериментальными значениями условного напряжения тела для всех исследуемых рыб при различных $\alpha_{пр}$ и L не превышало 13%. Закономерности изменения k_1, k_2 от температуры и электропроводности воды не установлены. Подставив уравнение (12) в правую часть равенства (3) и пользуясь таблицей, можно выбрать оптимальные параметры электрического поля для вылова белого амура, толстолобика, сазана, карася, леща, красноперки и окуня.

Выводы

1. Выведена зависимость, которая с помощью понятия условного приведенного угла позволила связать условный параметр, характеризующий вид реакции рыбы на электроток, с углом, определяющим ориентированное положение тела рыбы в электрическом поле.

2. Энергетические затраты переменного электротока на приведение белого амура, сазана, толстолобика, карася, окуня, красноперки и леща в любую из четырех характерных реакций выражены эмпирическими уравнениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Шентяков В. А. Пресноводный электротраловый лов рыбы с применением переменного тока. «Пищевая промышленность», М., 1964. 82 с.

Нусенбаум Л. М., Г. И. Фалеева. Исследование поведения рыбы в электрическом поле. — «Известия ГОСНИОРХа», 1961, т. 52, вып. 1, 94 с.

SUMMARY

The relations of threshold values of a. c. voltage which may induce one of four characteristic responses in grass carp, carp, crucian carp, white amur, bream, bass, rudd and a parameter which determines the type of any specific response of fish to electric current as well as the size and position of the body of fish in the electric field, are described.

The notion of a quasi—relative angle which binds the parameter specifying the type of a response of fish to electric current with a simple mathematic expression with an angle showing the oriented position of the fish body in the electric field, is given.

The a. c. consumption needed to induce any of the four specific responses with regard to three variable factors, such as the parameter responsible for a certain type of reaction of fish to electric current, length and position of the body of fish in the electric field, is expressed by empirical equations.

УДК 677.664.22—15

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗУСАДОЧНЫХ СЕТЕМАТЕРИАЛОВ ИЗ КАПРОНА

А. В. Медведев, В. П. Лисицина
КаспНИРХ

Известно, что дополнительная обработка синтетических сетематериалов различными пленкообразующими составами при высоких температурах (так называемая термостабилизация) в значительной мере повышает их износоустойчивость.

Однако при существующей на Астраханской сетевязальной фабрике технологии пропитки, которая далеко не совершенна, одновременно с улучшением качества изделий наблюдается значительная усадка волокна, что приводит к сравнительно большим и неоправданным расходам дорогостоящего сырья. Так, фабрика ежегодно вырабатывает около 400 т капроновой дели, и если бы усадка волокна, которая достигает 15—16%, была сведена на нет, то при одной и той же вывязанной площади сетного полотна удалось бы сэкономить около 600 ц нитки на сумму примерно 300 тыс. руб.

В связи с этим перед лабораторией промышленного рыболовства КаспНИРХа была поставлена задача — добиться в условиях сетевязальной фабрики получения высококачественных сетематериалов с оптимальной величиной латексной пленки на волокне, с прочно зафиксированными узлами и постоянным размером ячеи.

С этой целью в 1968 г. были начаты специальные исследования, результаты которых позволили в дальнейшем разработать новый технологический режим, предусматривающий совмещение процессов латексирования и термостабилизации капроновой дели. Кроме того, он дает возможность непрерывно выполнять весь производственный цикл отделки на одном агрегате и выпускать сетематериалы более высокого качества.

Опытные работы проводились на специально сконструированной лабораторной установке (рис. 1), которая обеспечивала возможность наблюдения за режимом обработки образцов делей разного ассортимента. Температурный режим поддерживался электрическими элементами, установленными в камерах сушки и стабилизации.

Было обнаружено, что достаточно прочная затяжка узлов может быть осуществлена во время прохождения сетных полотен через камеру подсушивания после предварительного латексирования, поэтому такие самостоятельные процессы, как термофиксация в горячей воде и сушка, становятся излишними.

Предварительное латексирование дает сравнительно небольшой привес пленкообразующего состава (не более 15—18%). В связи с этим в новой технологической схеме предусмотрена повторная пропитка

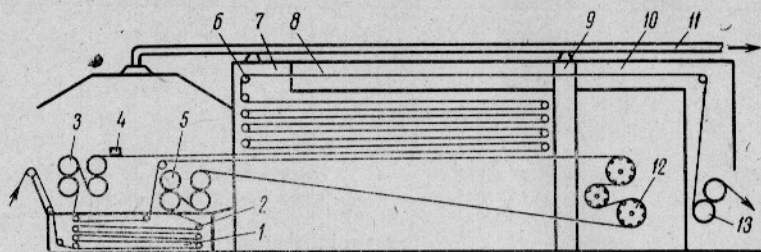


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1 — пропиточная ванна; 2 — направляющие ролики; 3 и 5 — отжимные ванны вторичной и первичной пропитки; 4 — встряхиватель; 6 — направляющие валки; 7 и 8 — камеры сушки и термостабилизации; 9 — тамбур; 10 — камера охлаждения; 11 — вытяжная вентиляция; 12 и 13 — лебедка для затяжки узлов и устранения усадки дели.

с последующим воздействием температур примерно 120—140°С в течение 8—10 мин под определенным натяжением. Это увеличивает отложение на волокнах дели сухого остатка латекса (до 32—35%) и значительно повышает ее износоустойчивость. Так, снижение прочности опытной вставки с таким привесом латекса за 80 суток работы в речном заводном неводе было на 40% меньше, чем у контрольной с фабричным привесом пропитки, который составлял 24%.

Чтобы свести усадку дели до минимума, в линию латексирования включен элемент термостабилизации в зоне нагрева до 200°С (продолжительность операции не более 1,5 мин) с последующим быстрым охлаждением для фиксации вновь приобретенных делью свойств. Как показали наблюдения, такая дель даже под влиянием длительного кипячения усаживается незначительно — всего на 1,5—2%.

