



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
The Far Eastern State Technical Fisheries University

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Scientific Journal of DALRYBVTUZ Vol. 32

Том

32

Адрес: Россия, 690087, Владивосток, ул. Луговая, 526

Телефон/факс: (4232)44-11-76

e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

сайт: <http://nauch-tr.dgtru.ru>

2014

Редакционная коллегия:

Главный редактор – Г.Н. Ким, доктор технических наук, профессор, ректор

Научный редактор – В.Д. Богданов, доктор технических наук, профессор

Т.Е. Буторина, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
В.В. Плотников, доктор географических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Н.Г. Ключкова, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ»;
Нгуен Ву Тхань, профессор, доктор наук, Департамент нематодологии Института экологии и биологических ресурсов Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ);
Е.В. Осипов, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
С.В. Лисиенко, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
О.Н. Кручинин, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «Тинро-Центр»;
Чан Яцин, профессор, доктор наук, директор колледжа рыболовства и биологических наук Даляньского океанологического университета;
А.Н. Соболенко, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Б.И. Руднев, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Г.П. Кича, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»;
Э.Н. Ким, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Т.Н. Слуцкая, доктор технических наук, профессор, зав. отделом безопасности гидробионтов ФГУП «Тинро-Центр»;
В.А. Гроховский, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Мурманский ГТУ»;
И.Н. Ким, кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
В.И. Погонец, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
С.А. Бредихин, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГУПБ»;
Ю.А. Фатыхов, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Калининградский ГТУ»

Технический секретарь – Е.В. Денисова, начальник научного управления

Ответственный секретарь – Т.В. Ломакина, начальник редакционно-издательского отдела

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 534.222:681.883

Е.Н. Бакланов¹, Е.П. Стародубцев², П.А. Стародубцев²

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

²Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия
имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток),
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

ВОЗМОЖНЫЕ ОБЪЯСНЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА В БИОТИКЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Рассматриваются варианты проявления детерминированного хаоса в поведении скоплений рыб. Показывается, что эти явления гипотетически можно рассматривать как нерегулярное или хаотическое движение, порожденное нелинейной системой, для которой динамические законы однозначно определяют эволюцию во времени состояния всей системы в целом или отдельного его элемента при известной предыстории. Выдвигаемые гипотезы, имея теоретический характер, обладают прикладным значением для вопросов промышленного рыболовства. Включены выводы соответствующих результатов численных и морских наблюдений за поведением рыбных косяков как авторов статьи, так и других исследователей.

Ключевые слова: детерминированный хаос, нелинейная система, рыбный косяк, морская биотика, турбулентное движение, фазовое пространство, критерий хаотичности, оптимальное энергетическое поведение, экспоненциальная неустойчивость движения, коллективное поведение.

E.N. Baklanov, E.P. Starodubtcev, P.A. Starodubtcev POSSIBLE EXPLANATIONS OF DETERMINED CHAOS IN A BIOTIC OF THE SEA ENVIRONMENT

Questions concerning the explanations of the manifestation of deterministic chaos process in fish environment take up. It is asserted that the deterministic chaos hypothetically maybe esteemed as the irregular or chaotic movement induces by nonlinear system for which dynamic laws unequivocally define evolution of a whole system state in process of time in general or of one of its part considering its background. Given hypotheses are mostly theoretical, but they have very important practical value in the industrial fishing sphere. The numerical values of observations of moving stocks in the sea were included into this article. These numerical results were made not only by the authors of this article, but also by the other scientists.

Key words: deterministic chaos, nonlinear system, stock, biotic, steady state of the marine biotic, eddy, chaos criterion, optimal energy behavior, exponential instability of moving, collective behavior.

Введение

При изучении характера поведения рыбных скоплений выявлена способность косяка сохранять компактное состояние, что защищает его от действий хищников. При атаке извне косяк или кидается в рассыпную, проявляя элементы хаоса, но спустя некоторое время вновь собирается по логике детерминированности, или отвечает на нападение специальными слаженными действиями, сводящими на нет эффективность попытки нападающего. Для правильного понимания рассуждений о проявлениях детерминированного хаоса в биотике

морской среды, представленных в статье, введем новое определение состояния рыбного косяка (РК) при его перемещении из одной точки кормления в другую, ранее не применяемое в промышленном рыболовстве, «установившееся состояние морской биотики» (УСМБ). Для других биосистем, наблюдаемых в природе, данное состояние рассмотрено учеными достаточно подробно.

Для примера, в качестве УСМБ будет рассматриваться одно из многочисленных состояний РК, когда все его элементы (отдельные особи или рыбы) двигаются в одном направлении и с одинаковой скоростью. Количество элементов в УСМБ при этом может насчитываться от нескольких штук до нескольких миллионов. Такое УСМБ и его движение определено принципом «оптимального энергетического поведения» отдельной особи или рыбы.

Так как начальное состояние РК при УСМБ как некой физической системы не может быть задано абсолютно точно, то вышеизложенное можно рассматривать как некоторую область ее начальных условий. При этом неустойчивость или чувствительность по отношению к начальным условиям такой УСМБ, когда малое их изменение во времени приводит к большим изменениям динамики всей системы в целом, можно считать причиной появления в ней детерминированного хаоса [1, 8].

Результаты и их обсуждение

Наблюдая за поведением РК в открытом море и процессом потери им УСМБ при появлении хищника, можно увидеть, что каждое следующее его состояние однозначно детерминировано предыдущим состоянием и соответствующим законом динамики, который может выражаться дифференциальным или разностным уравнением.

По гипотетическому мнению авторов, переход РК из УСМБ в такое динамическое состояние при определенных условиях имеет сложный, шумоподобный характер с непрерывным Фурье-спектром.

Так, согласно предположениям, которые были сделаны Б.В. Чириковым, такого рода хаотическое поведение системы, сообразуясь с принципом «оптимального энергетического поведения» (это от авторов статьи), возникает не вследствие случайного внешнего шумового воздействия (или внутренней неопределенности), не из-за большого числа степеней свободы (требующего вероятностного описания), а при выполнении всего двух условий [7].

Первое из них – это экспоненциальная неустойчивость движения (эволюции) УСМБ, когда малое отклонение от исходной траектории всего одной особи приводит к хаосу и экспоненциально растет со временем. Или другими словами, две траектории отдельных особей, выходящие из двух близко расположенных в начальный момент точек в УСМБ, с течением времени экспоненциально разбегаются, становясь все более непохожими друг на друга.

Второе условие состоит в том, что множество положений отдельных особей РК при УСМБ должно быть сосредоточено в ограниченной области. Поэтому траектория движения РК при УСМБ и его отдельных особей не должна выходить за границы этой области и обязана иметь квазиосцилляторный характер.

Морские наблюдения подтверждают эти факты с единственным дополнением: РК при УСМБ в общем возвращается в исходное состояние после окончания внешнего воздействия на него. При этом отдельные его элементы (особи) осуществляют турбулентное движение в другие точки исходного пространства по траекториям, противоположным экспоненциальной неустойчивости движения их первоначального состояния.

Опираясь на сочетание этих двух условий, гипотетически возможно порождение аperiодической сложной траектории, неотличимой по своим статистическим характеристикам (например, по автокорреляционной функции) от реализации случайного шумоподобного процесса (аналогия с реальным физическим явлением). С данными выводами очень сложно не согласиться.

Точки таких траекторий, перемешиваясь, плотно заполняют некоторую область в фазовом пространстве. Выявлено, что подобным поведением могут обладать только нелинейные системы, к которым можно отнести гипотетически и переход УСМБ в новое состояние при появлении хищника.

Продолжая рассуждения, можно отметить, что в основе нерегулярного, хаотического поведения всего УСМБ в целом лежит детерминированное описание. Оно, однако, вовсе не означает практическую возможность долговременного прогноза эволюции процесса потери УСМБ РК и перехода в другие состояния [1, 6, 8].

Во многих случаях в природе система, обнаруживающая на практике хаотическое, непредсказуемое поведение, допускает (например, поведение колонии муравьев) тем не менее вполне детерминированное математическое описание. Было трудно поверить в то, что «случайный» процесс может быть решением одного или нескольких, часто с виду простых, дифференциальных уравнений.

Одним из самых неожиданных результатов анализа поведения таких систем является вывод о практической непредсказуемости долговременного поведения детерминированных хаотических систем и необходимости использования статистического описания.

Но как показали исследования на конкретных биосистемах, данный вывод может быть и уточнен. Итальянские ученые совместно с американскими коллегами создали робота для изучения поведения РК. В ходе экспериментов робот не только успешно внедрился в РК, но и стал его лидером. Робот визуально напоминал рыбу лишь отдаленно, сходство достигалось наличием хвоста с характерным плавником. Над проектом работали ученые Национального исследовательского совета Италии совместно с исследователями из Университета Нью-Йорка. Робот-рыба был помещен в искусственный водоем, в котором обитало несколько РК. Через некоторое время роботизированная рыба была принята в один из РК. Еще через некоторое время рыбы этого РК стали следовать за роботизированным собратом. Таким образом, роботу удалось стать настоящим лидером РК. Исходя из этого, ученые сделали вывод, что рыбы принимают в свой РК новых членов, не основываясь на их внешнем виде [6].

Переходя от данного примера к теории, необходимо отметить, что проявление статистических закономерностей у динамических систем связано с большим числом степеней свободы последних и возможности усреднения по ним. В физике такие системы принято называть макроскопическими, где регулярное, предсказуемое поведение является скорее исключением, чем правилом. В результате такого усреднения равновесное поведение определяется лишь небольшим числом параметров – интегралов движения отдельных особей. Аналогом вышеприведенных гипотетических рассуждений может служить распределение Гибса в классической статистике [1]:

$$\rho(p, q) = A \exp\left(-\frac{E(p, q)}{T}\right), \quad (1)$$

где $E(p, q)$ – энергия системы как функция ее импульсов и координат; T – температура.

Опираясь на выводы, полученные авторами из натуральных наблюдений РК, можно гипотетически воспользоваться еще одним из классических примеров для объяснения поведения отдельной особи при любом внешнем (например, в виде хищника) или внутреннем на нее воздействии. Таким объяснением может являться система Хенона-Хейлеса, открытая в 1964 г. (рис. 1). Представим некоторую аналогию: пусть отдельная особь РК представляет собой частицу массы $m = 1$, которая движется в двухмерном потенциале [1, 6]:

$$U(x, y) = \frac{x^2 + y^2}{2} + x^2 y - \frac{1}{3} y^3. \quad (2)$$

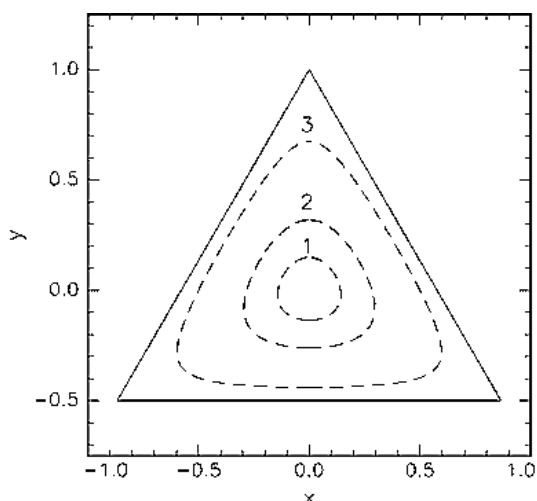


Рис. 1. Область финитного движения для модели Хенона-Хейлеса (пунктирные линии представляют собой эквипотенциальные кривые $U = \text{const}$. 1 – $U = 0,01$; 2 – $U = 0,04$; 3 – $U = 0,125$)
 Fig. 1. Area of finite motion for Henon-Heiles model (the dotted lines represent equipotential curves $U = \text{const}$. 1 – $U = 0,01$; 2 – $U = 0,04$; 3 – $U = 0,125$)

По сути, это два одинаковых гармонических осциллятора с нелинейным взаимодействием между ними. Если полная энергия этой системы $0 < E < 1/6$, то ее движение финитно и происходит внутри треугольной области (потенциальной ямы) на плоскости « $x - y$ », как показано на рис. 2 [6].

При энергиях E , близких к нулю, система совершает обычные гармонические колебания, однако если величина E не очень мала, то большая часть траекторий этой системы (с двумя степенями свободы) блуждает по изоэнергетической гиперповерхности в 4-мерном фазовом пространстве (x, y, p_x, p_y) крайне нерегулярным образом (рис. 2). Так, если взять только те моменты времени, когда траектория пересекает плоскость $x = 0$, то значения координаты y и импульса p_y изображены в эти моменты точками (рис. 2) и образуют сечение Пуанкаре [1, 6].

Анализ данных (рис. 2) может вполне быть аналогом доказательства существования детерминированного хаоса, когда поведение лидера является хаотическим, а поведение других особей РК, которые ориентируются на него, детерминированным.

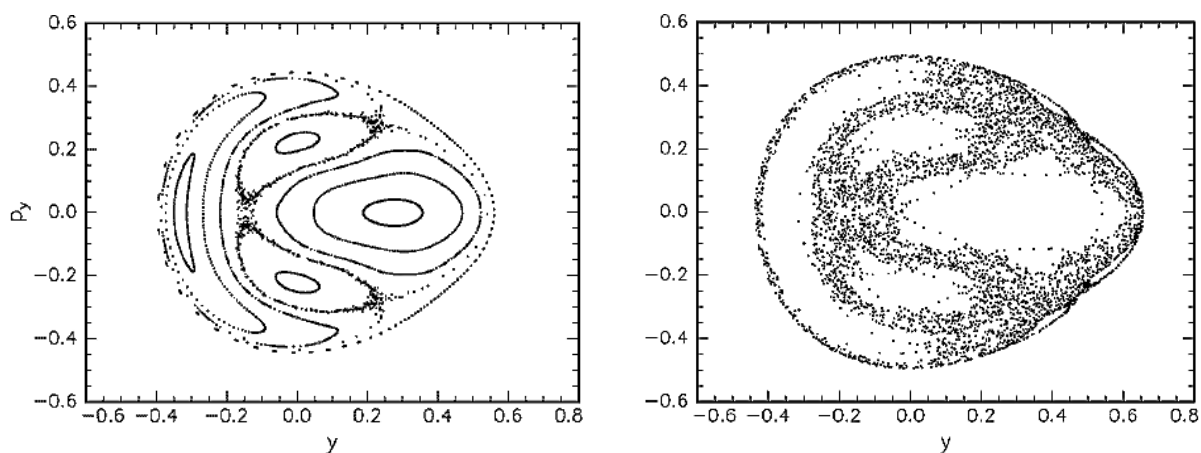
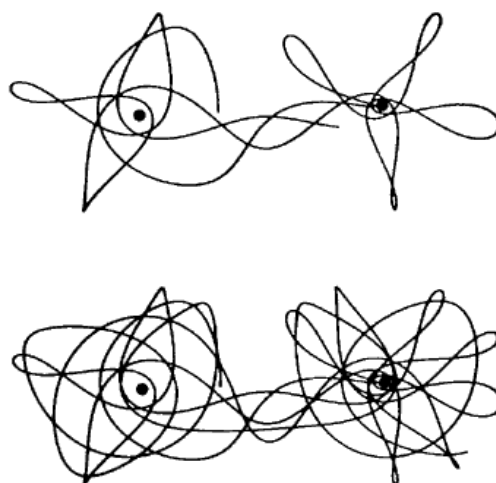


Рис. 2. Сечение Пуанкаре (y, p_y) модели Хенона-Хейлеса при энергии частицы $E = 1/10$ (слева) и $E = 1/8$ (справа)
 Fig. 2. Poincaré section (y, p_y) of Henon-Heiles model at the energy of the particle $E = 1/10$ (left) and $E = 1/8$ (right)

Дополнительно необходимо отметить, что и в поведении лидера при знании гидрологических условий района, где наблюдается РК, отчасти будут проявляться элементы детерминированности [1, 7].

С точки зрения гипотетических рассуждений и аналогии, частным случаем вышеизложенного или внутреннего (изменение стратификации морской среды или остановка для кормления) воздействия на РК с потерей УСМБ может являться движение «пробной» точки в гравитационном поле двух неподвижных точек (представим, что это отдельная особь РК). Даже если движение происходит в одной плоскости, траектория «пробной» точки (рис. 3) выглядит чрезвычайно сложной и запутанной. Она то обвивается вокруг одной из точек, то неожиданно перескакивает к другой. Первоначально близкие траектории очень быстро расходятся.

Рис. 3. Движение «пробной» точки вблизи двух одинаковых неподвижных точек. Вверху показана начальная часть траектории, а внизу – ее продолжение
 Fig. 3. Movement of "test" point near two identical fixed points. Above shows the initial part of the trajectory, and at the bottom – its continuation



Математики из Университета Уппсалы (Швеция) вместе с биологами из Сиднейского университета (Австралия) сумели узнать, какими правилами руководствуются рыбы в РК. Исследователи построили математическую модель на основании наблюдений за четырьмя рыбами гамбузиями в аквариуме. На записи, которую сделали ученые (рис. 4), одну из рыб приняли за некую константу, на рисунке ей присвоен номер 1. Другие рыбы двигались по траекториям, обозначенным цифрами 2, 3 и 4 [1, 6, 7].

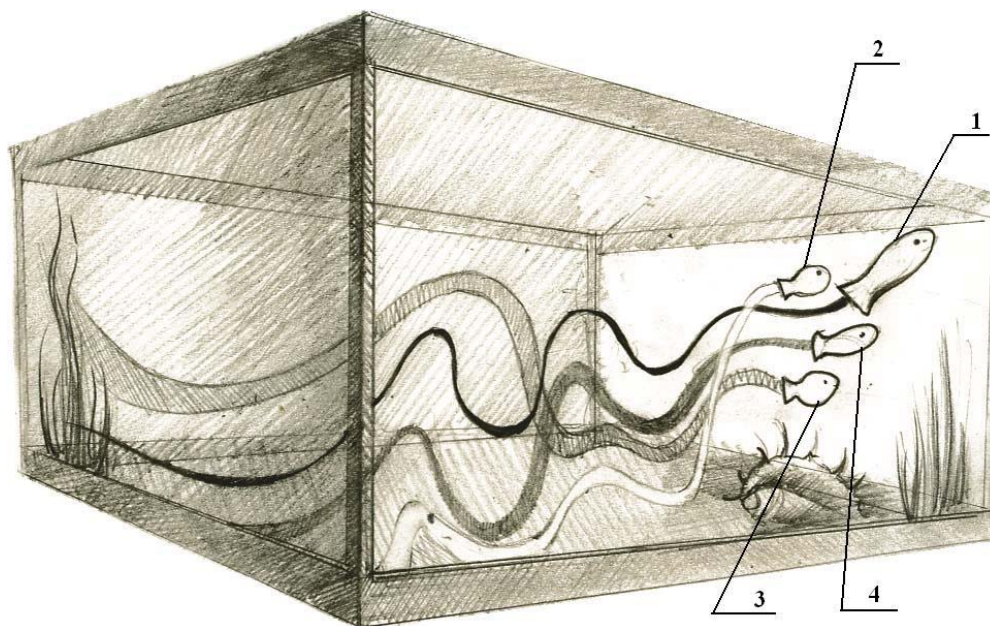


Рис. 4. Результаты наблюдений за четырьмя гамбузиями в аквариуме
 Fig. 4. Observations of four mosquito fish in the aquarium

В статье, опубликованной в ведущем американском журнале для публикации оригинальных научных исследований в различных естественных областях *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences)*, авторы делают следующее заключение: при всей сложности движений РК отдельные особи в нем руководствуются несколькими простыми правилами. Во-первых, каждая рыба старается держаться на какой-то минимальной дистанции от той, что плывет впереди. Во-вторых, каждый слушается движений ближайшего соседа, поворачивая туда же, куда и он.

Это прямое доказательство существования детерминированного хаоса, когда поведение лидера является хаотическим, а поведение других особей РК, которые ориентируются на него, детерминированным. Поведение лидера из-за замкнутости аквариума отчасти обладает элементами детерминированности.

Решая задачу движения «пробной» точки вблизи двух одинаковых неподвижных точек, Лоренц случайно наткнулся на то, что даже сравнительно простая система из трех связанных нелинейных дифференциальных уравнений 1-го порядка может иметь решением совершенно хаотические траектории. Эта система уравнений, ставшая теперь классической, имеет вид [1, 6]:

$$\begin{aligned} \bullet X &= -\sigma X + \sigma Y, \\ \bullet Y &= rX - Y - XZ, \\ \bullet Z &= XY - b, \end{aligned} \tag{3}$$

где «точка» обозначает дифференцирование по времени t . Переменная X пропорциональна скорости конвективного потока, Y – описывает разность температур для потоков вверх и вниз, а Z – характеризует отклонение профиля температуры от линейного в продольном направлении, вдоль приложенного градиента температуры.

Величина последнего характеризуется управляющим параметром r , а σ и b – некоторые безразмерные константы, характеризующие систему. Решение этих уравнений (функции $X(t)$, $Y(t)$ и $Z(t)$) определяет в параметрическом виде траекторию системы в трехмерном «фазовом» пространстве X, Y, Z . Ввиду однозначности функций, стоящих в правых частях этих уравнений, траектория себя никогда не пересекает.

Лоренц исследовал вид этих траекторий при разных начальных условиях и значениях параметров $r = 28$, $\sigma = 10$ и $b = 8/3$. Он обнаружил, что при этом траектория хаотическим образом блуждает из полупространства $x > 0$ в полупространство $x < 0$, формируя две почти плоские, перепутанные сложным образом спирали (рис. 5).

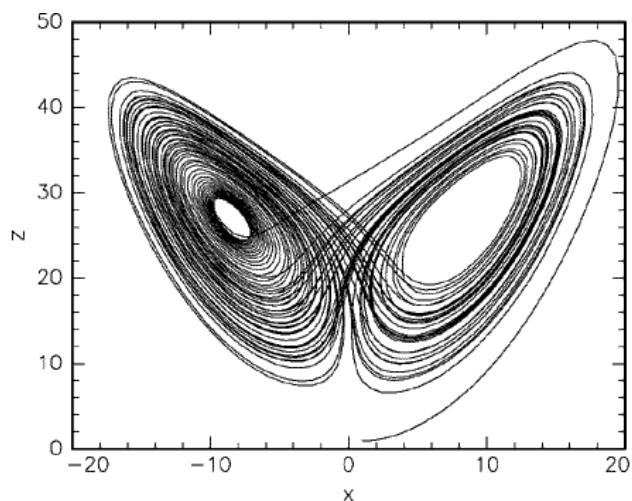


Рис. 5. Траектория, отвечающая хаотическому решению уравнений Лоренца, с параметрами, приведенными в тексте, и начальными условиями $X(0) = Y(0) = Z(0) = 1$
 Fig. 5. Trajectory corresponding to a chaotic solution of Lorenz equations, with the parameters given in the text, and the initial conditions $X(0) = Y(0) = Z(0) = 1$

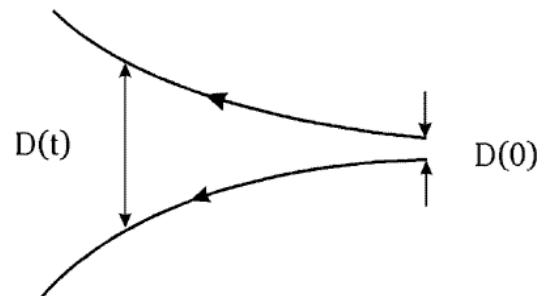
На рис. 5 показана проекция этих спиралей на плоскость XZ для некоторого начального условия. Траектория сначала делает 1 оборот справа, затем 20 слева, затем опять 1 справа, затем 4 слева и т.д. Похожее поведение было найдено и при других значениях параметров. Хаотичность решения означает, что если мы заранее выберем каким угодно способом цепочку переходов системы (для нас УСМБ) из одного полупространства в другое, то у системы Лоренца найдется решение, которое в точности эту цепочку воспроизведет.

Причина непредсказуемости поведения УСМБ заключается не в правильности математической теоремы о существовании и единственности решения при заданных начальных условиях, а в необычайной чувствительности решения к этим начальным условиям. Близкие начальные условия поведения отдельных особей со временем приводят к совершенно различным конечным состояниям системы. Причем часто различие нарастает со временем экспоненциально, т.е. чрезвычайно быстро (рис. 6).

$$D(t) = D(0)e^{ht}, \quad (4)$$

где инкремент неустойчивости h является функцией точки в фазовом пространстве. Причина очевидна – она заключается в неустойчивости начального состояния УСМБ, с которого оно стартует. Малое изменение от первоначального состояния даже отдельной рыбы сильно меняет его последующее движение и, как следствие, конечное состояние.

Рис. 6. Две первоначально близкие траектории в фазовом пространстве расходятся со временем в результате локальной неустойчивости
Fig. 6. Two initially close trajectories in phase space diverge over time as a result of local instability



Иными словами, сколь угодно малые возмущения начальных условий приводят с течением времени к сильному отклонению траектории от своего невозмущенного положения. Если фазовое пространство системы является конечным, то фазовые траектории не могут разойтись из-за неустойчивости более чем на характерный размер области движения, и начинается их запутывание. Предсказать поведение отдельных особей РК тогда оказывается практически невозможным.

Заключение

Из вышеизложенного можно сделать выводы, что детерминированный хаос в биотике морской среды есть сущность предсказуемого порядка, когда рыба-лидер является генератором хаотического поведения, а остальные особи – причиной его детерминированности. Системы, в которых наблюдается детерминированный хаос, описываются дифференциальными уравнениями.

В данной работе авторы не претендуют на то, что они дали полный обзор научно обоснованных гипотетических представлений о нелинейных эффектах и детерминированном хаосе в РК для УСМБ. Это было отчасти предметом исследований, представленных в [1, 8], где один из авторов являлся научным руководителем.

Цель была сугубо аналого-гипотетическая: показать, что невозможно игнорировать детерминированный хаос при разработке поведенческих концепций отдельных особей в РК, и продемонстрировать привлекательность нелинейной динамики для анализа и синтеза новых

стратегий в поведении биотики морской среды [7]. Теория поведения (РК) авторами рассматривается гипотетически впервые, что требует дополнительных достаточно серьезных теоретических и натурных исследований.

Список литературы

1. Пичугин К.А. Современная интерпретация физических основ формирования рыбных скоплений как объекта дальнего гидроакустического обнаружения: дис. ... канд. техн. наук. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – 152 с.

2. Стародубцев П.А., Шевченко Е.В. Возмущения водной среды, созданные движением стаи рыб // Сб. материалов регион. науч.-техн. конф., посвященной 115-летию морского образования на Дальнем Востоке. – Владивосток, 2005. – С. 129–135.

3. Стародубцев П.А. Детерминированный хаос в рыбных скоплениях и причины его возникновения // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2008. – № 20. – С. 130–141.

4. Стародубцев П.А., Пичугин К.А., Стародубцев Е.П. Фрактальные модели как форма перемещения рыбного косяка в статическом объеме водного пространства // Сб. науч. тр. кафедры «Промышленное рыболовство». – Владивосток, 2008. – С. 128–134.

5. Стародубцев П.А., Карасев В.В., Пичугин К.А. Некоторые современные технологии дальнего обнаружения рыбных косяков и их теоретические объяснения // Изв. ТИНРО. – 2008. – Т. 152. – С. 267–278.

6. Стародубцев П.А., Карасев В.В., Пичугин К.А., Алифанов Р.Н. Современные технологии обнаружения рыбных косяков и их теоретические объяснения. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. – 130 с.

7. Халаев Н.Л., Стародубцев П.А., Димидов В.Е. Некоторые концептуальные положения процесса мониторинга океанской среды. – Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2012. – 224 с.

8. Шевченко Е.В. Дальнее обнаружение сформированных рыбных косяков маломощными низкочастотными просветными сигналами: дис. ... канд. техн. наук. – Владивосток, 2007. – 134 с.

9. Стародубцев П.А. Фрактальная форма представления рыбного косяка при его перемещении в статическом объеме водного пространства // Проблемы открытого образования: сб. мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток: ДВГТУ, 2008. – С. 44–50.

Сведения об авторах: Бакланов Евгений Николаевич, доцент,
e-mail: baklanoven@mail.ru;

Стародубцев Евгений Павлович, email: spa1958@mail.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,
e-mail: spa1958@mail.ru.

УДК 591.69-7

В.Н. Казаченко¹, Н.Н. Ковалева¹, Н.В. Фещенко², Nguyen Vu Ha³¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²ДВГУПС, г. Хабаровск, ул. Серьшева, 47³Institute of Ecology and Biological Resources, VAST, Yanoi, Vietnam**ALCIRONA KREBSII HANSEN, 1890 (CRUSTACEA: ISOPODA: COROLLANIDAE) –
НОВАЯ ДЛЯ ФАУНЫ ВЬЕТНАМА ПАРАЗИТИЧЕСКАЯ ИЗОПОДА**

*В водах Вьетнама впервые зарегистрирована паразитическая изопода *Alcirona krebsii* на новом виде хозяина – *Epinephelus tauvina*.*

Ключевые слова: Вьетнам, паразиты, изопода.

V.N. Kazachenko, N.N. Kovaleva, N.V. Feshchenko, Nguyen Vu Ha**ALCIRONA KREBSII HANSEN, 1890 (CRUSTACEA: ISOPODA: COROLLANIDAE) –
PARASITIC COPEPOD NEW FOR FAUNA OF VIETNAM**

*Parasitic isopod *Alcirona krebsii* recorded on new host (*Epinephelus tauvina*) in Vietnam first time.*

Key words: Vietnam, parasites, isopod.

Введение

До недавнего времени паразитические ракообразные Вьетнама практически не были изучены. Опубликована серия статей [1, 2, 3, 4] по паразитическим копеподам рыб Вьетнама, которая расширила знания о копеподах этого района. Паразитические изоподы имеют большое экономическое значение при искусственном разведении рыб [5]. Изоподы рода *Alcirona* до настоящего времени не были зарегистрированы в водах Вьетнама.

Материал и методика

Материалом для исследования послужили сборы паразитических ракообразных, проведенные сотрудниками Института экологии и биологических ресурсов Вьетнамской Академии наук и технологий (Institute of Ecology and Biological Resources (IEBR) Vietnam Academy of Science and Technology) у о-ва Катба, в Тонкинском зал. в 2010 г. Сбор и обработка материала проводилась по общепринятым в паразитологии методам [6].

**ТИП ARTHROPODA SIEBOLD et STANNIUS, 1848 – ЧЛЕНИСТОНОГИЕ
КЛАСС CRUSTACEA LAMARCK, 1801 – РАКООБРАЗНЫЕ
ОТРЯД ISOPODA LATREILLE, 1802 – РАВНОНОГИЕ РАКООБРАЗНЫЕ
СЕМЕЙСТВО COROLLANIDAE HANSEN, 1890**

Глаза хорошо развиты. Дорсальная сторона часто имеет щетинки, шипы, бугорки или кили; половой диморфизм не выражен. Основание первой антенны 2-3-члениковое, базальные членики иногда расширены. Вторая антенна 5-члениковая, 4-, 5-й членики удлинены. Фронтальная пластинка плоская. Передний зуб мандибулы вариабелен; жевательная пластинка подвижна, малярный отросток редуцирован или отсутствует. Латеральная лопасть первой максиллы несет 1-2 больших серповидных апикальных шипа, представители некоторых родов иногда имеют до 3 небольших субапикальных шипов; медиальная лопасть имеет простую вершину, лишённую шипов, очень редко несет щетинки. Вторая максилла одноветвистая, редуцирована, 1-4-члениковая; ее вершина не имеет шипов, редко несет щетинки. Мак-

силлипед не имеет внутренней ветви; щупик тонкий, 3-5-члениковый, без апикальных шипов; представители некоторых родов имеют удлинённые максиллипеды.

Паразиты морских костных рыб.

Типовой род – *Corallana* Dana, 1853.

Род *Alcirona* Hansen, 1890

Основание первой антенны 2-члениковое. Мандибула не имеет зубного отростка. Первая максилла несет 2 больших изогнутых шипа с одним или несколькими шипиками между ними. Вторая максилла представлена простой округлой лопастью. Максиллипед не имеет эндита. Задняя часть тела покрыта жесткими волосками: они появляются на 5-6 перионитах, становятся более хитинизированными на последних переонитах, плеонитах, уроподах и плеотельсоне. Вершина плеотельсона округлая.

Типовой вид – *Alcirona krebsii* Hansen, 1890.

Alcirona krebsii Hansen, 1890 (рисунок)

Син.: *Alcirona insularis* Hansen, 1890; *Alcirona hirsuta* Moore, 1902; *Alcirona maldivensis* Stebbing, 1904

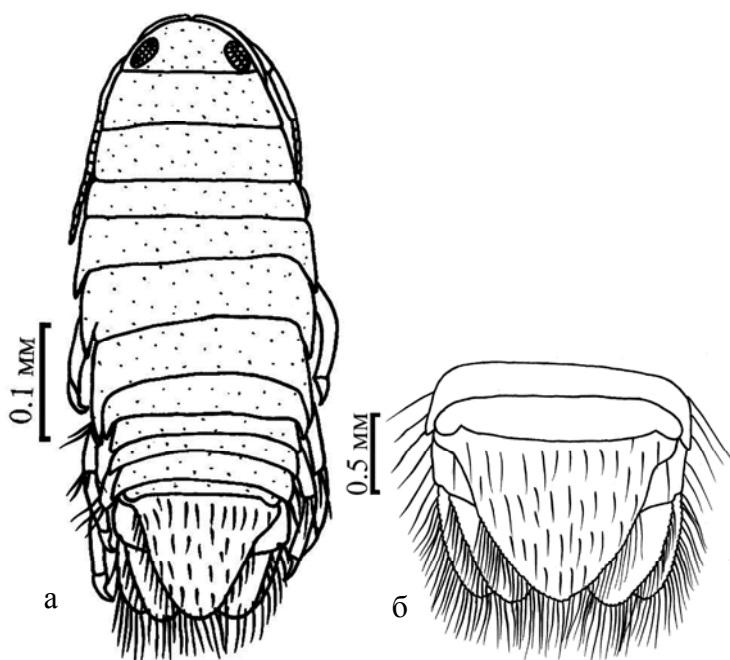
Хозяин: *Epinephelus tauvina* (Forsskål, 1775) (Perciformes, Serranidae).

Интенсивность и экстенсивность заражения: 1 экз. у 1 из обследованных рыб.

Индекс обилия: 1,0.

Место и время обнаружения: Вьетнам, о-в Катба, зал. Бакбо (Тонкинский), 21.07.2010 г.