При отработке технологического режима новой схемы обработки капроновой дели особое внимание обращалось на определение оптимальных усилий для затяжки узлов, а также на разработку более эффективных термических параметров отделки. Оказалось, что с увеличением температуры и продолжительности сушки по мере снижения усилий до свободного состояния степень термофиксации увеличивается, т. е. величина усадки ячеи при кипячении снижается, причем интенсивность снижения заметно падает после полного удаления из волокон влаги.

Влияние температуры и продолжительности отделки на величину усадки представлено на рис. 2, а натяжения — на рис. 3. Из рис. 2 и 3 видно, что процесс фиксации дели протекает более ускоренно в начальном периоде тепловой обработки и в целом описывается кривой, которая приближенно согласуется с общеизвестным уравнением:

$$k = \frac{2,3}{t} \lg \frac{a}{x_t},$$

где k — коэффициент скорости фиксации структуры нити из капрона;
 t — продолжительность обработки, мин;
 a — величина усадки нити после кипячения до термофиксации;
 x_t — усадка после термообработки.

Режим тепловой обработки латексированной дели при температуре 120—130°С в течение 6—8 мин не обеспечивает полной термофиксации,

так как ее усадка после этого, оказывается еще сравнительно большой и под влиянием кипячения достигает 5—7%. Примерно то же самое происходит с делью, обработанной в горячей воде и прошедшей после

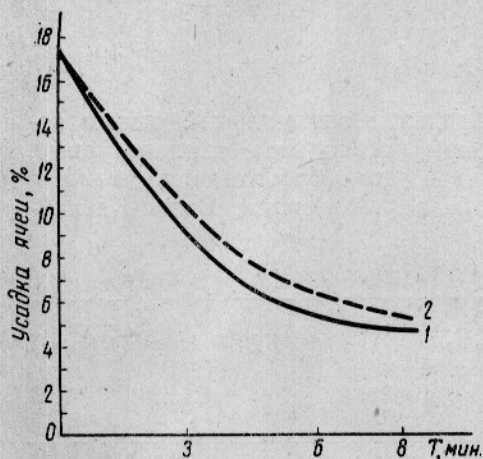


Рис. 2. График зависимости усадки от температуры и продолжительности отделки:

1 — при $t=130^{\circ}\text{C}$; 2 — при $t=120^{\circ}\text{C}$.

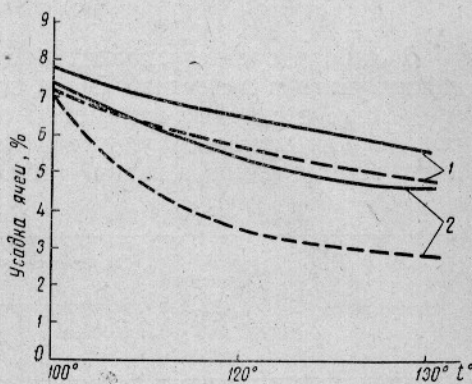


Рис. 3. График зависимости усадки от натяжения:

1 — в свободном состоянии (6 мин); 2 — при натяжении 10Н на узел (8 мин).

пропитки сушку в камере с температурой $60\text{--}90^{\circ}\text{C}$ в течение 20—25 мин. Чтобы снизить усадку и тем самым стабилизировать дель, необходимо подвергнуть ее кратковременному воздействию высоких температур, как это делается на аппаратах VS-50. В наших исследованиях оптимальным режимом термостабилизации оказалась зона температур от 180 до 200°C с продолжительностью воздействия не более 1,5 мин и последующим быстрым охлаждением ниже аккомодационной точки (для полиамидных волокон $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$). Благодаря этому происходило уплотнение структуры волокна, повышалась его жесткость, латексная пленка становилась монолитнее, а небольшое натяжение при сушке (40—60% от усилия до полной затяжки узлов) обеспечивало получение безусадочной дели, весьма устойчивой к истиранию.

Как показали испытания, после такой обработки при воздействии нагрузок в сухом и мокром виде, а также при кипячении первоначальные размеры дели изменялись очень незначительно (табл. 1).

Таблица 1

Дель	Величина нагрузки на ячею, Н	Экспозиция, сутки	Изменение размера ячеек, %		
			после снятия нагрузки в сухом виде	после снятия нагрузки в мокром виде	после кипячения
Бельная, не фиксированная № 10, $7/6$	20	7	4,3	5,0	18
Фабричной обработки (контрольная)	20	7	1,8	2,3	4—6
Обработанная по новой технологии с термостабилизацией	20	7	1,2	1,2	1,5—1,8

После трехмесячных промысловых испытаний в закидном неводе потеря прочности дели от первоначальной составила всего 10%, а прочность контрольного образца фабричного латексирования снизилась за это же время на 21%.

Выводы

В лабораторных условиях был определен оптимальный режим затяжки узлов в латексной смеси, найдены необходимые температурные, временные и силовые параметры сушки и термостабилизация сетематериалов для наиболее употребительных в рыболовстве Волго-Каспийского района номеров ниток (табл. 2).

Таблица 2

Номер ниток	Продолжительность пропитки, мин	Параметры процесса обработки сетематериалов ¹			Скорость движения ленты дели, м/мин	Нагрузка на узел при затяжке, Н	Нагрузка на узел при сушке, Н
		затяжка узла	сушка	стабилизация			
10,7/3—10,7/6 . .	1,5	120	120—130	190	6—8	20—30	10—17
		1—1,5	8—10	0,8—1,0			
10,7/9—10,7/12 . .	1,5—2,0	120—130	130—135	190—200	5—6	40—50	20—30
		1,5—2,0	10—12	1,0—1,5			

¹ В числителе приведена температура (в °C), в знаменателе продолжительность операции (в мин).

На основании проведенных исследований разработан проект агрегата для обработки сетематериалов на Астраханской сетевязальной фабрике, который по сравнению с существующим оборудованием позволит сократить производственные площади, упростить технологический процесс, уменьшить расход воды, пара, устранить усадку дели и значительно улучшить ее промысловые качества.

SUMMARY

Attempts to apply hot treatment to kapron net materials at some net-making factories have failed to obtain unshrinkable materials with perfect physical and mechanical properties because of aged equipment and inadequate technologic processes.