Форма тела продолговатая (рисунок, а). Основание первой антенны 2-члениковое, базальный членик основания узкий, не расширен. Фронтальная пластинка узкая, пятиугольная; наличник большой, в форме полумесяца. Верхняя губа небольшая, ее ширина в два раза превышает длину. Мандибула с коротким зубом. Дистальный членик первой максиллы несет 2 когтевидных шипа с 2 небольшими шипиками между ними. Вторая максилла 2-члениковая. Внутренняя ветвь максиллипеда отсутствует, палепп 5-члениковый, средний членик не длинный. Передние грудные ноги имеют пильчатые когти. Плеотельсон и уроподы покрыты жесткими волосками (рисунок, б). Вершина плеотельсона округлая.



Alcirona krebsii самец (оригинал): а – дорсально; б – плеотельсон и уроподы
Alcirona krebsii male (uropodyoriginal): a – dorsally; б – pleotelson and uropods

Распространение и хозяева. Изопода *A. krebsii* – циркумтропический вид, распространена в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах; зарегистрирована на *Echidna nocturna*, *Epinephelus microdon*, *Pseudoscarus coeruleus*, *P. psittacus*, *P. superbus*, *Priacanthus macrophthalmus*, *Scarus* sp. [7, 8, 9, 10].

Изопода *A. krebsii* впервые зарегистрирована в водах Вьетнама.

Выводы

Описана новая для фауны Вьетнама изопода *Alcirona krebsii* Hansen, 1890, зарегистрированная на новом для нее хозяине *Epinephelus tauvina* (Forsskål, 1775).

Список литературы

1. Казаченко В.Н., Ковалева Н.Н., Nguyen V.T., Ngo H.D. Паразитические ракообразные рыб Вьетнама – Caligidae (Crustacea: Copepoda: Siphonostomatoida) // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток, 2013. – С. 238-250.
2. Казаченко В.Н., Ковалева Н.Н., Nguyen V.T., Ngo H.D. Новые находки паразитических ракообразных семейства Lernanthropidae (Crustacea: Copepoda: Siphonostomatidae) во Вьетнаме // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2013. – Т. 30. – С. 28-42.
3. Казаченко В.Н., Ковалева Н.Н., Thanh V.T., Ngo H.D. Таксономический обзор паразитических копепод (Crustacea: Copepoda) рыб Вьетнама // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2014. – Т. 31. – С. 20-30.
4. Kazachenko V.N., Kovaleva N.N., Ngo H.D., Ha N.V., Nguyen V.T. Redescription of three caligid species of the genus *Caligus* Müller, 1785 (Copepoda: Caligidae), parasites of marine fish *Decapterus* sp. (Perciformes: Carangidae) from Tonkin gulf, Vietnam // Journal of Biology, Vietnam (Tap Chi Sinh Hoc). – 2014. – Vol. 31 (1). – P. 1-10.
5. Kensley B., Schotte M. Guide to the marine isopod crustaceans of the Caribbean // Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., London, 1989. – P. 1-307.
6. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб: руководство по изучению. – Л.: Наука, 1985. – 121 с.
7. Richardson H. A monograph on the isopods of North America // Bul. US Nat. Mus. – 1905. – Vol. 54. – 727 p.
8. Delaney P. Phylogeny and biogeography of the marine isopod family Corallanidae (Crustacea, Isopoda, Phlebobranchia) // Nat. Hist. Mus. LA Country. – 1989. – № 409. – P. 1-75.
9. Levy J.M., Sullivan K.M., Garine-Wichatitsky M. Account of ectoparasites of Epenephelinae groupers in the Exuma Cays, Bahamas // Proceedings of the 45th Gulf and Caribbean Fisheries Institute. – 1989. – P. 418-432.
10. Al-Zubaidy A.B., Mhaisen F.T. The first record of four isopods from some Red Sea fishes, Yemeni coastal waters // Bull. Iraq Nat. Hist. Mus. – 2014. – Vol. 13 (1). – P.35-51.

Сведения об авторах: Казаченко Василий Никитич, доктор биологических наук, профессор, e-mail: vaskaz@hotmail.ru;
Ковалева Нина Николаевна, аспирант;
Фещенко Николай Васильевич, кандидат экономических наук, доцент;
Nguyen Vu Ha, IEBR, Hanoi, Vietnam.

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 534.222 : 629.127.4

Р.Н. Алифанов¹, И.А. Алифанова¹, А.А. Карпачев², П.А. Стародубцев²

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

²Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия
имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток),
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД И ДРОБНЫЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ УРАВНЕНИЯ

Представлены основные этапы формирования теории динамических процессов в электродинамике. Показано, что в настоящее время ощущается недостаточность традиционных физических моделей, ввиду отсутствия полного описания процессов обработки сигналов и полей с помощью формул классической математики, полученных на основе представления сигналов в пространствах целочисленных мер и гладких функций. Для получения новых математических зависимостей и в связи с созданием Б. Мандельбротом общей концепции фракталов появилась мысль о применении их в области радиофизики и радиолокации. В то же время с использованием достижений масштабной инвариантности: «скейлинга» и разделов современного функционального анализа, связанных с теорией множеств, теорией дробной размерности, общей топологией, геометрической теорией меры и теорией динамических систем, – открылись потенциальные возможности и перспективы в обработке многомерных сигналов и в родственных научных и технических областях, например, нелинейная гидроакустика. Для применения формул классической математики, полученных на основе представления сигналов в пространствах целочисленных мер и гладких функций, в статье предложен математический аппарат использования дробного интегро-дифференцирования в уравнениях электродинамики материальных сред. В основу таких предложений положены интегро-дифференциальные операторы Римана-Лиувилля и Капуто.

Ключевые слова: фракталы, скейлинг, дробное интегро-дифференцирование.

R.N. Alifanov, I.A. Alifanova, A.A. Karpachev, P.A. Starodubtcev ELECTRODYNAMICS OF MATERIAL MEDIA AND FRACTIONAL INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS

The article presents the main stages of the theory of dynamical processes in electrodynamics. It is shown that currently there is a lack of traditional physical models, due to lack of a complete description of the processing of signals and fields using the formulas of classical mathematics, obtained on the basis of representation of signals in the spaces of integral action and smooth functions. To receive new mathematical relationships and the establishment of the general concept by B. Mandelbrot fractals had the idea of applying them in the field of radio and radar. At the same time, the use of the achievements of scale invariance – "scaling" and sections of modern functional analysis related to the theory of sets of fractional dimension theory, general topology, geometric measure theory and the theory of dynamical systems, opened the potential and prospects in multidimensional signal processing and related scientific and technical fields, such as nonlinear underwater acoustics. To apply the formulas of classical mathematics, derived representation of signals in the spaces of integral action and smooth functions, the article proposed the use of the mathematical apparatus of fractional integro-differential equations of electrodynamics in material media. The basis of such proposals put integro-differential operators of the Riemann-Liouville and Caputo.

Key words: fractals, scaling, fractional integro-differentiation.

Введение

Открытия второй половины XX в. кардинально изменили наше представление о характере динамических процессов. Но в XXI в. явно ощущается недостаточность традиционных физических моделей, потому что полное описание процессов современной обработки сигналов и полей невозможно с помощью формул классической математики, полученных на основе представления сигналов в пространствах целочисленных мер и гладких функций [1].

Стационарные режимы и периодические движения долгое время считались единственно возможными состояниями, но в конце XX в. в связи с созданием Б. Мандельбротом общей концепции фракталов [1-3] возникла мысль о применении их в области радиофизики и радиолокации, что существенно изменило их теоретическую базу. Идеи масштабной инвариантности: «скейлинга» и разделов современного функционального анализа, которые связаны с теорией множеств, теорией дробной размерности, общей топологией, геометрической теорией меры и теорией динамических систем, – открывают большие потенциальные возможности и новые перспективы в обработке многомерных сигналов и в родственных научных и технических областях, таких как нелинейная гидроакустика.

Основная часть

В [4] представлен один из первых способов введения дробного интегро-дифференцирования в основные уравнения электродинамики материальных сред. В этой работе при дробном исчислении используются интегро-дифференциальные операторы Римана-Лиувилля и Капуто [4]. Оператор дробного интегро-дифференцирования Римана-Лиувилля порядка $\alpha \in R$ с началом в точке S функции $y(t)$ представляется в следующем виде:

$$D_{st}^{\alpha} y(t) = \text{sign}^n(t-s) \frac{d^n}{dt^n} D_{st}^{\alpha-n} y(t), \quad n-1 < \alpha \leq n, \quad n \in N, \quad \alpha > 0,$$

$$D_{st}^{\alpha} y(t) = \frac{\text{sign}(t-s)}{\Gamma(-\alpha)} \int_s^t \frac{y(\theta)}{|t-\theta|^{\alpha+1}} d\theta, \quad \Gamma(x) - \text{гамма-функция Эйлера}, \quad \alpha < 0,$$

$$D_{st}^{\alpha} y(t) = 0, \quad \alpha = 0.$$

Оператор Капуто (регуляризованная дробная производная) определяется с помощью равенства

$$\partial_{0t}^{\alpha} y(t) = \text{sign}^n(t-s) D_{st}^{\alpha-n} \frac{d^n}{dt^n} y(t), \quad n-1 < \alpha \leq n, \quad n \in N, \quad \alpha > 0.$$

Связь между операторами Римана-Лиувилля и Капуто дается соотношением

$$\partial_{0t}^{\alpha} y(t) = D_{st}^{\alpha} y(t) - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{y^{(k)}(s)}{\Gamma(k+1-\alpha)}, \quad n-1 < \alpha \leq n, \quad n \in N, \quad \alpha > 0. \quad (1)$$

Если выполняется равенство $y^{(k)}(s) = 0$, то операторы Римана-Лиувилля и Капуто тождественны. При целочисленном значении параметра α эти операторы также совпадают между собой и совпадают с обычными производными целого порядка.

В то же время в [5] вводится понятие d -оператора порядка $s \geq 0$, действующим над множеством степенных функций x^q , для которых выполняются условия: $s, q, x \in R$, $|s|, |q| = const < \infty$:

$$d^{-s}x : x^q = \frac{\Gamma(q+1)}{\Gamma(q+1-s)} x^{q-s}, q \notin N^-, q-s \notin N^-. \quad (2)$$

Очевидно, что данный оператор также является оператором дробного интегро-дифференцирования.

В [5] получена система уравнений Максвелла в дробных производных с использованием оператора Капуто. Заменим в данных уравнениях оператор Капуто на d -оператор порядка $s \geq 0$:

$$rot \mathbf{E} = -\frac{1}{\tau} d^{-s}t : \mathbf{B}; \quad div \mathbf{B} = 0; \quad (3)$$

$$rot \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{1}{\tau} d^{-s}t : \mathbf{D}; \quad div \mathbf{D} = \rho \quad (4)$$

и материальные уравнения среды [6]:

$$\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H}; \quad \mathbf{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \mathbf{E},$$

где \mathbf{E} – напряженность электрического поля, В/м; \mathbf{B} – магнитная индукция, Вб/м² (кг·с⁻²·А); \mathbf{H} – напряженность магнитного поля, А/м; \mathbf{D} – электрическая индукция, Кл/м²; \mathbf{j} – плотность тока, Кл/м²; ρ – плотность тока проводимости, Кл/м²; τ – калибровочный коэффициент для дробной производной; ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м; μ – относительная магнитная проницаемость среды.

Векторный потенциал \mathbf{A} вводится стандартно:

$$\mathbf{B} = rot \mathbf{A}.$$

Подстановка данного выражения в уравнение (3) приводит к формулам:

$$rot \mathbf{E} = -\frac{1}{\tau} d^{-s}t : (rot \mathbf{A}) = -\frac{1}{\tau} rot d^{-s}t : \mathbf{A} = rot \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s}t : \mathbf{A} \right); \quad div (rot \mathbf{A}) = 0.$$

Отсюда следует, что

$$rot \left(\mathbf{E} + \frac{1}{\tau} d^{-s}t : \mathbf{A} \right) = 0.$$

Так как ротор от градиента любой скалярной функции φ равен нулю, то выражение в скобках равно градиенту этой функции, т.е.

$$\left(\mathbf{E} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} \right) = \nabla \varphi, \text{ или } \mathbf{E} = -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi,$$

где φ – скалярный потенциал. В уравнениях (4) векторы \mathbf{H} и \mathbf{D} заменяются на их выражения через векторы \mathbf{B} и \mathbf{E} . В свою очередь, векторы \mathbf{B} и \mathbf{E} заменяются на векторный и скалярный потенциалы:

$$\text{rot} \left(\frac{\mathbf{B}}{\mu\mu_0} \right) = \mathbf{j} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : (\varepsilon\varepsilon_0 \mathbf{E}); \quad \text{div}(\varepsilon\varepsilon_0 \mathbf{E}) = \rho,$$

$$\text{или } \text{rot} \left(\frac{\text{rot} \mathbf{A}}{\mu\mu_0} \right) = \mathbf{j} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : \left(\varepsilon\varepsilon_0 \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi \right) \right); \quad \text{div} \left(\varepsilon\varepsilon_0 \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi \right) \right) = \rho.$$

Выполняются следующие преобразования данных уравнений:

$$\begin{aligned} \text{rot rot} \mathbf{A} &= \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \nabla \varphi = \\ &= \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \nabla \left(\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \varphi \right). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{div} \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi \right) = -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : (\text{div}) \mathbf{A} + \text{div} \nabla \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}. \quad (6)$$

Далее, не ограничивая общности, принимается условие калибровочной инвариантности:

$$\text{div} \mathbf{A} = \left(\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \varphi \right).$$

Использование данного условия для исключения скалярного потенциала φ в уравнении (5) и, наоборот, для исключения векторного потенциала \mathbf{A} в уравнении (6) позволяет получить следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \text{rot rot} \mathbf{A} &= \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \nabla (\text{div} \mathbf{A}), \\ -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \left(\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \varphi \right) + \text{div} \nabla \varphi &= \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}, \text{ или } -\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \varphi + \text{div} \nabla \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}. \end{aligned}$$

Из теории поля известно, что верны следующие выражения:

$$\text{rot rot} \mathbf{A} = \nabla (\text{div}) \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A}, \text{ и } \text{div} \nabla \varphi = \Delta \varphi.$$

С учетом первого выражения определяется уравнение для векторного потенциала:

$$\nabla(\operatorname{div}\mathbf{A}) - \Delta\mathbf{A} = \mu\mu_0\mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0\varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s}t : \mathbf{A} + \nabla(\operatorname{div}\mathbf{A}),$$

или

$$\Delta\mathbf{A} - \frac{\mu\varepsilon}{(c\tau)^2} d^{-2s}t : \mathbf{A} = -\mu\mu_0\mathbf{j}. \quad (7)$$

А с учетом второго выражения получают уравнение для скалярного потенциала:

$$\Delta\varphi - \frac{\mu\varepsilon}{(c\tau)^2} d^{-2s}t : \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (8)$$

где $c = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = 292\,792\,458$ м/с (скорость света в вакууме).

Уравнения (7) и (8) представляют собой уравнения с изменяющимся типом: при $s=1$ – гиперболический тип; при $s = 1/2$ – параболический тип. Такие уравнения в литературе называют диффузионно-волновыми уравнениями. Их решение можно получить методом функции Грина [7].

Анализируются свойства электромагнитного поля в диэлектрике с постоянными значениями ε и μ , исходя из диффузионно-волнового уравнения. Для этого записывается одномерное уравнение дробного порядка

$$d^{-2s}t : u(x,t) - \frac{(c\tau)^2}{\mu\varepsilon} \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = -\frac{(c\tau)^2}{\mu\varepsilon} \cdot \frac{\rho(x,t)}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (9)$$

где под функцией $u(x,t)$ понимается \bar{A} или φ . Уравнение (9) – линейное, и его частное решение можно представить в виде

$$u(x,t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot z(t),$$

где $z(t)$ – неизвестная функция, u_0 – комплексная амплитуда, k – компонент волнового вектора в направлении X . Подставляя это частное решение в (9), получаем уравнение

$$d^{-2s} : z(t) + \omega^2 z(t) = -\frac{\omega^2}{k^2} \cdot \frac{\rho(x,t)}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{u_0 \exp(ikx)}, \quad (10)$$

где $\omega = \frac{ck\tau}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ – безразмерная частота.

Решение уравнения (10) ищется обычным способом в виде степенного ряда [7]. Частным решением уравнения (10) является функция

$$z(t) = E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}),$$

где $E_{2s}(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\Gamma(2s \cdot n + 1)}$ – функция Миттага-Леффлера.

Дробное дифференцирование порядка $2s$ функции $z(t)$ приводит к выражению

$$\begin{aligned} d^{-2s} : z(t) &= d^{-2s} : E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}) = d^{-2s} : \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2 t^{2s})^n}{\Gamma(2sn + 1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2)^n}{\Gamma(2sn + 1)} d^{-2s} : t^{2sn} = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2)^n}{\Gamma(2sn + 1)} \frac{\Gamma(2sn + 1) \cdot t^{2sn - 2s}}{\Gamma(2sn + 1 - 2s)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2)^1 (-\omega^2)^{n-1} t^{2s(n-1)}}{\Gamma(2s(n-1) + 1)} = \frac{t^{-2s}}{\Gamma(-2s + 1)} - \omega^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2 t^{2s})^n}{\Gamma(2sn + 1)} = \\ &= \frac{t^{-2s}}{\Gamma(-2s + 1)} - \omega^2 E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}) = \frac{t^{-2s}}{(-2s)\Gamma(-2s)} - \omega^2 z(t). \end{aligned}$$

После подстановки результата дробного дифференцирования в уравнение (10) получаем [7]:

$$\frac{t^{-2s}}{2s\Gamma(-2s)} = \frac{\omega^2}{k^2} \cdot \frac{\rho(x, t)}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{u_0 \exp(ikx)}.$$

Отсюда определяется выражение для плотности тока проводимости:

$$\rho(x, t) = u_0 \exp(ikx) \frac{t^{-2s}}{2s\Gamma(-2s)} \frac{k^2 \varepsilon\varepsilon_0}{\omega^2}.$$

Таким образом, определяется решение

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}).$$

Отметим, что в нашем случае дробное интегро-дифференцирование и соответственно феноменологический параметр s учитывают влияние фрактальных свойств движения зарядов в диссипативной среде на создаваемое электромагнитное поле. При уменьшении S происходит затухание электромагнитных волн, причем при медленном диффузионном блуждании ($s < 1/2$) затухание имеет степенную асимптотику $E_{2s}(-t^2) \propto t^{2s} / \Gamma(-2s + 1)$, характерную для многих фрактальных систем [7, 8].

На рис. 1 в качестве примера показаны графики функции $E_{2s}(-t^{2s})$ для различных значений параметра $2s$. Если параметр $2s$ находится в интервале от 1 до 2, то по переменной t будем иметь периодическую функцию с частотой ω . Если параметр $2s$ находится в интервале от 0 до 1, то функция становится монотонно убывающей. Нетрудно заметить, что параметр $2s$ определяет скорость убывания функции.

Рассмотрим предельные случаи. Пусть $2s = 2$ (гиперболический случай). Тогда функция Миттага-Леффлера преобразуется в гиперболический косинус:

$$E_2(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\Gamma(2n + 1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\sqrt{y})^{2n}}{2n!} = ch(\sqrt{y}).$$

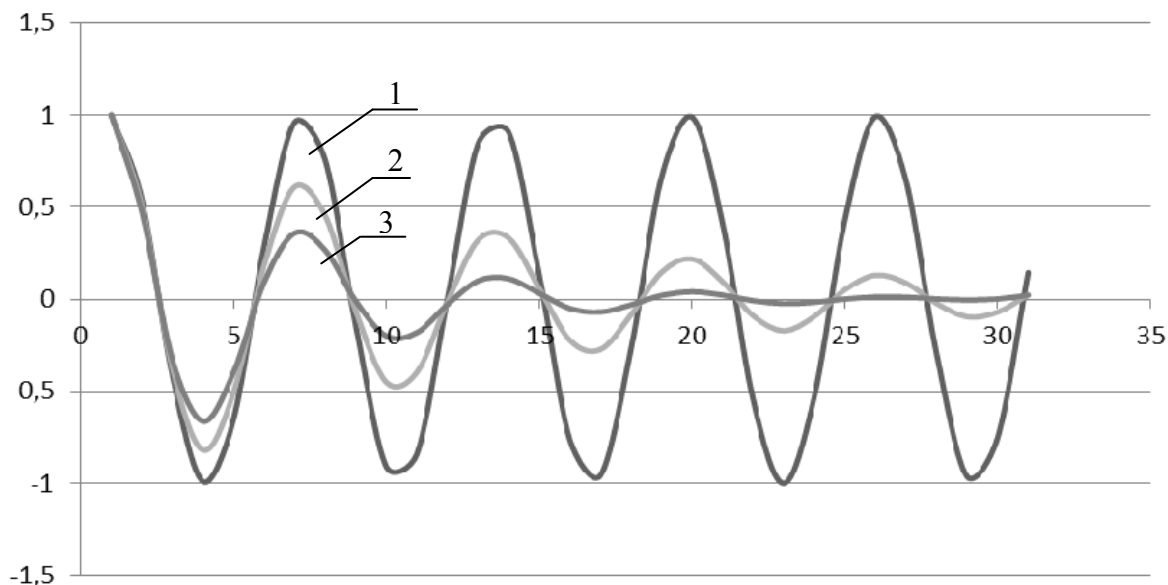


Рис. 1. Графики функции Миттага-Леффлера $E_{2s}(-t^{2s})$ при различных значениях параметра $2s$:
 1) $2s = 2$; 2) $2s = 1,9$; 3) $2s = 1,8$

Fig. 1. Graphs Mittag-Leffler $E_{2s}(-t^{2s})$ functions for different values of $2s$:

1) $2s = 2$; 2) $2s = 1,9$; 3) $2s = 1,8$

Следовательно, решение $u(x, t)$ будет иметь вид

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot E_2(-\omega^2 t^2) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot \operatorname{ch}\left(\sqrt{-\omega^2 t^2}\right) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot \operatorname{ch}(i\omega t)$$

Решение этого вида определяет плоскую монохроматическую волну, являющуюся периодической функцией по обоим переменным.

При $2s = 1$ (параболический случай) функция Миттага-Леффлера преобразуется в экспоненту:

$$E_1(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\Gamma(n+1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{n!} = \exp(y).$$

Следовательно, решение $u(x, t)$ будет иметь вид

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot E_1(-\omega^2 t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot \exp(-\omega^2 t) = u_0 \cdot \exp(ikx - \omega^2 t)$$

Данное решение является периодическим лишь по переменной x . Его также можно понимать как плоскую волну, но с убывающей по времени амплитудой.

Рассмотрим теперь свойства свободного электромагнитного поля в диэлектрике с постоянными значениями ϵ и μ , исходя из приведенного выше диффузионно-волнового уравнения. Для этого записывается одномерное однородное уравнение дробного порядка

$$d^{-2s}t : u(x, t) - \frac{(c\tau)^2}{\mu\varepsilon} \cdot \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) – линейное, и его частное решение также можно представить в виде

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot z(t),$$

где $z(t)$ – неизвестная функция, u_0 – комплексная амплитуда, k – компонент волнового вектора в направлении X . Подставляя это частное решение в (11), получаем уравнение

$$d^{-2s} : z(t) + \omega^2 z(t) = 0, \quad (12)$$

где $\omega = \frac{ck\tau}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ – безразмерная частота.

Решение уравнения (12) также ищется в виде степенного ряда [8]. В качестве частного решения этого уравнения выберем дробный полином порядка $2s$ степени m , как определено в [4]:

$$P_{2s/m}(t) = \sum_{n=0}^m a_n \cdot t^{2s(n+1)-1}, \quad a_n = \text{const}, \quad (n=0, 1, 2, \dots, m).$$

При взятии дробной производной порядка $2s$ от данного дробного полинома получаем:

$$\begin{aligned} d^{-2s}t : P_{2s/m}(t) &= d^{-2s}t : \sum_{n=0}^m a_n \cdot t^{2s(n+1)-1} = \sum_{n=0}^m a_n \cdot d^{-2s} : t^{2s(n+1)-1} = \sum_{n=0}^m a_n \frac{\Gamma(2s(n+1))}{\Gamma(2sn)} t^{2sn-1} = \\ &= a_0 \frac{\Gamma(1)}{\Gamma(0)} t^{-1} + \sum_{n=1}^m a_n \frac{\Gamma(2s(n+1))}{\Gamma(2sn)} t^{2sn-1} = 0 + \sum_{n=0}^{m-1} a_{n+1} \frac{\Gamma(2s(n+2))}{\Gamma(2s(n+1))} t^{2s(n+1)-1}. \end{aligned}$$

Здесь $\Gamma(0) = \infty$, поэтому первый член ряда равен нулю. Выбираем полином бесконечной степени, т.е. $m = \infty$, и потребуем выполнения условия

$$a_n = a_{n+1} \frac{\Gamma(2s(n+2))}{\Gamma(2s(n+1))}, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Отсюда следуют равенства

$$d^{-2s}t : P_{2s/\infty}(t) = P_{2s/\infty}(t), \quad a_n = \frac{1}{\Gamma(2s(n+1))}, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Теперь определяем функцию

$$K_{2s}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{t^{2s(n+1)-1}}{\Gamma(2s(n+1))} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{2sn-1}}{\Gamma(2sn)}.$$

Нетрудно убедиться в том, что для данной функции верны следующие выражения:

$$d^{-2s}t: K_{2s}(t) = K_{2s}(t) \text{ и } d^{-2s}t: K_{2s}(\theta t) = \theta^{2s} K_{2s}(\theta t),$$

где θ – константа.

В качестве частного решения уравнения (12) выбираем функцию

$$z(t) = K_{2s}(\theta t),$$

при этом значение константы θ определяется из уравнения

$$\theta^{2s} K_{2s}(\theta t) + \omega^2 K_{2s}(\theta t) = 0.$$

Отсюда получаем, что $\theta^{2s} = -\omega^2 = (i\omega)^2$, или $\theta = (i\omega)^{1/s}$.

Таким образом, определяется решение

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot K_{2s}((i\omega)^{1/s} t).$$

На рис. 2 в качестве примера показаны графики функции $k_{2s}(\omega, t) = (i\omega)^{1/s} K_{2s}((i\omega)^{1/s} t)$ для различных значений параметра $2s$ при $\omega = 1$.

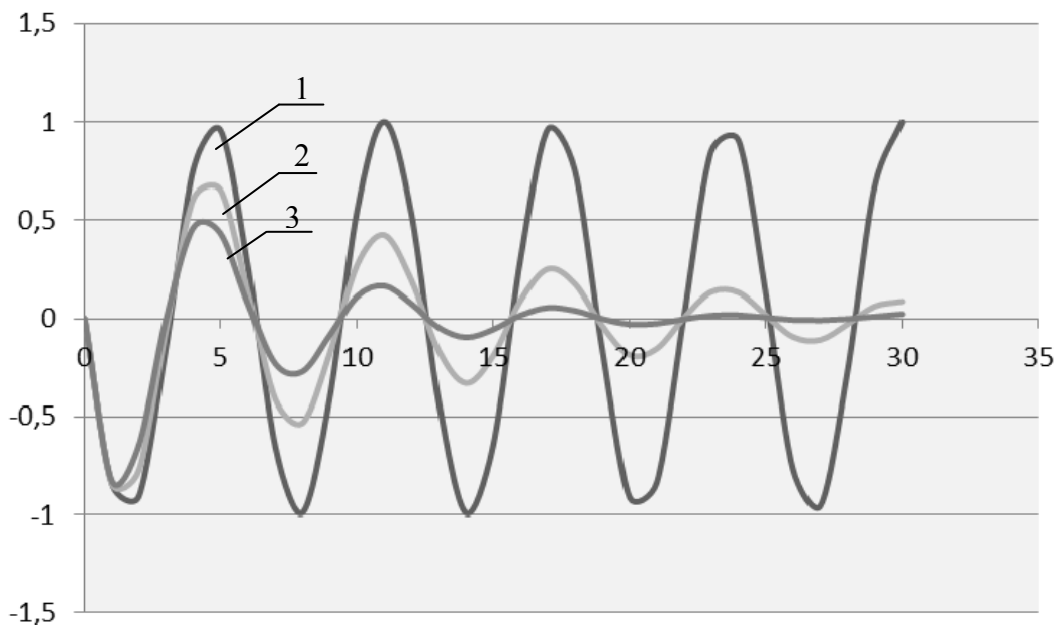


Рис. 2. Графики функции $k_{2s}(\omega, t)$ при различных значениях параметра $2s$:

- 1) $2s = 2$; 2) $2s = 1,9$; 3) $2s = 1,8$

Fig. 2. Graphs of the function with different values of parameters $2s$:

- 1) $2s = 2$; 2) $2s = 1,9$; 3) $2s = 1,8$

Отметим, что в нашем случае функция $K_{2s}(t)$ при предельном значении параметра $2s = 2$ (гиперболический случай) преобразуется в гиперболический синус:

$$K_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{2n-1}}{\Gamma(2n)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{2n-1}}{(2n-1)!} = sh(t).$$

Следовательно, решение $u(x, t)$ будет иметь вид

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot K_2((i\omega)^{1/s} t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot sh((i\omega)^{1/s} t).$$

Решение этого вида также определяет плоскую монохроматическую волну.

В параболическом случае $2s = 1$ и функция $K_{2s}(t)$ преобразуется в экспоненту

$$K_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{n-1}}{\Gamma(n)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{n-1}}{(n-1)!} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{t^n}{n!} = \exp(t).$$

Следовательно, решение $u(x, t)$ будет иметь вид

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot K_1((i\omega)^{1/s} t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot \exp((i\omega)^{1/s} t).$$

В заключении необходимо отметить следующее. Параметр S определяет не только фрактальные свойства движения зарядов, но и, в некотором смысле, может охарактеризовать фрактальность исследуемой диссипативной среды [9, 10].

Список литературы

1. Стародубцев П.А., Пичугин К.А., Василенко А.М. Узкополосное параболическое приближение для моделирования характеристик звукового поля движущейся возмущенной области: материалы 46 Всерос. межвуз. науч.-техн. конф. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2003. – С. 182-185.
2. Потапов А.А., Черных В.А. Дробное исчисление А.В. Летникова, теория фракталов и скейлинг / под ред. А.А. Потапова. – М.: Физматлит, 2009. – 820 с.
3. Стародубцев П.А., Мироненко М.В., Григорьев В.В. Акустическая голография и возможность ее применения в низкочастотной гидроакустической томографии океанской среды // Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружения и военной техники ВМФ. – Владивосток: ТОВВМУ им. С.О.Макарова, 1998. – Вып. 19. – С. 131-137.
4. Стародубцев П.А. Получение аналитического и графического отображения передаточной характеристики гидроакустического канала с использованием импульсных сигналов // Вестн. БГУ. – Улан-Удэ, 2003. – Вып. 2. – С. 107-112.
5. Потапов А.А. Фракталы, скейлинг и дробные операторы в радиотехнике и радиоэлектронике: современное развитие // Журн. радиоэлектроники. – 2010. – № 1. – С. 1-98.

6. Стародубцев П.А. Взаимодействие упругих и электромагнитных волн в проводящей морской среде // Море-2003: сб. докл. рег. науч.-практ. конф. – Владивосток: Тихоокеанская инспекция Российского Морского Регистра судоходства, 2003. – С. 100-104.

7. Чуриков В.А. Дополнительные главы анализа. Дробное интегрирование и дробное дифференцирование на основе d-оператора. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. – 118 с.

8. Стародубцев П.А., Пичугин К.А. Оптимизация процесса обработки гидролокационной информации методами нелинейной фильтрации // Научно-технические технологии. – 2004. – Т. 5, № 5. – С. 45-50.

9. Потапов А.А. Фракталы, скейлинг и дробные операторы как основа новых методов обработки информации и конструирования фрактальных радиосистем // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 5(77). – С. 3-19.

10. Стародубцев П.А., Карпачев А.А., Халаев Н.Л. Новые физические объяснения решений уравнений электродинамики материальных сред // Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружения и военной техники ВМФ: сб. науч. тр. – Владивосток: ВУНЦ ВМФ «ВМА» (филиал, г. Владивосток). – 2013. – Вып. 82, ч. 2. – С. 7-12.

Сведения об авторах: Алифанов Роман Николаевич, кандидат технических наук,
e-mail: gidra_518@mail.ru;

Алифанова Ирина Анатольевна, e-mail: shira_83@mail.ru;

Карпачев Александр Афанасьевич, заведующий кафедрой математики,
доктор технических наук, профессор, e-mail: K327065@yandex.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,
e-mail: spa1958@mail.ru.

УДК 534.222 : 629.127.4

Р.Н. Алифанов¹, И.А. Алифанова¹, С.В. Шостак², П.А. Стародубцев²¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток), 690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6**РАСЧЕТ ДЕКАРТОВЫХ КООРДИНАТ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ
ПО КРИВИЗНЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ПРИНЯТОГО СИГНАЛА**

Современные технологические решения пространственно-временной обработки принимаемых сигналов имеют массу трудностей, ограничений и приближений. Существенно значимыми являются инструментальные приближения, связанные с приведением волнового фронта принимаемого сигнала к прямолинейному состоянию. Они ограничивают возможность определения дальности действия измерительных гидроакустических систем, улучшение их разрешающей способности при наблюдении за окружающей обстановкой. Увеличение габаритов антенн приводит к тому, что пренебрегать кривизной волнового фронта в пределах зоны обнаружения сигнала многопозиционной приемной антенны становится невозможным. Это требует дополнительных теоретических исследований, позволяющих решить проблему учета кривизны волнового фронта принимаемых сигналов многопозиционными приемными антеннами. Измерительные системы, стоящие на кораблях, кривизну волнового фронта сигнала используют для улучшения качественных показателей. Опыт эксплуатации таких измерительных систем показывает, что она сильно проявляется при малых дальностях до наблюдаемого объекта как в случае ближней локации, так и при больших габаритных размерах приемной антенной системы, или систем разнесенного пассивного радиолокационного приема. В таких измерительных системах кривизна волнового фронта является дополнительным информационным параметром, характеризующим пространственно-временное состояние сигнала. Соответственно, использование кривизны волнового фронта сигнала, принимаемого измерительной системой, позволяет производить измерения детерминированной дальности и направления на удаленный объект.

Ключевые слова: кривизна волнового фронта, волновое поле, плоский фронт волны, пространственные координаты.