A new technologic regime bringing in line the processes of coating kapron web with latex and thermostabilization on the same equipment has been developed. Such parameters of drying and stabilization as temperature, time and others have been found in the laboratory. As a result, unshrinkable net materials are produced with stable properties and an adequate film of latex.

УДК 639.2.081.117

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЯЧЕЙ ТРАЛОВОЙ ДЕЛИ НА МОРОЗЕ

А. И. Трещев, Г. Н. Степанов, Э. А. Карпенко, С. Ф. Ефанов
ВНИРО

Для оценки избирательности и уловистости орудий лова, а также для контроля за соблюдением правил рыболовства служит внутренний размер ячеи B , измеренный определенным образом при соответствующей нагрузке измерительного прибора.

При положительной температуре внутренний размер ячеи определяется в тралах, проработавших на тралении не менее 40 ч, не позднее чем через 30 мин после подъема. Последующие результаты измерений существенно отличаются от первоначальных в связи с изменением размеров ячей по мере высыхания сетного полотна.

Контроль за размером ячеи трала, выбранного на борт судна на морозе, осложняется значительно большей деформацией ячей, происходящей при замерзании сетного полотна, поэтому правильно установить истинный внутренний размер ячеи по фактическим замерам ячей замерзшего сетного полотна ввиду отсутствия соответствующих переводных коэффициентов до сих пор не представлялось возможным. В связи с этим была проведена работа по определению влияния низких температур на изменение размера ячей траловых двухпрядных и однопрядных делей.

В экспериментах использовали образцы двухпрядной и однопрядной дели 20×10 ячей из капроновой веревки 93,5 текс. диаметром 3,1 мм с фабричным размером ячеи 55 мм.

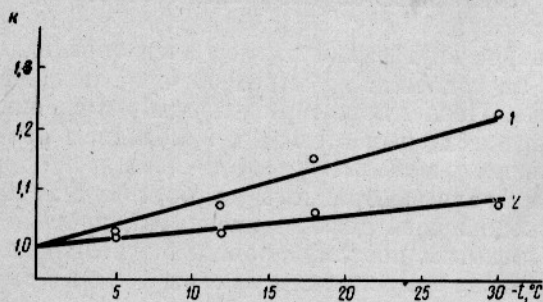
Порядок проведения работы был следующим. Предварительно в соответствии с существующей методикой измеряли внутренний размер ячей опытных образцов в сухом виде B_0 . Затем образцы дели помещали на 90 мин в соленую воду (35‰) при температуре -3°C для намокания. По окончании намокания определяли внутренний размер ячеи B , после чего мокрые образцы замораживали.

Замораживание проводилось в холодильных камерах типа ВНИХИ, низкотемпературном прилавке ФАК-1,5М и холодильной установке «Рихтер» при температурах -6 , -12 , -18 и -30°C , т. е. в условиях, близких к естественным. Через 30 мин после начала замораживания мокрого образца дели непосредственно в морозильных камерах измеряли внутренний размер ячеи B_1 . Для ликвидации возможных остаточных деформаций в ячеях после каждого определения их размера образец дели выдерживали в течение 4 ч в свободном состоянии без нагрузки.

При каждом температурном режиме испытывали три образца, т. е. всего было промерено 24 образца дели. Результаты промеров приведены в таблице.

B_0	B	$B_t=-6^{\circ}\text{C}$	$B_t=-12^{\circ}\text{C}$	$B_t=-18^{\circ}\text{C}$	$B_t=-30^{\circ}\text{C}$
Двухрядная дель					
109,20	118,3	115,1	110,8	102,8	97,0
Однорядная дель					
108,0	114,2	111,7	110,40	106,2	105,5

По данным таблицы на рисунке представлены зависимости отношения $k = \frac{B}{B_t}$ от температуры. Эмпирический коэффициент корреляции между отношением k и температурой равен 0,98, значимость его подтверждается надежностью вывода 0,95.



Зависимость отношения $k = \frac{B}{B_t}$ от температуры для:
1 — двухрядной дели; 2 — однорядной дели.

Вывод

Таким образом, истинный внутренний размер ячеи B по измеренному при отрицательной температуре фактическому размеру B_t определяется по формулам:

для двухрядной дели

$$B = (1,0 + 0,0075 t) B_t;$$

для однорядной дели

$$B = (1,0 + 0,0033 t) B_t.$$

SUMMARY

The effect of low temperatures on changes in the mesh size of the trawl web is demonstrated.

The experimental studies have resulted in empirical formulae deduced for determining the true sizes of meshes from mesh measurements of the frozen web. Based on the experimental data some correlation coefficients have been found.

Раздел III. МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛОВА

УДК 639.2.081.8

О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РЫБОЛОВНОГО ЭРЛИФТАА. Ф. Лексуткин, О. Д. Рогаткин
КаспНИРХ

При оптимальной производительности компрессорной станции величина улова рыболовного эрлифта во многом зависит от некоторых биологических и механических факторов. К биологическим факторам следует отнести поведение объекта лова под влиянием светового раздражителя и скорость формирования плотных скоплений у светильников. Механические факторы обуславливают работоспособность отдельных элементов насоса в зависимости от их конструктивного оформления.

При решении вопроса о возможном увеличении суточных уловов установки весьма важно знать коэффициент изымаемой ею рыбы и те пределы, в которых он может быть повышен с максимальной промысловой выгодой. При исследовании этих вопросов нами была предпринята попытка найти хотя бы приближенно значение этого коэффициента применительно к насосам, используемым на Каспии для лова кильки на свет. Под коэффициентом изъятия (уловистости) подразумевали отношение количества пойманной эрлифтом рыбы в объеме перекачанной воды к количеству ее в том же объеме, которое находилось в освещенной зоне, т. е.

$$\psi = \frac{W q_1}{W q} = \frac{q_1}{q},$$

где W — объем воды, поднимаемой эрлифтом за время t ;
 q_1 — плотность пульпы;
 q — естественная концентрация рыбы в объеме W .

Допустим, что на разных концентрациях кильки работают две рыбонасосных установки с одинаковой производительностью по воде. Предположим, что по результатам замеров плотность пульпы у первой установки оказалась равной q_1 , а у второй q_2 .

Тогда

$$\frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{q_1' - q_2'}{q_1'} = \eta$$

и

$$\frac{q_1' - q_1}{q_1} = \frac{q_2' - q_2}{q_2} = k,$$

или

$$q_1' = q_1 (k + 1),$$

где q_1' и q_2' — концентрация рыбы в освещенной зоне, приходящаяся на единицу объема воды для первой и второй установок.

Так как

$$\psi = \frac{q_1}{q_1'} = \frac{q_2}{q_2'},$$

$$q_2' = \frac{q_1' q_2}{q_1}.$$

Поскольку $q_1' = (k + 1) q_1$,

вероятно,

$$q_2' = \frac{q_1 q_2 (k + 1)}{q_1} = q_2 (k + 1).$$

Тогда

$$\psi = \frac{q_2}{q_2 (k + 1)} = \frac{1}{k + 1}.$$

Величина k способна принимать бесконечное множество значений, в том числе она может быть равна η , будучи меньше единицы. В этом случае

$$\psi = \frac{1}{\frac{q_1 - q_2}{q_1} + 1} = \frac{q_1}{2q_1 - q_2}.$$

Например, $q_1' = 15$ усл. ед.; $q_2' = 5$ усл. ед.; $q_1 = 9$ усл. ед.; $q_2 = 3$ усл. ед.
Здесь

$$\eta = \frac{9 - 3}{9} = 0,66;$$

$$k = \frac{15 - 9}{9} = 0,66.$$

При этом

$$\psi = \frac{9}{18 - 3} = 0,60.$$

Чтобы найти истинные значения q_1' и q_2' применительно к приведенному примеру, надо поставить в условиях промысла сложные опыты¹. Гораздо проще, хотя и менее надежно, подсчитать величину Ψ рыболовного насоса исходя из следующих соображений.

Подводными наблюдениями установлено, что при средних уловах килька образует вокруг источника света плотные скопления в форме цилиндра диаметром и высотой до 3 м. В объеме такого цилиндра собирается около 200—300 кг рыбы. Тогда

$$\psi = \frac{q_1}{q_1'} = 2,5 : \frac{200}{\frac{\pi d^2 h}{4}} = 2,5 : \frac{200 \cdot 4}{3,14 \cdot 3^2 \cdot 3} = 0,21,$$

где q_1 — фактическая плотность пульпы во время средних уловов, кг/м³.

Как видим, коэффициент ψ современных рыболовных насосов, применяемых на Каспии, невелик и может быть значительно увеличен. С этой целью КаспНИРХом в 1969—1970 гг. были проведены специальные исследования в лабораторных условиях и на промысле. Для камеральных опытов была изготовлена модель эрлифта, в которой функции компрессорной станции выполнял пылесос марки «Ракета». Работы в море проводились на научно-исследовательском судне СРТ «Ломоносов», на котором была смонтирована эрлифтная установка для лова кильки с помощью подводного электрического света. В отличие от лабораторных опытов промысловые испытания выполнялись не только на воде, но и на рыбе.

Вопреки существующему мнению, выяснилось, что конструкция смесителя не оказывает заметного влияния на объем подаваемой эрлифтом воды в единицу времени, поэтому в рыболовных эрлифтах вместо сложных по устройству форсунок с горизонтальными щелями могут применяться обычные гильзы, используемые для соединения шлангов пульпопровода. Установлено также, что наиболее удачной по конструкции является форсунка, диаметр смесительной трубы которой равен диаметру водоподающего шланга.

В одной из серий испытаний изучали влияние изменения диаметров водоподающих шлангов на производительность эрлифта. Опыты показали, что с увеличением диаметра нагнетательного шланга производительность эрлифта возрастает. Это указывает на целесообразность применения в рыболовных эрлифтах комбинированных шлангов для повышения коэффициента полезного действия, особенно при лове на малых глубинах, где по условиям промысла приходится располагать форсунки на сравнительно неглубоких горизонтах, в результате чего производительность установок падает.

Увеличение диаметра нагнетательной линии повышает производительность в том случае, если длина ее не короче всасывающей линии, т. е. при соблюдении соотношения

$$\frac{L_n}{L_v} > 1,$$

где L_n — длина нагнетательной ветви;
 L_v — длина всасывающей ветви.

Как показали промысловые испытания, улов кильки эрлифтной рыболовной установкой (ЭРСУ) с всасывающей линией диаметром 150 мм

¹ При $k=\eta$ по указанной выше формуле коэффициент ψ может быть найден только в том случае, если он в действительности превышает 0,5.

и нагнетательной диаметром 200 мм был на 20—30% больше, чем улов обычной ЭРСУ-150 при одном и том же расходе воздуха.

Рыболовный эрлифт прост по устройству, но требует правильного режима эксплуатации. Большое влияние на его работу оказывает высота подачи пульпы. В лабораторных и промысловых условиях было найдено, что с увеличением высоты нагнетания производительность насоса уменьшается (глубина погружения форсунки 15 м):

Высота подачи пульпы, м	Производительность по воде, м³/мин
1,5	3,5
2,5	4,5
3,5	2,7
3,1	2,4

Как видим, объем подаваемой эрлифтом воды в среднем снижался на 10% с каждым метром увеличения высоты подачи ее над горизонтом моря. Отсюда следует, что во избежание падения к. п. д. установки высота нагнетания должна выбираться минимальной, причем наружная часть нагнетательной линии не должна иметь резких перегибов и петель, что неблагоприятно сказывается на производительности ЭРСУ:

Число перегибов пульпопровода под углом 90°	Производительность по воде, %
1	2
0	3
100	80
90	70

Для выяснения влияния длины нагнетательной линии, расположенной в горизонтальной плоскости, на производительность эрлифтной установки были поставлены опыты в лабораторных условиях и в море.

Результаты лабораторных испытаний приведены на рис. 1. Относительное падение производительности эрлифта

$$\gamma = \frac{a_0 - a_i}{a_0},$$

где a_0 — максимальная производительность;
 a_i — производительность, меньшая максимальной.