**R.N. Alifanov, I.A. Alifanova, S.V. Shostak, P.A. Starodubtcev
THE CALCULATION OF THE CARTESIAN COORDINATES
OF THE OFFSHORE FACILITIES IN THE CURVATURE
OF THE WAVEFRONT OF THE RECEIVED SIGNAL**

Modern technological solutions spatio-temporal processing of the received signals have a lot of difficulties, limitations and approximations. Essentially important are instrumental approach associated with bringing the wavefront of the received signal to the straight state. They limit the possibility of determining the range of the measurement sonar systems, improving their resolution by observing the surroundings. Increasing the size of antennas leads to the fact that neglect curvature of the wavefront within the area detection signal rocker receiving antenna becomes impossible. This requires additional theoretical studies to solve the problem of taking into account the curvature of the wavefront of the received signals multipositional receive antennas. Measuring the system on ships, the curvature of the wavefront of the signal used for the improvement of quality indicators. Experience in the operation of such measuring systems shows she pronounced at small distances to the observed object, as in the case of short-range location, and in large dimensions receiving antenna system, or systems spaced passive radar reception. In such systems, measuring the curvature of the wavefront is additional information parameter characterizing the space-time signal status. Accordingly, the use of the wavefront curvature of the signal received by the measuring system enables measurements determined distance and direction to a remote object.

Key words: curvature of the wave front, the wave field, a plane wave front, the spatial coordinates.

Расчет декартовых координат морских объектов по кривизне волнового фронта принятого сигнала

Измерительные радиолокационные или гидроакустические системы получают данные об удаленных морских объектах путем анализа характеристик волновых полей, которые создаются ими в результате собственного излучения или отражения от них зондирующих сигналов.

Структура и параметры принятого сигнала от волнового поля в области, где осуществляется такой анализ, зависят от положения подводного объекта относительно этой области и от его характеристик. Поэтому данное волновое поле несет практически всю информацию об его источнике.

Однако для получения данных о морском объекте используется не все волновое поле, излучаемое им, а только та его часть, которая попадает на приемную антенну измерительной гидроакустической системы. Воздействуя на элементы антенны, волновое поле образует пространственно-временной сигнал, который обрабатывается гидроакустической системой.

Основной задачей пространственно-временной обработки сигналов измерительной гидроакустической системой является анализ результирующего волнового поля для определения положения наблюдаемого подводного объекта, других его энергетических и пространственных характеристик: дальности и направления на подводный объект. Принципы построения измерительной гидроакустической системы и методы анализа их качества работы определяются существующими многочисленными теориями пространственно-временной обработки сигналов [1, 2]. Основные положения этих теорий позволяют проводить синтез и анализ пространственно-временных соотношений между габаритными размерами области наблюдения измерительной гидроакустической системой, т.е. L – областью «раскрыва» приемной антенны и R – «радиусом-вектором», определяющим положение источника сигнала.

При этом имеемые в теории и практике пространственно-временной обработки сигналов результаты получены, в основном, для простейшего состояния работы измерительной гидроакустической системы, когда принимаемый волновой фронт считается практически плоским в пределах L приемной антенны [1].

В то же время стремление разработчиков измерительных гидроакустических систем к увеличению их дальности действия, повышению разрешающей способности при наблюдении за подводными объектами и связанная с ними тенденция к увеличению размеров антенн приводит к тому, что в ряде случаев пренебрегать кривизной волнового фронта в пределах L приемной антенны практически невозможно.

Это, в первую очередь, относится к мультистатическим (многопозиционным) системам разнесенного приема сигналов от подводных объектов, так как для них большая часть всей рабочей области измерительной гидроакустической системы может находиться ближе границы дальней зоны, определяемой формулой $R_{д.з.} = 2L^2 / \lambda$, где λ – длина волны анализируемого сигнала [1, 2]. В таких мультистатических системах особенности, связанные с искривлением волнового фронта сигнала, проявляются особенно остро [2].

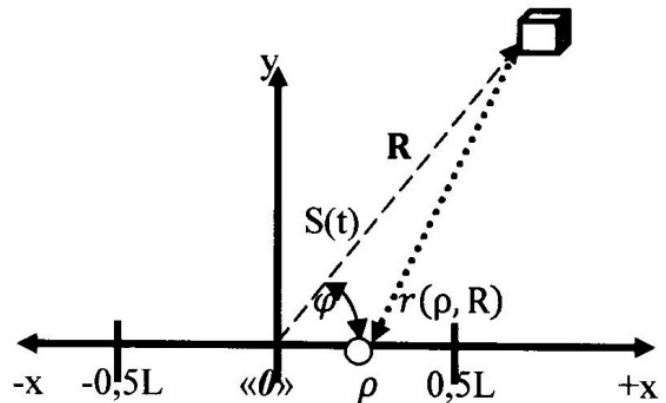
По этой причине математические выражения пространственно-временной обработки [1], полученные для гидроакустических волн с плоским волновым фронтом, в ряде случаев, особенно для мультистатической системы, оказываются недостаточно аргументированными и требуют дополнительного математического решения, что и будет предметом дальнейших рассуждений авторов статьи. А разработка физических основ и теоретического обоснования новых подходов определения пространственных координат объекта по кривизне волнового фронта в измерительной гидроакустической системе имеет важное для современной гидроакустики прикладное значение.

Ниже рассмотрим новое математическое решение для определения пространственных координат подводного объекта по кривизне волнового фронта в измерительной гидроакустической системе на основе анализа мгновенной частоты, формируемой на апертуре антенны гармоническим эхосигналом [3].

Примем в качестве упрощенной модели предлагаемого решения «точечную модель» на основе изотропно излучающего подводного объекта, который создает в однородной безграничной среде сферическую волну. Такая модель является основой для анализа сигналов реальных морских объектов (соответственно подводных объектов), так как эти объекты во многих случаях хорошо описываются моделью в виде некоторого набора «блестящих точек» [4, 5]. В то же время соотношения, справедливые для точечного объекта, применимы и для малоразмерных объектов, если их величины много меньше элемента разрешения системы пространственно-временной обработки сигналов [1, 2, 6].

Для теоретического описания процесса формирования волновых полей антенной системой построим графическую модель, состоящую одновременно из декартовой (x, y) и полярной (R, φ) систем координат (рисунок), где R – «радиус-вектор», определяющий положение источника сигнала; L – область задания функции «раскрыва» приемной антенны; $r, (\rho, R)$ – радиус некоторой точки ρ приема гармонического эхосигнала в области L .

Расчет декартовых координат морских объектов по кривизне волнового фронта принятого сигнала
The calculation of the Cartesian coordinates of the offshore facilities in the curvature of the wavefront of the received signal



Пусть из начала координат «0» такой графической модели излучается зондирующий сигнал $S(t)$ вида

$$S(t) = \text{Re}\{S_3(t)\} = A \text{Re}\{S_0(t)\} = A \text{Re}\{\exp(j2\pi f_0 t)\}, \quad (1)$$

где A – коэффициент, пропорциональный коэффициенту усиления излучающей антенны; $S_3(t)$ – комплексный зондирующий сигнал; $S_0(t)$ – комплексный сигнал единичной мощности; f_0 – несущая частота излученного сигнала.

Как было определено выше, рассматриваемый малоразмерный объект является изотропно излучающим подводным объектом. Поэтому при его эквивалентном радиусе поле давления в обозначенной нами ранее некоторой точке ρ «раскрыва» L приемной антенны будет определяться следующим математическим выражением (2):

$$S(t, \rho, R) = \frac{B}{r(\rho, R)} \text{Re}\left\{S_0\left(t - \frac{R + r(\rho, R)}{c}\right) \exp(j\Psi)\right\}, \quad (2)$$

где $B = \sqrt{R_0}$ – постоянный множитель; c – скорость звукового сигнала в воде; $\frac{B}{r(\rho, R)}$ – амплитудный множитель; Ψ – изменение (или набег) фазы гидроакустической волны при отражении от ПО.

Если левую и правую части постоянного множителя B умножить на функцию $\exp(j\Psi)$, то полученное выражение $B\exp(j\Psi) = \sqrt{R_0} \exp(j\Psi)$ можно интерпретировать как «комплексный коэффициент отражения сигнала от подводного объекта». Тогда из (2) следует, что поле на «раскрыве» антенны несет информацию о местоположении объекта, определяемом вектором R или полярными координатами R, φ .

Пронормировав амплитуды принятых гидроакустических сигналов в различных точках «раскрыва» антенны (от $-0,5L$ до $+0,5L$) по отношению к амплитуде сигнала в точке начала координат «0», амплитудный множитель можно записать в виде

$$\frac{B}{Rr(\rho, R)} = \frac{aR}{r(\rho, R)}, \tag{3}$$

где a – значение этого множителя в начале координат «0» при $r = R$.

Используя выражения (1), (3) и обозначив $\hat{a} = a \exp(j\Psi)$, получим поле, создаваемое малоподвижным изотропно излучающим точечным подводным объектом:

$$S(t, \rho, R) = \text{Re} \left\{ \frac{\hat{a}R}{r(\rho, R)} S_0 [t - (R + r(\rho, R))/c] = \text{Re} \left\{ \frac{aR}{r(\rho, R)} \exp \left[j2\pi f_0 \left(t - \frac{R + r(\rho, R)}{c} \right) + j\Psi \right] \right\} \right\}. \tag{4}$$

В случае пассивной локации источников излучения за начало координат принимается фазовый или геометрический центр приемной антенны. Тогда поле источника в точке ρ приемной антенны будет

$$S(t, \rho, R) = \text{Re} \left\{ \frac{c_1}{r(\rho, R)} U(t - (r(\rho, R) - R)/c) = \exp [j2\pi f_0 (t - r(\rho, R) - R/c)] \right\}, \tag{5}$$

где $\text{Re}[U(t)\exp(j2\pi f_0 t)]$ – сигнал, излучаемый источником; $U(t)$ – комплексная огибающая сигнала источника; c_1 – амплитудный множитель, который, как правило, неизвестен.

Как видно из [2, 7, 8], свойства обрабатываемого пространственно-временного сигнала и его математическое описание зависят от вида и степени кривизны волнового фронта в пределах «раскрыва» антенны.

Если положение объекта задано в полярной системе координат, то расстояние $r(\rho, R)$ рассчитывается по следующей математической формуле:

$$r(\rho, R) = (R^2 + \rho^2 - 2R\rho \cos \varphi)^{1/2}. \tag{6}$$

Из (6) можно получить приближенное математическое выражение, обуславливающее значения $r(\rho, R)$ в зоне Френеля, для линейной антенны путем его разложения в степенной ряд. Затем, ограничиваясь только членами второго порядка, как представлено в [2], $r(\rho, R)$ можно описать следующим образом:

$$r(\rho, R) = R - \rho \cos \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi / 2R. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (4), получим гармонический пространственно-временной сигнал следующего вида:

$$\begin{aligned} S(t, \rho, R) &= \operatorname{Re} \left\{ \frac{\bar{a}R}{r(\rho, R)} S_0 \left(t - \frac{2}{c} (2R - \rho \cos \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi / 2R) \right) \right\} = \\ &= \operatorname{Re} \left\{ \frac{aR}{r(\rho, R)} \exp \left[j2\pi f_0 \left(t - \frac{1}{c} (2R - \rho \cos \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi / 2R) \right) + j\Psi \right] \right\} =, \quad (8) \\ &\operatorname{Re} \left\{ \frac{aR}{r(\rho, R)} \exp [j2\pi f_0 t + j\Psi] \exp \left[-jk_0 (2R - \rho \cos \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi / 2R) \right] \right\}, \end{aligned}$$

где $k_0 = \frac{2\pi}{c} f_0$ – волновое число.

Из (8) видно, что данный сигнал представляет собой факторизуемую функцию времени и координат подводного объекта, т.е. разлагается в произведение функции времени и функции координат. Поэтому возможно проведение обработки принятого гармонического пространственно-временного сигнала отдельно по временной координате и отдельно по пространственной координате.

Для обоснования процесса обработки данного сигнала в качестве примера по пространственной координате и подтверждения смысла всего вывода в целом возьмем антенную систему в виде заполненной линейной решетки длиной L , ориентированную вдоль оси x и проходящую через точку «0» (см. рисунок). Пространственная фаза такого сигнала вдоль оси x на антенне будет иметь вид

$$\Theta(x) = -k_0 \left(2R - x \cos \varphi + \frac{x^2 \sin^2 \varphi}{2R} \right) = k_0 x \cos \varphi - \frac{k_0 \sin^2 \varphi}{2R} x^2 - \Theta_0, \quad (9)$$

где $\Theta_0 = 2k_0 R$ – начальная фаза принятого сигнала.

Из (9) достаточно просто можно получить мгновенную пространственную частоту сигнала, которая в том случае определяется выражением [9]

$$\omega(x) = \frac{d\theta(x)}{dx} = k_0 \cos \varphi - \frac{k_0}{R} x \sin^2 \varphi. \quad (10)$$

Для полной локализации источника колебаний в пространстве требуется рассчитать величины R и ω . Определение направления на источник φ производится путем обращения выражения (10) для $\omega(x)$ по x

$$\omega(-x) = k_0 \cos \varphi + \frac{k_0}{R} x \sin^2 \varphi. \quad (11)$$

Складывая выражения (10) и (11), приходим к соотношению

$$\cos \varphi = [\omega(x) + \omega(-x)] / 2k_0, \quad (12)$$

из которого направление на источник φ рассчитывается следующим образом:

$$\varphi = \arccos \left[\frac{\omega(x) + \omega(-x)}{2k_0} \right]. \quad (13)$$

Найдем теперь выражение для определения дальности до объекта. Для этого возьмем вторую производную по x от выражения (10)

$$\omega'(x) = \frac{d\omega(x)}{dx} = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} = -\frac{k_0}{R} \sin^2 \varphi. \quad (14)$$

Тогда из формулы (14) следует, что дальность до объекта определяется математической формулой следующего вида:

$$R = -\frac{k_0 \sin^2 \varphi}{\omega'(x)} = -\frac{k_0}{\omega'(x)} [1 - \cos^2 \theta] = \frac{k_0}{\omega'(x)} (\cos^2 \theta - 1) = \frac{k_0}{\omega'(x)} \left[\left(\frac{\omega(x) + \omega(-x)}{2k_0} \right) - 1 \right]. \quad (15)$$

Такой подход к определению пространственных координат подводного объекта по кривизне волнового фронта принятых измерительной гидроакустической системой сигналов показывает, что кроме отрицательных последствий, накладываемых на их работу, ее учет имеет и положительные моменты.

Кривизну волнового фронта сигнала можно использовать для улучшения качественных показателей технических систем, если она в пределах «раскрыва» антенны хорошо выражена. Это сильно проявляется при малых дальностях до наблюдаемого объекта как в случае ближней локации, так и при больших габаритных размерах приемной антенной системы (для случая с мультистатической системой) или систем разнесенного пассивного радиолокационного приема. В этих технических системах кривизна волнового фронта является дополнительным информационным параметром, характеризующим пространственно-временное состояние сигнала. Соответственно использование кривизны волнового фронта сигнала, принимаемого технической системой, позволяет производить измерения детерминированной дальности и направления на удаленный объект.

В настоящее время известно, что российскими учеными разработана и изготовлена радиолокационная станция, в которой используется монохроматический сигнал при измерении дальности до объекта по кривизне волнового фронта отраженного сигнала без использования информации о времени его запаздывания [10].

Не секрет также, что в гидролокаторах бокового обзора марки «Sidescan sonar» фирмы Klein Association Inc (США) для определения дальности до морского объекта используется метод динамической фокусировки в режиме приема эхосигналов. В этом методе путем вве-

дения фазового распределения по апертуре фокусное расстояние антенны изменяется во времени и равно текущему значению дальности, с которой в данный момент приходит сигнал. Пространственная разрешающая способность при этом повышается благодаря тому, что сфокусированная антенна воспринимает эхосигнал не от всей освещенной зондирующим импульсом площади, а только от ее более узкой части, ограниченной фокусным пятном.

Основным достоинством предложенных технологических решений является то, что в них проводится обработка сигналов со сферическим волновым фронтом.

Есть также возможность подавления внешних полей за счет пространственной селекции по дальности. Это хорошо в случаях, когда наблюдаемые морские объекты и источники помех находятся на одном пеленге и их разрешение по угловым координатам затруднительно [2].

Список литературы

1. Гусев В.Г. Системы пространственно-временной обработки гидроакустической информации. – Л.: Судостроение, 1988. – 264 с.
2. Булатов В.Н. Спектральная характеристика для обобщенного сигнала с динамическими параметрами // Анализ структур электронной и вычислительной техники: межвуз. сб. науч. тр. – Оренбург: ОГТУ, 1995. – С. 25–30.
3. Антенны. Научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Антенная секция: сб. – М.: Связь, 1979. – Вып. 27.
4. Долгих В.Н., Бойко К.П. Отклик случайной антенны на воздействия случайного сигнала и помехи // Основы статистической теории направленности дискретных приемных антенн. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2000. – С. 96–102.
5. Гусев В.Г., Лоскутова Г.В. Об использовании алгоритма двумерного быстрого преобразования Фурье для обработки информации от линейной антенной решетки // Радиотехника и электроника. – 1982. – Т. 27, № 12. – С. 2362–2366.
6. Пространственно-временная обработка сигналов / под ред. И.Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
7. Бьерне Л. Неоднородности и нестабильность распространения звука под водой // Подводная акустика и обработка сигналов / под ред. Л. Бьерне; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – С. 32–42.
8. Стародубцев П.А., Шостак С.В., Богданов В.И. Об одном свойстве двумерного преобразования Фурье // 38 Всерос. межвуз. науч.-техн. конф.: сб. докл. – Владивосток: ТОВВМУ, 1995. – Т. 1. – Ч. 1. – С. 193–197.
9. Иидзука К., Огура Х., ЯньДж.Л., Ван-Кхай Н. // ТИИЭР. – 1976. – Т. 64, № 10. – С. 45–58.
10. Бурдик Вильям С. Анализ гидроакустических систем. – Л.: Судостроение, 1988. – 392 с.