Из рис. 1 видно, что при отношении длины горизонтально расположенной напорной линии l к ее вертикальной длине, выступающей над водой, l_1 , равном 7, количество воды, подаваемой эрлифтом, уменьшилось почти на 20% по сравнению с тем количеством, когда модель работала при $l=0$.

Для подтверждения полученных результатов серия аналогичных опытов была поставлена в море. В опытах использовали обычные гофрированные шланги диаметром 150 мм. Высота их над водой была постоянной и равнялась 3 м, длина горизонтальной части l менялась и ее брали от 1 до 32 м. Форсунка эрлифта располагалась на глубине 9 м. Результаты опытов приведены в табл. 1.



Рис. 1. Зависимость производительности рыболовного эрлифта от протяженности пульпопровода.

Из табл. 1 видно, что длина горизонтально расположенной надводной части напорной линии до 10 м практически не оказывает влияния на производительность эрлифта и может быть признана как предельно допустимая при прокладке трубопровода на палубе судна.

Таблица 1

Длина, м		l/l	Производительность по воде		γ	Длина, м		l/l	Производительность по воде		γ
l_1	l		м³/мин	%		l_1	l		м³/мин	%	
3	1	0,33	2*	100	0	3	20	6,66	1,58	79	0,21
3	4	1,33	2	100	0	3	24	8,00	1,50	75	0,25
3	8	2,66	2	100	0	3	28	9,33	1,36	68	0,32
3	12	4,00	1,93	97	0,04	3	32	10,66	1,25	62	0,38
3	16	5,33	1,76	88	0,12						

* Относительно низкая производительность объясняется небольшим заглублением форсунки (9 м).

Сопоставляя результаты лабораторных и промысловых наблюдений нетрудно убедиться в их близкой сходимости. Например, при $l/l=7$ производительность модели эрлифта падала на 20% от оптимальной в единицу времени, потери же производительности рыболовной эрлифтной установки достигали 23%, т. е. по сути дела были равновеликими.

Большое влияние на работу рыболовного эрлифта оказывает горизонт погружения форсунки. Характер такого влияния, по данным наших исследований, показан на рис. 2, на котором по вертикали нанесена производительность насоса (в %), а по горизонтали отложена глубина погружения смесителя (в м). Как видно из рис. 2, интенсивное нарастание количества воды, поднимаемой насосом, происходило на участке заглубления смесителя от 0 до 30 м.

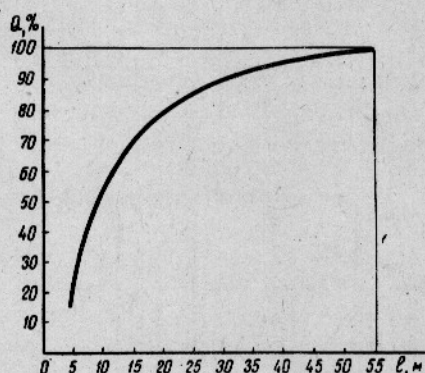


Рис. 2. Изменение производительности рыболовного эрлифта в зависимости от заглубления смесителя.

Выше уже отмечалось, что конструкция форсунки практически не влияет на производительность эрлифта, однако положение ее в линии пульпопровода играет важную роль. На рис. 3 показаны три возможных варианта положения форсунки в шлангах. При замене количества всасы, подаваемой эрлифтом, оказалось, что во втором варианте по отношению к первому объем ее был равен 80%, а в третьем — всего 60%.

Современный рыболовный эрлифт с пульпопроводом диаметром 150 мм приводится в действие от компрессорной станции, дающей по условиям всасывания воздуха 3 м³/мин, что, судя по нашим исследованиям, можно считать завышенным. В связи с этим появилась необходимость выяснить, может ли такое завышение отрицательно сказаться на режиме эксплуатации эрлифтной установки. Такие опыты были поставлены в лабораторных условиях следующим образом. Четыре одинаковые по конструкции и размерам форсунки соединяли попарно в единый

блок, чтобы было удобнее расположить их на одном уровне и благодаря этому обеспечить равномерную и одинаковую подачу воздуха к штуцерам (рис. 4). Каждая форсунка имела самостоятельный воздухопровод, который соединялся с источником питания через особую пробку с четырьмя отверстиями. По ходу форсунки могли последовательно отключаться с помощью зажимов, что позволяло легко перераспределять воздух между ними.

Таблица 2

Улов за 20 мин дова		
в кг		в %
одинарная ЭРСУ	сдвоенная ЭРСУ	
Концентрация до 35 кг		
8	8	100
16	23	150
24	24	100
32	36	112
32	64	200
Σ/n 22	30	132
Концентрация 35—65 кг		
48	128	264
64	64	100
64	120	187
40	80	200
44	80	182
64	128	200
45	72	100
64	160	250
Σ/n 54	104	192
Концентрация свыше 65 кг		
88	96	109
96	160	166
112	200	178
80	160	200
96	192	200
104	200	192
Σ/n 96	166	175

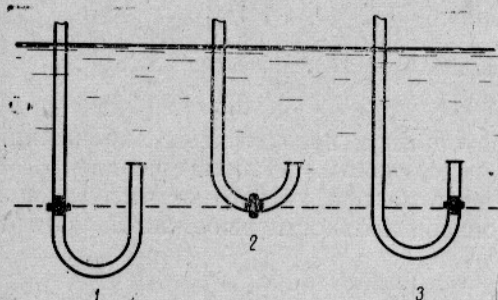


Рис. 3. Варианты расположения смесителя.

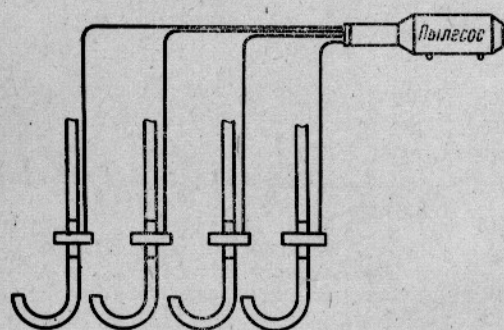


Рис. 4. Схема подачи воздуха от одного компрессора к четырем форсункам.

Выяснилось, что даже четырехкратное увеличение подаваемого воздуха в форсунку не оказывало неблагоприятного влияния на работу водоподъемника, так как практически производительность его не менялась. Таким образом, в рыболовных эрлифтах предполагаемый излишек воздуха безвреден, однако он может быть использован как резерв для привода в действие второй линии установки, что и было проверено в море на СРТ «Ломоносов» в 1969—1970 гг.

Для испытания сдвоенного эрлифта были смонтированы два пульпопровода с двумя самостоятельными форсунками таким образом, что

они могли работать вместе или по отдельности, отключение одного из них могло осуществляться без выборки всей системы на палубу. Лов рыбы сдвоенным эрлифтом строго чередовался с ловом одинарным эрлифтом, работающим по промысловой схеме. Чередование происходило через каждые 20 мин. Испытания проводили на малых, средних и больших концентрациях кильки. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, уловы сдвоенного эрлифта в 1,5—2 раза превышали уловы одинарной установки за счет удвоенной подачи воды и зоны активного всасывания.

Выводы

1. Вычисленный коэффициент уловистости рыболовных эрлифтов невелик. Это побудило искать способы повышения их производительности.

2. В результате лабораторных и промысловых испытаний установлено, что конструкция смесителя не оказывает заметного влияния на производительность ЭРСУ по воде, поэтому вместо применяемых на промысле форсунок сравнительно сложного устройства могут быть использованы обычные соединительные гильзы со штуцерами для крепления к ним воздухоподающих шлангов.

3. Производительность ЭРСУ зависит не только от величины заглубления смесителя, но и от расположения его в пульпопроводе, а также от высоты подачи пульпы, горизонтальной протяженности нагнетательного пульпопровода, наличия в нем углов поворота, что необходимо учитывать при проектировании и монтаже рыболовных эрлифтов.

4. Для повышения производительности ЭРСУ по рыбе целесообразно использовать двухступенчатые или сдвоенные установки.

SUMMARY

The catchability coefficient of the air lift was previously estimated to be rather low, so a more detailed investigation was required.

The recent investigations have shown that the design of the mixer does not affect noticeably the amount of water delivered with the air lift, but it decreases substantially with a rise in the height of feeding, availability of turns, elbows and bends in the above-water part of the fish pipe as well as with a horizontal extension of the latter on the deck. The efficiency of a two-stage air lift (as to the diameters of water-feeding hoses) may be increased by 20—30% when certain relations between the lengths of sucking and forcing fish pipes are observed. A coupled air lift will increase daily catches of kilda by 1.5—2 times.

УДК 639.2.081.1

РОЛОВЫЙ СЕТЕПОДЪЕМНИК С ОГРАЖДЕНИЕМ

В. М. Кириллов

АзчерНИРО

До настоящего времени выборка камбальных сетей на мотофелюгах и баркасах производится вручную и остается наиболее тяжелой и трудоемкой операцией в практике рыболовства Азовско-Черноморского бассейна.

В прошлом предпринимались неоднократные попытки механизировать этот процесс путем применения кулачкового сетеподъемника и других специальных устройств. Однако все испытанные устройства по ряду технических и экономических причин оказались неприемлемыми. В частности, наиболее простые и компактные — роловые сетеподъемники не обеспечивали достаточную силу тяги и накручивали сеть на ролю, что приводило к ее механическим повреждениям. Накручивание сети происходило вследствие прилипания свободно провисающих нитей к поверхности вращающихся ролов и попадания их под натянутые подборы.

В 1971 г. АзчерНИРО разработана конструкция ролового сетеподъемника, устраняющая указанные недостатки. Для увеличения силы тяги использовано устройство, обеспечивающее большой угол охвата, а для устранения накручивания сети на ролю — специальное ограждение.

На рис. 1 показан роловый сетеподъемник с ограждением. Тяговым органом являются верхний 1 и нижний 2 рабочие ролю, валы которых консольно расположены в подшипниках 3, укрепленных на станине 4. К ней же крепится кронштейн 5 с четырьмя осями и свободно вращающимися на них роликами 6, 7 и 8.

Ограждение рабочих ролов состоит из вертикальных плоскостей 9, 10, изготовленных из стеклопластика, и впрессованных в них труб 11, 12 с вырезами в области контакта жгута сети с рабочими ролями. Ограждение надевается на рабочие ролю и жестко крепится к станине 4. Подобное ограждение придает и ролику 8.

Выбираемая сеть, поступая на ролик 6, формируется в жгут двумя роликами 7 и далее проходит в желоб верхнего роля между плоскостями 9, 10. Затем жгут обвивает нижний ролю и направляемый роликом 8 поступает на правую половину верхнего роля, с которого выбирается вручную. При угле охвата стальных ролов 420° усилие для выборки в 10—12 раз меньше сопротивления сети.

Прилипанию сети к поверхности ролов препятствуют кромки вырезов в трубах ограждения, что и предотвращает накручивание сети на

ролы. Зазор между рабочими ролами и кромками ограждения должен быть не более толщины нити выбираемых сетей.

Изъятие рыб из сети производится между сетеподъемником и съемным бортовым мальгогером. Для этого расстояние между ними должно быть возможно больше и не менее 1 м, а длина мальгогера должна обеспечивать проходимость камбал.

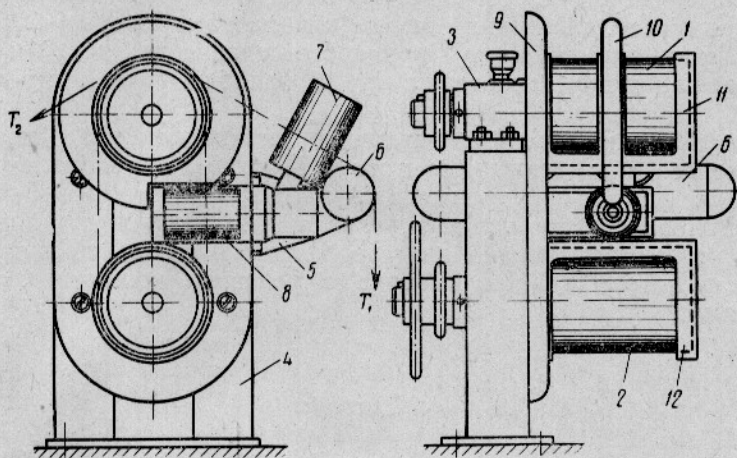


Рис. 1. Роловый сетеподъемник с ограждением.