Сведения об авторах: Алифанов Роман Николаевич, кандидат технических наук, e-mail: gidra_518@mail.ru;
Алифанова Ирина Анатольевна, e-mail: shira_83@mail.ru;
Шостак Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент;
Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: spa1958@mail.ru.

УДК 551.463.21

Е.Н. Бакланов¹, М.В. Мироненко², П.А. Стародубцев³¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований
Дальневосточного отделения Российской академии,
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25³Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия
имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток),
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

НЕКОТОРЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ

Приводятся результаты исследования рассеивающих свойств морских организмов и результаты натурных измерений объемного рассеяния звука, произведенных в разных районах Мирового океана, влияние на него видового и количественного состава морской фауны. Дан анализ слуховых и ориентационных способностей рыб с целью обнаружения и управления поведением биологических объектов.

Ключевые слова: *рассеивающие свойства, морской организм, акустический раздражитель, поведенческая реакция.*

E.N. Baklanov, M.V. Mironenko, P.A. Starodubtcev SOME ACOUSTIC FEATURES OF MARINE BIOLOGICAL OBJECTS AND THEIR USE FOR DETECTION

The results of a study of the scattering properties of marine organisms and the results of field measurements of volumetric scattering of sound made in different parts of the ocean, the impact of specific and quantitative composition of marine fauna are presented. Given the analysis of hearing and orientation abilities of fish for the purpose of detection and behavior management.

Key words: *scattering properties, marine organism, acoustic stimulus, behavioral response.*

Акустико-механические свойства тела любых организмов, обитающих в водах океана, в большей или меньшей степени отличаются от соответствующих свойств морской воды [1]. Это позволяет рассматривать каждый морской организм как дискретную неоднородность для обнаружения, а их скопление – как объемную морскую неоднородность. По аналогии с искусственными объектами такой подход позволяет обнаруживать их методами активной высокочастотной и низкочастотной локации.

Количественной характеристикой рассеивающих свойств отдельного морского организма, или ЗРС, может быть его поперечное сечение рассеяния. Эта величина определяется двумя факторами:

- структурой тела и акустической контрастностью его тканей по отношению к воде;
- относительным размером рассеивателя l/λ (где l – его размер, а λ – длина акустической волны).

При морских измерениях чаще всего ограничиваются сечением рассеяния в обратном (локационном) направлении σ^I . Анализ результатов многочисленных лабораторных измерений и модельных расчетов величин σ^I [1] позволил оценить характерные области значений сечений рассеяния наиболее распространенных морских организмов (рис. 1).

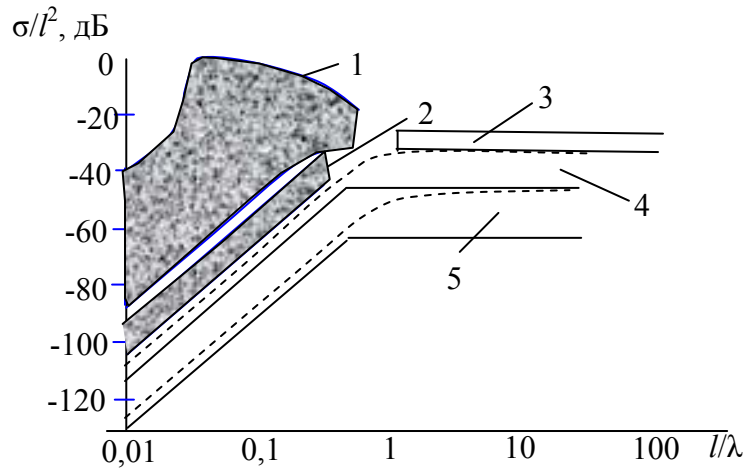


Рис. 1. Сечение обратного рассеяния мелких морских организмов: 1 – рыб с плавательным пузырем; 2 – рыб без пузыря; 3 – рыб групп 1 и 2; 4 – рачков; 5 – медузоподобных организмов
 Fig. 1. Backscattering cross section of small marine organisms: 1 – fish with swim bladder; 2 – fish without bladder; 3 – fish groups 1 and 2; 4 – crustaceans; 5 – jellyfish

Шкалы в относительных единицах позволяют объединять характеристики организмов одного типа независимо от их размеров. Ширина каждой заштрихованной области определяется типичными вариациями величин σ^I , не учитываемыми принятой нормировкой. При $l \gg \lambda$ величина σ^I слабо зависит от частоты, примерно пропорциональна l^2 и сильно изменяется при смене ракурса облучения. При $l / \gg 1$ зависимость от ракурса пропадает, но сечение рассеяния организмов без газовых полостей почти сразу начинает уменьшаться как l^6 / λ^4 . Для рыб с газонаполненным плавательным пузырем частотная зависимость сечения рассеяния имеет более сложный характер. Полость пузыря является акустическим резонатором с резонансной частотой [1]:

$$f_p \cong \frac{1}{\pi a} \cdot \left(\frac{P + \mu_{CD}}{\rho} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где a – радиус сферы, равной по объему газовой полости пузыря, причем $a \cong (0,04 \dots 0,06)l$; P – статическое давление, определяемое глубиной обитания рыбы; μ_{CD} – модуль сдвига тканей тела; ρ – плотность воды, примерно равная плотности тканей [1].

Резонансные явления развиваются в области значений $l / \ll 0,02 \div 0,8$, что в ЗРС соответствует единицам кГц. Здесь величина σ^I достигает максимальных (резонансных) значений, а форма индикатрисы практически сферична. Эффекты резонанса приводят к сдвигу начала резкого падения величин σ^I в область $l \ll \lambda$. Практически это и определяет доминирующую роль в ЗРС рыб с пузырями при рассеянии звука на частотах в единицы кГц (размеры рыб и других обитателей ЗРС редко превышают 15 см).

И стаи рыб, и ЗРС океана удобно описывать величиной силы слоя, характеризующей рассеивающие свойства их вертикальной колонки единичного сечения [1]:

$$I_L(f_p, z_1, z_2) = \int_{z_1}^{z_2} S_c(f_p, z_1, z_2) dz, \quad (2)$$

где S_c – коэффициент объемного обратного рассеяния; z_1 и z_2 – глубины верхней и нижней границ неоднородности.

При низкой концентрации организмов в ЗРС можно ограничиться приближением однократного рассеяния, и тогда величине S_c соответствует отношение суммы сечений σ^I к рассеивающему объему. Для более плотных скоплений, например, стай рыб, это приближение может оказаться недостаточным. Критерием, определяющим необходимость учитывать эффекты многократного рассеяния, является требование, накладываемое на соотношение длины r пробега звука в пределах скопления и величины полного коэффициента объемного рассеяния S_0 [1]:

$$r \leq r_{cr} = S_0^{-1}. \tag{3}$$

Условие (3) может нарушаться в промысловых скоплениях мелких рыб и рачков [1]. Из-за недостатка количественных данных о фауне ЗРС вся информация об их акустических свойствах была получена в ходе прямых натуральных измерений величин коэффициента S_c и силы слоя I_L в разных районах океана [1]. Как правило, измерения охватывали глубины от 150...200 м до 1,0...1,5 км. Основная часть всех исследований была проведена в диапазоне частот от 2–3 до 20 кГц. Общее число измерений, выполненных отечественными исследователями в Мировом океане, во много раз превышает число опубликованных данных, включая зарубежные. На рис. 2 приведены частотные зависимости силы слоя ЗРС, измеренные в светлые часы суток в разных районах Мирового океана [1]. Характерной особенностью почти всех кривых является резкое возрастание силы слоя при увеличении частоты от 2–3 до 5–7 кГц и относительно слабая частотная зависимость при дальнейшем повышении частоты.

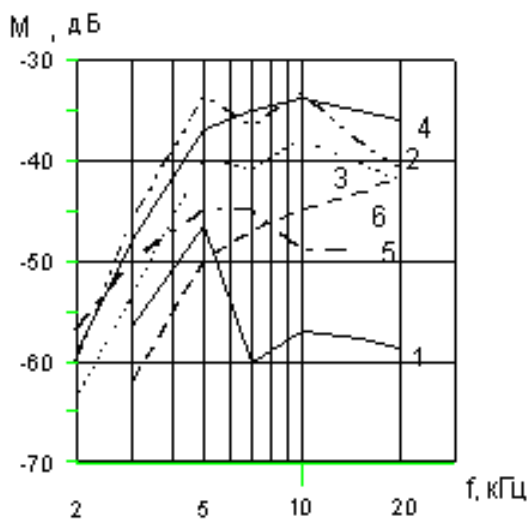


Рис. 2. Частотная зависимость силы слоя ЗРС в разных океанах. Атлантический: 1 – подходы к Гибралтару; 2 – экваториальная зона. Индийский: 3 – Аравийское море; 4 – около 3° ю.ш. 63° в.д. Тихий: 5 – Прикамчатский район; 6 – Восточная котловина

Fig. 2. Frequency dependence of scattering properties layers in different oceans. Atlantic: 1 – approaches to Gibraltar; 2 – equatorial zone. Indian: 3 – Arabian Sea; 4 – about 3° S and 63° E. Pacific: 5 – Kamchatka region; 6 – East Basin

Доказано, что участок быстрого роста величины I_L соответствует попаданию частоты зондирования в область резонансных явлений [1]. Отсутствие в ЗРС более крупных организмов определяет низкий уровень рассеяния на частотах в 2–3 кГц и ниже; для большей части методов измерений он близок к пороговому значению, около -65 дБ. Если на частотах выше резонансной области уровень рассеяния возрастает, то это свидетельство присутствия в фауне слоя большего числа относительно мелких организмов, например, рачков и рыб, размеры которых по мере повышения частоты оказываются сопоставимы с длиной волны λ , и их ткани постепенно начинают доминировать в процессе рассеяния звука в ЗРС. Ход кривой I_L на

этих частотах и ее средний уровень зависят от района океана, т.е. от видового и количественного состава фауны слоя; средний уровень силы слоя варьируется в широких пределах – от -35 до -60 дБ (см. рис. 2) [1].

К географическим зонам с интенсивными ЗРС относится большая часть Индийского океана; экваториальная зона Атлантики, ее восточные воды, прилегающие к африканскому континенту, и воды, лежащие на северо-востоке от о-ва Ньюфаундленд, примерно между Северным полярным и Северным субполярным фронтами; в Тихом океане это, в первую очередь, восточная часть северной тропической зоны и воды Перуанского течения.

К зонам слабых ЗРС [1] относятся воды циклонических круговоротов Атлантического и Тихого океанов, и Тихий океан, севернее, примерно, 50° с.ш. Помимо изменений интенсивности ЗРС глобальных масштабов, в ряде районов океана существуют резкие локальные изменения, связанные, по крайней мере, с двумя факторами – с границами водных масс и с уменьшением глубин дна вблизи островов и мелководных банок. В качестве примера приведены изменения характеристик ЗРС при пересечении фронтальной зоны в западной части Тихого океана, расположенной вдоль $40^\circ - 45^\circ$ с.ш. К северу от нее регистрируются два слоя на глубинах 400–600 м (основные частоты рассеяния 5–7 кГц) и 1–2 км (частота около 4 кГц). К югу от фронтальной зоны нижний слой исчезает, а верхний почти не изменяется. Другой пример локальной изменчивости наблюдался в Атлантике при пересечении банки Метеор в светлое время суток.

Вдали от банки ЗРС на частоте 5 кГц регистрировались на глубинах 500–900 м при силе слоя около -60 дБ. При приближении к банке и уменьшении глубины дна нижняя граница слоев фактически отслеживала глубину места, причем коэффициент рассеяния сохранялся неизменным. Донное поднятие как бы «разрезает» слой, не меняя его структуру в пределах изменяющейся глубины дна.

Однако в верхней части слоя, остававшейся над дном банки, величина коэффициента рассеяния заметно увеличивалась, что привело и к росту силы слоя на 6–7 дБ. После прохода банки картина слоев полностью восстанавливалась. Для звукорассеивающих слоев характерны ежесуточные вертикальные миграции. В светлое время они находятся в глубинах океана, а после захода солнца поднимаются к поверхности. Амплитуда этих миграций максимальна в тропиках (многие сотни метров) и уменьшается по мере продвижения к северу или к югу. Около 50° как северной, так и южной широт миграции замирают и звукорассеивающие слои круглые сутки остаются на неизменных глубинах. При вертикальных миграциях изменяется и вид кривых I_L . При подъеме рыб область их резонансов сдвигается влево и, следовательно, растет уровень рассеяния на частотах ниже 5 кГц. На высоких частотах, где доминирует рассеяние на живых тканях, уровень рассеяния при миграциях практически не изменяется [1].

Вертикальная структура (внутренняя стратификация) ЗРС глубокого океана в дневные часы достаточно сложна, зависит от района, и везде, как правило, существует несколько слоев, различающихся глубинами и преимущественными частотами рассеяния на этих глубинах. Данные о внутренней стратификации ЗРС пока не систематизированы, и мы ограничимся несколькими частными примерами.

В Мировом океане широко распространены слои, резонирующие в дневные часы на частотах вблизи 5 кГц. Типичные глубины их дневного залегания на низких и средних широтах составляют около 600–800 м. На акваториях вблизи Гольфстрима такие слои неоднократно регистрировались на глубинах от 900 до 1200 м, где оказывалась сосредоточенной основная масса рассеивателей, до 80–90 %, если считать по абсолютным значениям величины I_L на частоте 5 кГц. В опытах, где по тем или иным причинам такие глубины зондирования оставались недоступными, могут получаться сильно заниженные значения силы слоя. ЗРС с основными частотами рассеяния 15–20 кГц обычно наблюдаются на меньших глубинах, до

500–700 м. Звук, рассеянный на промежуточных частотах 7–12 кГц, приходит с глубин обоих слоев, а на частотах 3 кГц и ниже – только от слоя с основной частотой 5 кГц. В интервалах между рассеивающими слоями уровень объемного рассеяния ниже пороговой чувствительности метода измерений. Несколько измерений было выполнено к западу от Португалии на глубинах 3–5 км. Объемное рассеяние звука на этих глубинах оказалось очень низким и не зависело от времени суток; коэффициент S_c на всех частотах оставался на несколько порядков меньше, чем в ЗРС. При ночном подъеме все слои приближаются к поверхности, сливаясь в слабо стратифицированную массу, где коэффициент объемного рассеяния на всех частотах постепенно уменьшается с глубиной. Отследить тенденцию всех этих изменений с помощью существующих акустических средств на больших расстояниях достаточно проблематично.

Еще одним интересным направлением обнаружения и управления поведением биологических объектов могут быть знания слуховых и ориентационных способностей рыб в естественных условиях и, следовательно, их реакция на акустические сигналы и шумы. Все это позволяет прогнозировать поведение рыб разных экологических групп в полях искусственных раздражителей, в том числе и чисто акустических.

Большой интерес представляют исследования по локализации рыбами звуковых сигналов, определению значимых для них акустических раздражителей, их частотно-временных характеристик, а также сравнительная оценка возможностей восприятия при различии морфологических особенностей строения органов слуха. Физиологическая акустика рыб, роль которой недооценивалась ранее даже в морской экологии, оказалась весьма полезной в системных исследованиях по рыболовству [1].

Механизмы формирования поведения рыб рассматриваются на фоне природных адаптаций (принципы самоорганизации, заложенные в основу организации всего живого). Только в таком аспекте технические проекты в области рыболовства могут быть наделены биофизическим содержанием и, следовательно, адекватны природным законам.

Способность рыб воспринимать звуки была экспериментально обоснована и опубликована в работах [1], в которых, применяя различные методы исследований, демонстрируется чувствительность различных видов рыб к акустическим сигналам [2].

Предложены две основные чувствительные системы как акустические рецепторы: лабиринт и боковая линия [2]. В совокупности это составляет акустико-латеральную систему, осуществляющую связь организма с внешней средой. С помощью этих органов чувств воспринимается внешнее раздражение, которое передается в центральную нервную систему. Существенную роль в восприятии акустических сигналов выполняет плавательный пузырь, представляющий собой ограниченный эластичными стенками газовый пузырь эллипсоидальной формы. Важная роль плавательного пузыря в реализации слуховой функции подтверждается тем, что рыбы, обладающие плавательным пузырем, демонстрируют более развитые слуховые возможности по сравнению с беспузырными [2].

Соединение плавательного пузыря с внутренним ухом осуществляется при помощи Вебера аппарата – четырех пар подвижно сочлененных косточек. Органы чувств системы боковой линии являются полифункциональными механорецепторами, воспринимающими потоки воды, вибрации и перепады давления. Многими авторами были получены факты [2], говорящие о способности боковой линии рыб воспринимать низкочастотные звуковые волны. Электрофизиологические исследования подтвердили возможность восприятия боковой линией смещений звукового и инфразвукового диапазонов. Из анализа материалов о морфофункциональной деятельности органов, ответственных за формирование поведения рыб, можно резюмировать эквивалентной схемой взаимодействия внешних источников акустических сигналов с внутренней системой жизнедеятельности рыб.