Учитывая нерешенные трудности обеспечения привода от судового двигателя на мотофелюгах, а также необходимость применения сетеподъемника на весельных баркасах, для привода использован мотор Ш-52 (от мопеда «Верховина-2») мощностью 2,2 л. с. с частотой вращения 4200 об/мин (рис. 2). Несмотря на большую частоту вращения, наличие при моторе коробки передач и малый диаметр рабочих ролов (100 мм) позволили обойтись без редуктора и обеспечить скорости выборки от 18 до 36 м/мин при тяговом усилии 1,6—3,2 кН. Для воздушного охлаждения двигателя применен вентилятор с приводом от коленчатого вала.

При габаритах 720×600×1020 мм общая масса сетеподъемника 78 кг. Для сравнения напомним, что масса кулачкового сетеподъемника 350 кг, а с узлом съема мощности — около 500 кг.

После предварительных испытаний, давших положительные результаты, сетеподъемник эксплуатировался на мотофелюге рыбколхоза «Рыбачья коммуна» в продолжение двух сезонов промысла камбалы, где им выб-

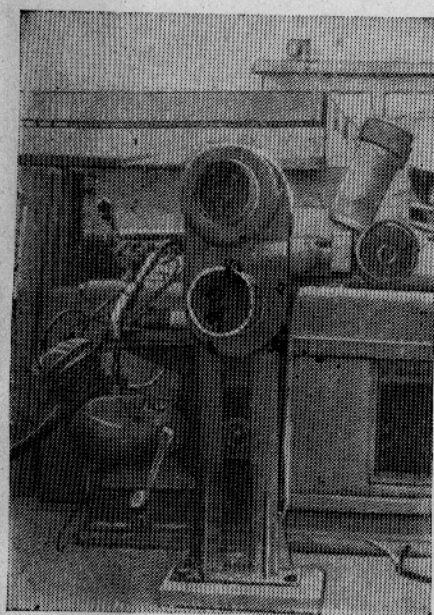


Рис. 2. Роловый сетеподъемник на мотофелюге.

рано около 100 км сетей. В июне 1972 г. сетеподъемник был принят ведомственной комиссией для внедрения.

Учитывая, что до настоящего времени в практике рыболовства отсутствует компактный и недорогой механизм для выборки сетей на мелкие суда, роловый сетеподъемник может найти широкое применение на всех водоемах, где производится лов ставными сетями на глубинах более 25 м. Большое значение при этом будет иметь конструктивное оформление сетеподъемника вместе с приводом, которое должно обеспечить минимальную массу (при достаточной силе тяги) и возможность временной установки на судне подобно подвесному лодочному мотору.

Первый опыт применения съемного сетеподъемника массой 41 кг (с приводом от велосипедного мотора Д-5), был осуществлен в 1972 г. в процессе длительной промысловой проверки на баркасе, буксируемом в район лова сейнером. Опыт показал перспективность применения такого новшества. Однако его внедрению препятствует недостаточная мощность мотора Д-5 при выборке в условиях волнения моря более 2—3 баллов.

Выводы

Применение сетеподъемника новой конструкции позволяет решить проблему механизации так называемого «мелкого рыболовства» не только в Азовско-Черноморском бассейне, но и на других водоемах.

Экспериментальные работы по внедрению на мелких судах съемных сетеподъемников показали перспективность их применения. Однако для широкого их внедрения необходимо увеличить мощность двигателя.

SUMMARY

To mechanize the hauling of nets used in the fishery for flatfish on motor and pulling dories a new roll hauling winch weighing 78 kg has been developed. A motor Model Ш-52 is used as a drive. The winch has been tested at sea for two seasons and approved by the industry for use.

A portable hauling winch has also been tested successfully and prospects well.

РЕФЕРАТЫ

УДК 597—15:639.2.081.1

Некоторые вопросы теории управления объектом лова. Мельников В. Н. Труды ВНИРО, т. ХСVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 8—42.

Рассмотрены вопросы управления поведением рыб на основе энергетического и информационного воздействия контактных раздражителей и физических полей на рыбу. Указаны основные способы управления и дана характеристика основных элементов систем.

С использованием основных понятий теории информации рассмотрены способы оценки степени неопределенности поля ощущений и связанного с этим поведения рыб в нем. Приведена методика определения количества информации в сигнале и оценка потерь информации при действии помех.

Дана характеристика основных информационных показателей объектов лова.

Табл. 1, илл. 6, список литературы — 53 названия.

УДК 639.2.081.1

Об оптимальных скоростях дрейфа с порядком сетей. Засосов А. В., Блинов В. В. Труды ВНИРО, т. ХСVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 43—48.

По правилу суммирования сопротивлений сетных и тросовых частей орудий лова вычислено сопротивление дрейферного порядка.

В расчете использованы достаточно точные полученные ранее формулы для коэффициента гидродинамического сопротивления сетей, параллельных потоку, веревки, канатов, перпендикулярных потоку.

В результате расчета установлено влияние искажения формы сетей с ростом скорости дрейфа, выявлен оптимальный диапазон скоростей дрейфа и характер обтекания сетей в порядке.

Табл. 1, илл. 3, список литературы — 10 названий.

УДК 639.2.081.8

Некоторые элементы методики расчета подводных и надводных осветительных устройств для лова рыбы. Мельников В. Н. Труды ВНИРО, т. ХСVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 49—74.

В основу способов лова рыбы с применением света положены различные комбинации стационарных, подвижных и переменных по интенсивности и качественному составу световых полей.

Приведены методики расчета одиночных источников надводного освещения, совокупности источников надводного и подводного освещения, служащих для концентрации рыбы, световых трасс и световых заграждений. Методика позволяет в первом приближении определять параметры и расположение рыболовных осветительных устройств для получения зоны действия светового поля заданных размеров, формы и структуры.