Среда обитания рыб характеризуется определенными физическими условиями, которые влияют на распространение акустических сигналов (собственные шумы, соленость, глубины, растворенные и взвешенные вещества, рельеф дна, расстояние от излучателя до биологического приемника, температура и т.д.), поэтому до поступления информации на слуховые рецепторы рыб от генератора сигналов их интенсивность и спектральный состав претерпевают изменения.

Источником раздражения рыб могут являться как сигналы, издаваемые биологическими объектами, судами, орудиями лова, так и средствами интенсификации лова, например, акустические сигналы от пневмоизлучателей «Дельфин», «Сардина», «Сардина-2», «Лосось», «Корюшка» и других, влияние которых на реакции рыб оценивалось количественно и в сравнительном плане [2].

Значимость воздействия акустических сигналов на рыб и слуховые способности оценивались безусловно рефлекторными реакциями по изменению электрокардиограммы и условно рефлекторными реакциями с первоначальным обучением и дальнейшим наблюдением за изменением поведенческих реакций изучаемых объектов [2, 3].

Для освоения нового в рыболовстве метода электрофизиологической оценки реакций рыб на различные стимулы и определения критериев оценки был поставлен эксперимент по выживанию объекта в экспериментальных условиях и адекватности его реакций на внешнее воздействие после адаптации к новым условиям, в том числе с денервацией органов восприятия [4].

Для освоения методики изучения реакций рыб по ЭКГ и поведению была проведена специальная работа [4–8]. При предъявлении акустического стимула для рыб (приманка, угроза) может происходить увеличение или уменьшение числа сокращений сердечной мышцы. Существенным фактором при получении информации через звуковые сигналы является латентный период, т.е. временной интервал, необходимый объекту для ответной реакции – замирания сердца. В тех случаях, когда сигнал служит как приманка (брачные игры, пищевые реакции и т.п.), т.е. действие сигнала вызывает положительную реакцию объекта и его движение в сторону источника звука, на ЭКГ замирание сердца может отсутствовать. Напротив, если аудиосигнал несет информацию об опасности или угрозу для объекта исследования (рыб), то на ЭКГ наблюдается временной интервал замирания сердечной мышцы, и чем более значима информация угрозы, тем длительность замирания больше.

Если существует возможность одновременно с ЭКГ определять и поведенческие реакции, то мы можем судить о значимости акустического сигнала по нескольким параметрам. Может изменяться скорость и направление движения объекта, количество сокращений сердечной мышцы в одну секунду, длительность и количество замираний, латентный период. Эти параметры дают возможность определять степень воздействия звуковых сигналов на животных, позволяют определить время, при котором наступает адаптация объекта к сигналам. Наличие замираний сердцебиения и латентного периода является одним из отличительных признаков, который позволяет судить о качестве аудиосигнала (является ли он приманкой или угрозой для рыб), быстроте ответной реакции, об участии структур слуха в идентификации полезного сигнала и ориентации. На рис. 3 показана электрокардиограмма скумбрии [4–8].

Реакция пелагических рыб, а именно: подвижность в бассейне без ориентации на источник, повышенная частота сокращений сердца, большая длительность замирания – появляется в ответ на предъявление звукового сигнала дельфинов от преобразователя на твердой основе [4–8]. Но еще больше реакция усиливается (бросковые движения от источника, многократные и длительные замирания сердца, укороченный латентный период, т. е. мгновенная реакция) при имитации сигнала дельфина от пневмоизлучателя.

Отключение (денервация) одного из рецепторов приводит к усилению роли другого, что подтверждает природный механизм дифференцированного переключения детекторов слуха в условиях, когда снижается разрешающая способность одного из них.

Сигналы привлекающего значения вызывают повышение скорости, поисковые движения объекта в бассейне, увеличение частоты сердцебиений и длительное возбуждение.

Полученные материалы исследований дают весьма полезные сведения о способностях рыб ориентироваться в сложных акустических полях [4–8]. Это позволяет полнее характеризовать природные адаптации объекта или промысловый процесс.

Сложный стимул поступает через лабиринт и механорецепторы боковой линии в головной мозг.

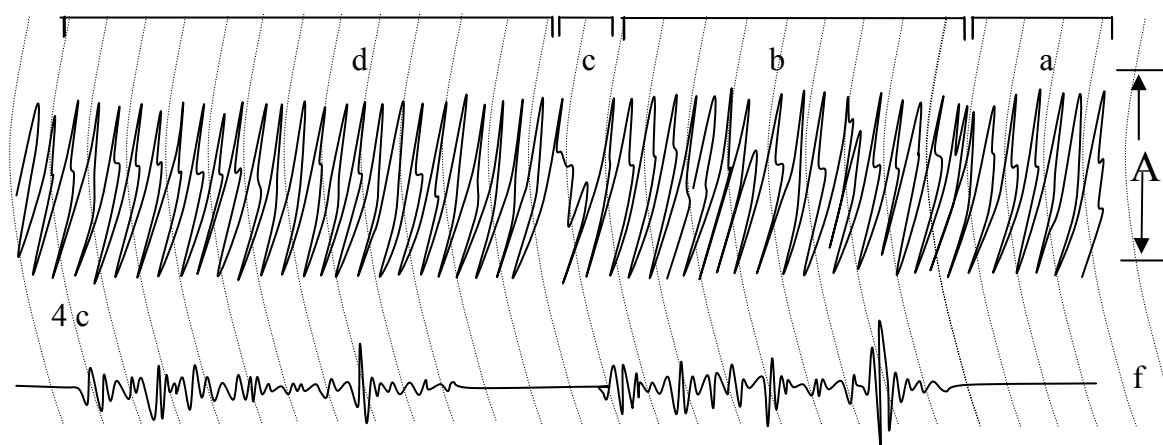


Рис. 3. ЭКГ скумбрии с хорошо выраженным замиранием сердца и латентным периодом; А – амплитуда сокращений сердечной мышцы; f – запись осциллограммы предъявляемого сигнала; a, b, c, d – сектора ЭКГ, соответствующие определенному физиологическому состоянию объекта [4–8]

Fig. 3. Electrocardiogram of mackerel with a distinct sinking heart and a latent period

A – amplitude of the contractions of the heart muscle; f – waveform record charge against signal; a, b, c, d – sectors of the electrocardiogram corresponding to a specific physiological state of the object

Органы, отвечающие за восприятие и локализацию звуковых сигналов, имеют селективный характер восприятия в определенном диапазоне частот и при достаточных их уровнях. Сигналы, несущие угрозу, как правило, отличаются значительными величинами звукового давления, сигналы привлекающего действия имеют более низкие уровни интенсивностей. Поэтому пороговая чувствительность рыб (в том числе отношение п/ш) имеет важное значение при использовании акустических средств управления поведением рыб (особенно приманок).

Определение пороговой чувствительности рыб позволяет оптимизировать диапазон рабочих частот при разработке моделей излучателей. Действительно, как показывают эксперименты, спектры биологически значимых сигналов находятся в диапазоне максимальной чувствительности рыб [4–8]. Ограниченное использование звуков в промышленном рыболовстве указывает на сложность этой проблемы и необходимость тщательного изучения всех особенностей слуха и отношения различных рыб к звуку.

Исследованы слуховые способности семи видов дальневосточных промысловых рыб в диапазоне частот от 20 до 5200 Гц [4–8]. На основании полученных данных построены аудиограммы, т.е. графики зависимости слуховых порогов от частоты (рис. 4). Все уровни звукового давления рассматриваются относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

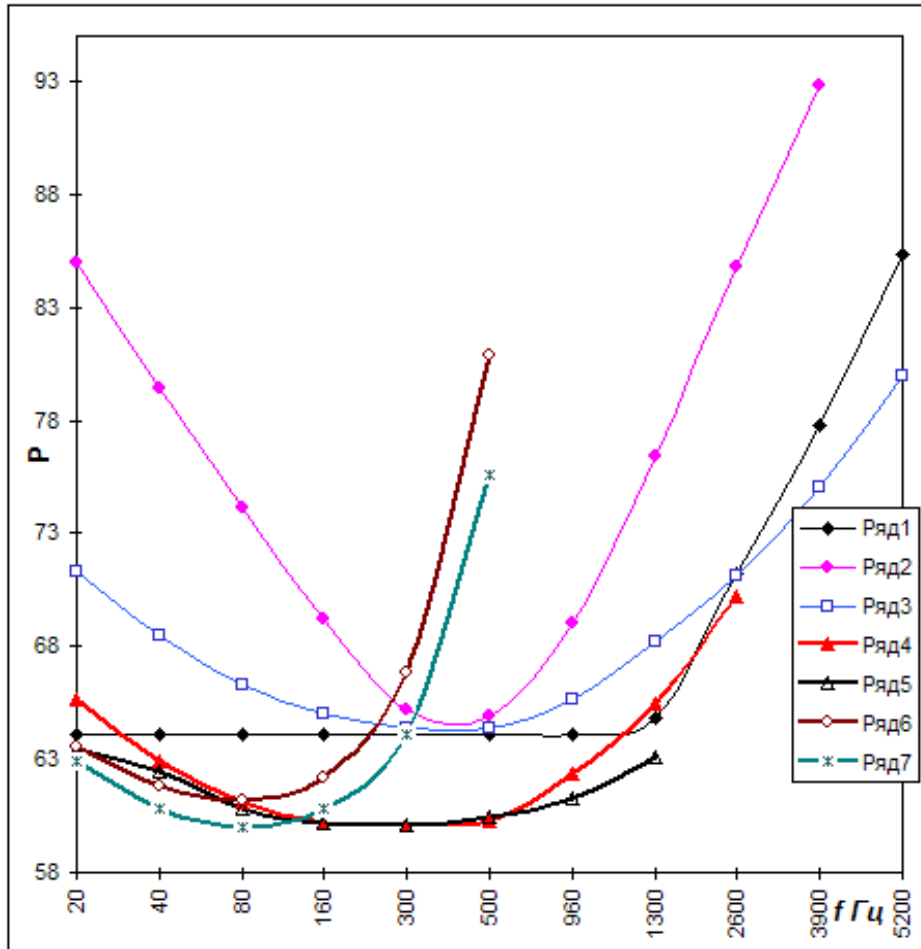


Рис. 4. Аудиограммы семи видов дальневосточных промысловых рыб:
 ряд 1 – аудиограмма восточного морского ерша (*Sebastes taczanowskii steind*);
 ряд 2 – аудиограмма японской скумбрии (*Scomber japonicus*);
 ряд 3 – аудиограмма тихоокеанской сельди (*Clupea harengus pallasi (Val.)*);
 ряд 4 – аудиограмма тихоокеанской сардины (*Sardinops sagax melanosticta*);
 ряд 5 – аудиограмма дальневосточной красноперки (*Leuciscus brandti (dybouski)*);
 ряд 6 – аудиограмма звездчатой камбалы (*Pleuroneetes stellatus*);
 ряд 7 – аудиограмма южного одноперого терпуга (*Pleurogrammus azonus*) [4–8]

Fig. 4. Audiogram of seven species of Far Eastern food fish:
 row 1 – audiogram of eastern sea perch ерша (*Sebastes taczanowskii steind*);
 row 2 – audiogram of chub mackerel (*Scomber japonicus*);
 row 3 – audiogram of pacific herring (*Clupea harengus pallasi (Val.)*);
 row 4 – audiogram of the Pacific sardine (*Sardinops sagax melanosticta*);
 row 5 – audiogram of Far East rudd (*Leuciscus brandti (dybouski)*);
 row 6 – audiogram of captive star flounder (*Pleuroneetes stellatus*);
 row 7 – audiogram southern mackerel терпуга (*Pleurogrammus azonus*) [4-8]

Из аудиограмм видно, что на частотах 160–960 Гц наблюдается максимальная чувствительность у таких видов рыб, как тихоокеанская сельдь (*Clupea harengus pallasi (Val)*), тихоокеанская сардина (*Sardinops sagax melanosticta*). Для японской скумбрии (*Scomber japonicus*) максимальная чувствительность находится в диапазоне частот 300–500 Гц. Знание аудиограмм, полученных при известных уровнях окружающего шума, и зависимостей между ве-

личиной порога и уровнем окружающего спектрального или полосового шума очень важно при анализе поведения в различных акустических полях, в частности, при оценке влияния на поведение промысловых рыб различных высокочастотных и низкочастотных просветных сигналов.

Приведенные эксперименты показали, что тихоокеанская сардина в ответ на сигнал частотой 800 Гц во всех случаях его предъявления приближалась к источнику [4–8]. Скорости ее перемещения по бассейну резко возрастали. Аналогичная закономерность поведения и распределения по бассейну была отмечена у сельди [4–8], когда предъявлялся сигнал, адекватный по спектрально-временным характеристикам сигналам сельди. Нужно заметить, что эти сигналы имеют наиболее плотное спектральное заполнение на частотах вблизи 800 Гц, что представляет некоторую аналогию биологическим сигналам сельди [4]. Таким образом, проведенные эксперименты показывают, что получая информацию (в данном случае изменяющийся звуковой сигнал в диапазоне частот 700–850 Гц) и определяя рецепторами его интенсивность, рыбы могут ориентироваться на источник и проявлять направленную двигательную активность [4–8]. Акустический излучатель «Корюшка» [4–8] позволяет управлять поведением молоди различных видов рыб, а также вести промышленный промысел [4–8].

Движение рыб в воде сопровождается гидродинамическими колебаниями сложной формы. Основным движителем у рыб является хвостовой плавник. В результате движения рыб колеблющийся хвостовой плавник создает завихрения определенной частоты следования [4–8]. В экспериментах [4–8] скорость движущихся рыб варьировала в пределах 0,15–0,20 м/с, а средняя частота колебаний, создаваемых рыбами при движении, составляет $f_{cp} = 1,8$ Гц, тогда длина волны этого колебания равна $l_{cp} = 800$ м. Огибающая модуляционного сигнала от излучателя «Корюшка» представляет сложное колебание изменяющейся интенсивности, его полный цикл по времени составляет 1,5 с и, соответственно, $f_{сигн.} = 0,7$ Гц, а $l = 2060$ м. Из полученного расчета можно предположить, что объект ориентируется на дистанции до 330 м от источника звука, так как это расстояние находится в ближнем поле, где сигналы могут восприниматься рецепторами боковой линии, а объект определять направление на источник сигнала [4–8]. Необходимо отметить, что расчеты показывают сходство сигналов по частоте, создаваемых рыбами при движении, с колебаниями, изменяющимися по интенсивности, представляющими собой огибающую модуляционного сигнала, издаваемого излучающим устройством «Корюшка».

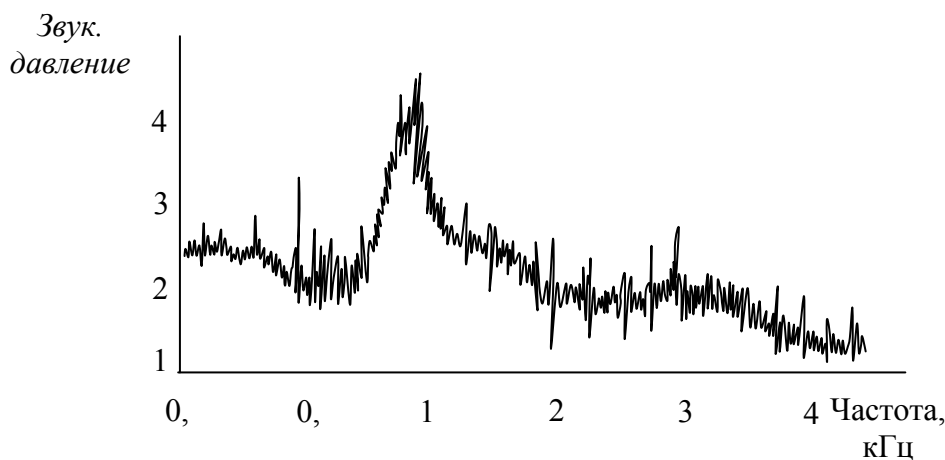


Рис. 5. Спектрограмма звуков особей сельди [4]
Fig. 5. Spectrogram sounds of herring individuals [4]

При создании акустических устройств для управления ловом рыб частотно-временной интервал действующих имитаторов звуков рыб выбирался таким образом, чтобы изменяющаяся интенсивность этого сигнала находилась в диапазоне, близком к собственным колебаниям, генерируемым объектом при движении. Это способствует более действенной взаимосвязи биологического объекта с акустическим полем в результате получаемой информации рецепторами боковой линии, возбуждает объект и, в конечном итоге, выражается направленной двигательной реакцией рыб на акустический сигнал. Таким образом, знание морфофизиологических особенностей органов звуковосприятия и органов звукообразования рыб, определение биологически значимых акустических стимулов (параметров), влияющих на поведение рыб, позволяют моделировать акустические излучатели, имитирующие адекватные сигналы, и обрабатывать системы управления поведением рыб на промысле.