Илл. 19, список литературы — 17 названий.

Выбор параметров кошельковых неводов в зависимости от поведения рыб. Степанов Г. Н. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 75—80.

Обоснован выбор оптимальных параметров кошельковых неводов (высота, загрузка, коэффициенты посадки и др.), обеспечивающих наиболее вероятный захват косяка.

Оптимальные параметры кошелькового невода зависят от скорости передвижения, размеров косяков, глубины их расположения, а также от расстояния, на котором рыба начинает реагировать на невод. Полученные уравнения позволяют по известным биологическим особенностям поведения косяка, поперечным размерам, скорости перемещения, глубине его расположения определять высоту невода в жгуте, посадочный коэффициент и загрузку.

Илл. 2, список литературы — 4 названия.

Расчет коэффициента гидродинамического сопротивления сетного мешка разноглубинного трала. Блинов В. В. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 81—85.

Рассматривается задача об изменении формы центральной части разноглубинного трала с закрепленной подборой. Вытягивание дели в потоке предполагается однородным.

Приведена формула коэффициента гидродинамического сопротивления тралового мешка, или вариационного функционала задачи. С целью минимизации этого функционала строится система $N+1$ трансцендентных уравнений Ритца, где N —порядок полинома, т. е. уравнения образующей сетного мешка.

Система Ритца решается методом последовательных приближений Ньютона. Решение системы дает коэффициенты полинома. Для найденной поверхности сетного мешка вычислен коэффициент гидродинамического сопротивления.

Разработана программа этой задачи для ЭЦВМ «Минск-22».

Илл. 1, список литературы — 6 названий.

Эмпирические уравнения при реакциях рыб на переменный электрический ток. Лосев Ю. М. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 86—92.

Описаны зависимости пороговых значений напряжения переменного электротока, которые вызывали любую из четырех характерных реакций у белого амура, толстолобика, сазана, карася, леща, красноперки и окуня, от параметра, определяющего вид любой из четырех характерных реакций рыб на электроток, а также от размера и ориентации тела рыб в электрическом поле.

Введено понятие условного приведенного угла, который связал простым математическим выражением параметр, характеризующий вид реакции рыб на электроток, с углом, определяющим ориентированное положение тела рыбы в электрическом поле.

Эмпирическими уравнениями выражены энергетические затраты переменного электротока, вызывающие любую из четырех характерных реакций в зависимости от трех переменных факторов: параметра, определяющего вид реакции рыб на электроток, длины и положения тела рыбы в электрическом поле.

Табл. 1, илл. 3, список литературы — 2 названия.

О возможности получения безусадочных сетематериалов из капрона. Медведь А. В., Лисицина В. П. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 93—96.

Существующие способы тепловой обработки капроновых сетематериалов на некоторых сетевязальных фабриках не позволяют получать безусадочные сетематериалы с требуемыми физико-механическими свойствами, так как технологические процессы несовершенны, а оборудование морально устарело. Был разработан новый технологический режим, предусматривающий совмещение процессов латексирования и термостабилизации капроновой дели на одном и том же оборудовании. Найденные в лабораторных условиях температура, продолжительность и другие параметры процессов сушки и термостабилизации позволяют получать малоусадочные сетематериалы со стабильными свойствами и необходимым привесом латексной пленки.

Табл. 2, илл. 3.

УДК 639.2.081.117

Определение размера ячеек траловой дели на морозе. Трещев А. И., Степанов Г. Н., Карпенко Э. А., Ефанов С. Ф. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 97—98.

Показано влияние низких температур на изменение размера ячеек траловых делей.

В результате экспериментальных работ получены эмпирические формулы для определения истинных размеров ячеек по замерам ячеек замерзающего сетного полотна. Произведена корреляционная оценка экспериментальных данных.

Табл. 1, илл. 1.

УДК 639.2.081.1.8

О влиянии некоторых факторов на производительность рыболовного эрлифта. Лескуткин А. Ф., Рогаткин О. Д. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 99—105.

Исследования показали, что конструкция смесителя не оказывает заметного влияния на количество подаваемой эрлифтом воды, но оно падает с увеличением высоты подачи, при наличии углов поворота, колен и перегибов в надводной части пульпопровода, а также с увеличением его протяженности на палубе судна в горизонтальной плоскости. Двухступенчатая (по диаметрам водоподающих шлангов) эрлифтная рыболовная установка при соблюдении определенных соотношений длин всасывающей и нагнетательной линий пульпопровода позволяет повысить производительность эрлифта по рыбе на 20—30%. Сдвоенная эрлифтная установка позволяет увеличить суточные уловы кильки в 1,5—2 раза.

Табл. 2, илл. 4.

УДК 639.2.081.1

Роловый сетеподъемник с ограждением. Кириллов В. М. Труды ВНИРО, т. XCVII «Организация и техника рыболовства», 1973, 106—108.

Для механизации выборки камбальных сетей на мотофелюгах и баркасах разработана конструкция нового ролового сетеподъемника. В качестве привода использован мотор Ш-52. Масса сетеподъемника 78 кг. Сетеподъемник эксплуатировался в течение двух сезонов и был принят для внедрения.

Проведены испытания съемного сетеподъемника, показавшие перспективность применения этого механизма.

Илл. 2

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИКА РЫБОЛОВСТВА
ТРУДЫ. Том ХСVII

Редактор *Л. Л. Кожина*
Худож. редактор *В. В. Водзинский*
Техн. редактор *Т. С. Пронченкова*
Корректор *К. С. Торопцева*

Т-15240. Сдано в набор 15/V 1973 г. Подписано в печать
2/XI 1973 г. Формат 70×108¹/₁₆. Бумага тип. № 3. Объем
7 п. л.=9,8 усл. п. л. Уч.-изд. л. 8,55. Тираж 600 экз.
Заказ 472. Цена 86 коп.

Издательство «Пищевая промышленность»
113035, Москва М-35, 1-й Кадашевский пер., 12

Московская типография № 19 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
наб. Мориса Тореза, 34