Список литературы

1. Андреева И.Б. и др. Акустические свойства плотных скоплений пелагических животных в океане // Акустический журн. – 1994. – Т. 40, № 1. – С. 9-16.
2. ВМС США разрешили губить морских млекопитающих // Русская Америка (по материалам журнала). – 2002. *Jul* 19.
3. Анисимова И.М., Лавровский В.В. Ихтиология. – М.: Высш. шк., 1983.
4. Кузнецов Ю.А. Системный принцип постановки биотехнических задач. Оптимизация техники и тактики промысла / Ю.А. Кузнецов // Исслед. по оптимизации рыболовства и совершенств. орудий лова. – М.: ВНИРО, 1985. – С. 8-21.
5. Бахарев С.А. Способ повышения эффективности промысла морских биологических объектов / С.А. Бахарев, В.В. Поленюк, М.Л. Пуленец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2000. – Вып. 13. – С. 21-25.
6. Протасов В.Р. Биоакустика рыб. – М.: Наука, 1965. – 207 с.
7. Бахарев С.А. О возможности поиска скоплений беспозвоночных по их шумовым полям / С.А. Бахарев, Ю.А. Кузнецов, В.В. Поленюк // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2000. – Вып. 13. – С. 16-21.
8. Генератор гидроакустических сигналов «Дельфин: а.с. № 654920 СССР » / Ю.А. Кузнецов, А.И. Гореликов (СССР).

Сведения об авторах:

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru;

Мироненко Михаил Владимирович, ведущий сотрудник, доктор технических наук, профессор, e-mail: professor@mail.primorye.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: spa1958@mail.ru.

УДК 639.2.081

А.И. Шевченко¹, А.А. Майсс², О.В.Акимова²¹Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ СЕЛЕКТИВНОСТИ
ТРАЛОВЫХ СИСТЕМ НА ПРОМЫСЛЕ МИНТАЯ**

Селективность является важнейшей составляющей регулирования рыболовства. Она характеризует степень направленности отбора гидробионтов определенных характеристик из облавливаемого пространства. Обеспечение высоких селективных качеств орудий лова имеет решающее значение в организации устойчивого промысла.

Ключевые слова: трал, селективность, селективные решетки.

A.I. Shevchenko, A.A. Maiss, O.V. Akimova**ANALYSIS OF EXISTING MEANS****FOR THE SELECTIVE TRAWL POLLOCK FISHERY SYSTEMS**

Selectivity is the most important component of fisheries management. It characterizes the degree of directional selection aquatic certain characteristics of the fished area. Ensuring high quality selective fishing gear is crucial in sustainable fishing.

Key words: trawl, selectivity, selective grid.

Введение

Регулирование современного отечественного промысла минтая находится на достаточно высоком уровне. Это подтверждают и ведущие мировые эксперты, которые проводили оценку промысла минтая в Охотском море на предмет выдачи экологического сертификата по стандартам Морского попечительского совета. И, как известно, в сентябре 2013 г. такой сертификат был получен Ассоциацией добытчиков минтая на траловый промысел минтая в Охотском море.

Однако, учитывая, что сырьевые запасы дальневосточного минтая постоянно находятся под интенсивным воздействием промысла, мы считаем, что один из важнейших параметров промысла минтая, такой, как селективность, требует особого внимания и принятия кардинальных мер. Это обусловлено низким уровнем селективности промысла в целом и низкими селективными качествами применяемых рыболовных тралов, что приводит к высоким приловам неполовозрелой молодежи минтая.

Анализ существующих средств обеспечения селективности траловых систем

В современном рыболовстве известен целый ряд конструктивных решений, направленных на достижение заданных селективных качеств траловых систем. Наиболее ярким примером осуществления целенаправленной видовой селективности является промысел креветки донными тралами. Для этой цели в направляющей части трала устанавливается специальная жесткая решетка-сепаратор или селективная сетная перегородка и предусматриваются окна для свободного выхода рыбы из трала. Принцип разделения объектов лова основан на различной плавательной способности и разнице в их размерах. В тралах для лова креветки при-

меняется и система из двух селективных решеток. Первая вертикальная решетка в этом случае также служит для отсортировки рыбы от креветок, вторая – для отсортировки мелкой креветки. Крупная креветка не может пройти через узкие прорезы в нижней части решетки, поднимается вверх и проходит через отверстия в верхней части решетки в траловый мешок. Мелкая креветка проходит через узкие прорезы в нижней части и выходит через специальное отверстие в нижней части тралового мешка, отделенного от остальной части тралового мешка мелкоячеистой сетью наклонной перегородкой (рис. 1).

Другим примером видовой селективности может служить способ уменьшения прилова тресковых рыб при облове камбаловых донными тралами, используемыми в рыболовстве Канады [1]. Для этого применяются два совершенно различных конструктивных решения.



Рис. 1. Сортирующая решетка для отсортировки рыбы от креветок
Fig. 1. Sorting grid for sorting fish from shrimp

Первый способ – специальная конструкция трала, которая исключает попадание в траловый мешок каких-либо объектов, кроме камбаловых. Второй способ – установка селективных решеток в трале непосредственно перед траловым мешком.

Принцип селективности в специальной конструкции трала состоит в том, что в отличие от традиционного донного трала в предлагаемой конструкции трала грунтотроп с нижней подборой выдвигается вперед по отношению к верхней подборе, т.е. имеет место донный трал, «перевернутый» сквером вниз. Необходимо отметить, что этот способ неоднократно использовался камчатскими рыбаками с судов типа РС-300 на лове камбалы еще в 70-е гг., когда в целях увеличения уловистости, при наличии ровного грунта в районе промысла, рыбаки оснащали типовые донные тралы сквером вниз.

В процессе лова таким тралом треска, напуганная движением выдвинутых вперед грунтотропа и нижней пласти, поднимается вверх и беспрепятственно уходит над верхней подборой трала, камбала же не отрывается высоко от дна и поэтому облавливается тралом.

Действие траловой системы с селективной решеткой основано на различии поведения камбаловых и тресковых рыб. Камбаловые или зарываются в грунт, или плавают у самого дна, а тресковые поднимаются значительно выше. В мотне трала помещают селективную решетку, в верхней части которой отверстия выполнены вертикально, чтобы через них свободно выходила треска, а в нижней – горизонтально, чтобы легко проходили камбаловые. Перед решеткой устанавливается наклонная сеть, направляющая всю рыбу к решетке. За селективной решеткой мешок трала подсоединяется напротив ее нижней части, где находятся

горизонтальные отверстия. Тресковые, проходя через вертикальные отверстия в верхней части решетки, выходят из трала, а камбаловые не могут пройти, опускаются вниз и, пройдя решетку через горизонтальные отверстия в нижней ее части, попадают в траловый мешок.

Другой вариант отделения тресковых от камбаловых – этим же способом, используется, когда необходимо наоборот облавливать треску и камбаловые выпускать. Внутри мотни перед селективной решеткой такой же конструкции помещают круговой сетной конус с выходным отверстием у верхней части решетки. За решеткой траловый мешок подсоединяется напротив только к верхней ее части. Треска проходит через верхнюю часть решетки и попадает в траловый мешок, а камбала задерживается решеткой, опускается к нижней ее части и через горизонтальные отверстия выходит наружу.

Для выпуска из тралов морских животных используется простое устройство в виде сетного желоба, который помещают перед траловым мешком. Желоб делают из крупноячейной дели или металлической сетки. Рыбы и креветки в процессе траления беспрепятственно проходят через крупную ячею желоба в траловый мешок, а морские животные по желобу уходят из трала через специальное отверстие в верхней пласти мотни трала.

Таким образом, имеется довольно большое многообразие конструктивных решений, обеспечивающих видовую селективность траловых систем. Наибольшее практическое использование в современном рыболовстве имеют следующие способы повышения селективных качеств тралов:

уровень селективности задается внутренним размером ячеи и ее формой;

окна «датского» типа – прямоугольные вставки из сетного полотна с «зеркальным» расположением ячеи. Окна этого типа устанавливаются по боковым сторонам тралового мешка. Они применяются на промысле трески в Балтийском море;

окна «шведского» типа – прямоугольные вставки из сетного полотна с квадратной формой ромбовидных ячей, так называемых T90 (рис. 2), задаваемой коэффициентами посадки 0,707/0,707. Окна устанавливаются аналогично «датским», по боковым сторонам мешка. Они применяются на промысле трески.

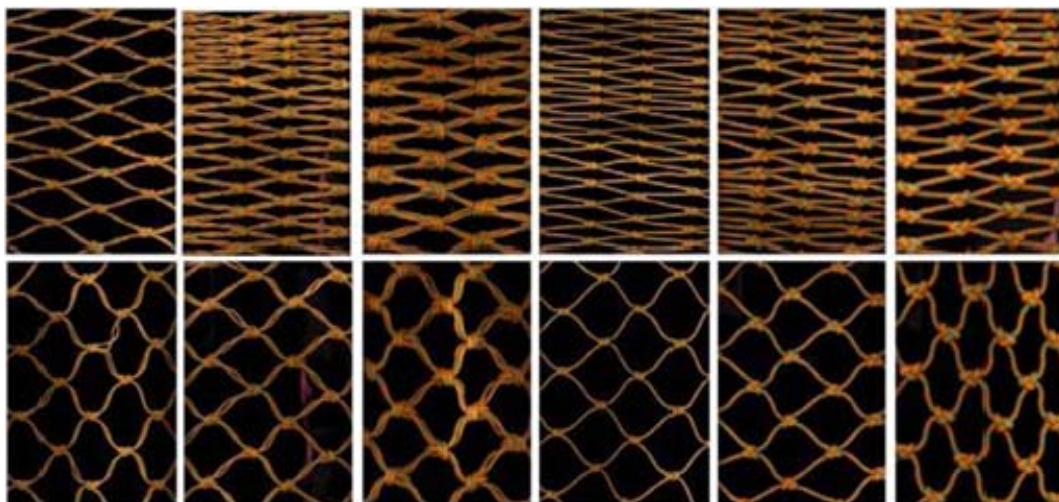


Рис. 2. Дели, используемые для 12 разных кутков
Fig. 2. Delhi used for 12 different codend

Вверху: 6 различных делей, посаженных в направлении T0 градусов. Внизу: 6 различных делей, посаженных в направлении T90 градусов (ICES, 2011).

Минимальный размер ячеи.

Селективные свойства сетных полотен во многом определяются физико-механическими свойствами материала, из которого они изготовлены. Прохождение рыб через ячеи сетеполотен из различных материалов отличается вследствие разных коэффициентов удлинения нитей под воздействием нагрузок [2]. В приказе № 314 указание на сетематериалы из монопоней и других сетематериалов не дает ясного представления, о каких именно материалах идет речь, и нуждается в дополнительном уточнении. Термин «монопоня» обычно указывает на технологический признак изготовления нитей сетного полотна. Сетные полотна из монопоней могут изготавливаться из различных видов синтетических материалов и по различным технологиям и, соответственно, иметь различные свойства. Поэтому следует конкретизировать зависимость селективных качеств сетных полотен от вида материала (полиамид, полипропилен, полиэтилен), технологии его изготовления (узловые, безузловые: плетено-плетеные, кручено-плетеные) и диаметра нитей, образующих сетные полотна мешка [3].

Коническо-цилиндрические вставки.

Цилиндрические селективные вставки из сетного полотна с «зеркальным» расположением ячеи устанавливаются между мотеной частью трала и траловым мешком (рис. 3.). Применяются на промысле минтая в США и РФ.

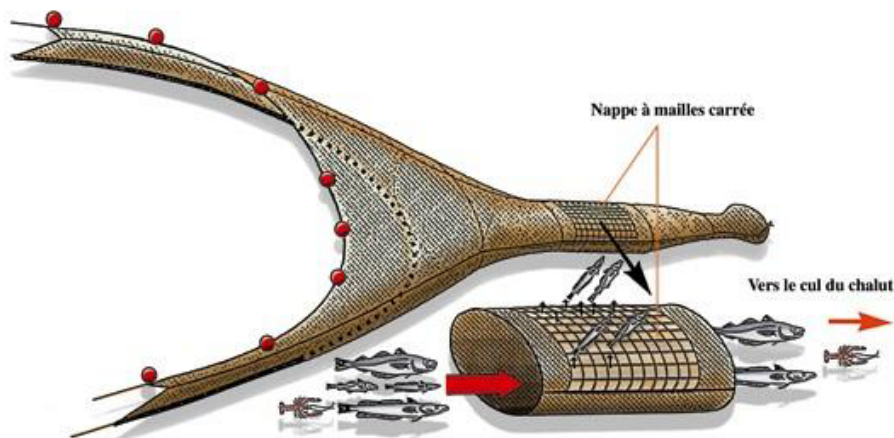


Рис. 3. Цилиндрическая вставка с квадратной ячеей для выхода маломерной рыбы
Fig. 3. Cylindrical insert with a square mesh to exit undersized fish

По данным, приведенным по результатам оценки промысла минтая в американской ИЭЗ, прилов маломерного минтая составляет около 1 %, что говорит об эффективности работы селективной вставки, применяемой рыбаками США. Проведенные испытания в российской ИЭЗ показали, что селективная вставка на разряженных скоплениях и небольших скоростях траления до 3 уз выпускает до 30 % от улова независимо от размерного ряда, т.е. и крупных промысловых особей длиной до 53 см. Учитывая полученные результаты экспериментов и основываясь на вышеизложенном предположении о невыполнении селективной вставки, применяемой на траловом промысле минтая функции отсева молоди, можно сделать вывод о необходимости разработки более эффективного устройства для отсева молоди минтая.

Сортирующие устройства на основе жесткой решетки.

Применяются на промысле трески и пикши в Северо-Восточной Атлантике, а также на промысле креветок. Они представляют собой рамы специальной конструкции из металла или синтетических материалов. Уровень селективности в этих устройствах задается расстоянием между связями. Устанавливаются в так называемой «критической» зоне направляющей части трала. Применяются на промысле трески в Норвегии и Канаде, а в последние годы, по ини-

циативе Норвегии, и в России на промысле в Западном бассейне. Схема разделения крупной и мелкой рыбы с помощью решетки показана на рис. 4.

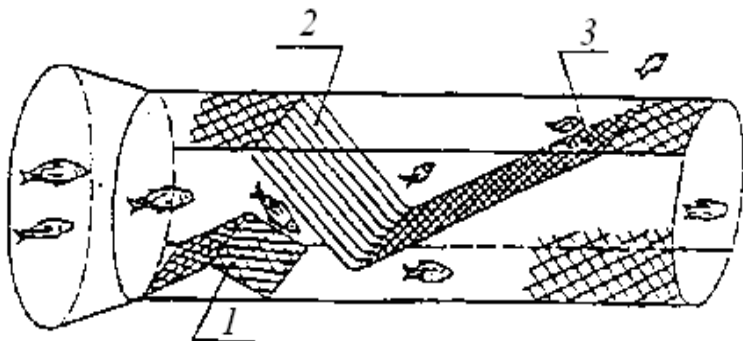


Рис. 4. Местоположение системы «Sort-V» в трале и принцип отделения мелкой рыбы: 1 – направляющая пласти; 2 – сортирующая решетка; 3 – подъемная пласти

Fig. 4. System Location "Sort-V" in the trawl and the principle of separation of small fish: 1 – directing the formation; 2 – sort the grill; 3 – lift plast

Действие системы основано на том, что смесь крупной и мелкой рыбы из конической части мешка с помощью мелкоячейной подъемной («трамплин») пласти (1) направляется на сортирующую решетку (2). При этом мелкая рыба свободно выходит из тралового мешка



Рис. 5. Мешок, выполненный из квадратной ячеи для промысла банановой креветки

Fig. 5. Bag made of square mesh for the banana prawn fishery

между прутьями решетки, а крупная, не имеющая возможности пройти, проходит вдоль нее вниз и попадает в траловый мешок. Мелкоячейная пласти (3) направляет прошедшую через решетку рыбу к выходу из тралового мешка, препятствуя ее повторному попаданию. Остальная мелкая рыба, прошедшая под нижней кромкой решетки, выходит через ячейку кутка [4].

Сортирующее устройство на основе мягкой решетки.

Применяется на промысле путассу в Фарерской экономической зоне для снижения прилова нежелательных видов, таких как сайда, скумбрия, морской окунь. Испытания данного устройства показали снижение нежелательного прилова от 0,25 до 3,25 раза [5].

Состоит из специальной решетки мягкого типа, с расстоянием между прутьями 55 мм, устанавливается перед кутком трала в дополнительной сетной секции, а также подъемной панели для уменьшения отсева путассу через окно выхода.

Траловые мешки, полностью изготовленные из дели с «зеркальным» расположением ячеек.

Используются в рыболовстве ряда стран на промысле антарктического криля, креветки и других видов (рис. 5).

Нужно отметить, что российские ученые были одними из первых, кто начал изучать селективные свойства квадратной ячеи [6]. Кроме того, этот подход был успешно испытан на промысле минтая совместно со специалистами Японии еще в 1991 г. и показал положительный результат (рис. 6).

Специально для этих экспериментов были изготовлены мешки с квадратной структурой ячеи, с шагом ячеи 40, 50 и 60 мм, из плетено-плетеных и кручено-плетеных делей, выполненных по технологии японских фирм «Ничимо» и «Тайто». Серия промысловых тралений, выполненных в период с конца февраля 1991 г. по начало апреля 1992 г. в районе Восточной и Западной Камчатки, показала, что по выходу готовой продукции (без учета последствий

сортировки) результативность работы мешком с квадратной ячейей более чем на 40 % выше, чем с обычным мешком с ромбической ячейей с шагом 45 мм [7].

Установка селективных устройств в критической зоне трала.

Наблюдения за распределением отсева по длине траловой системы показали, что первый пик выхода рыбы в трале приурочен к так называемой «критической» зоне направляющей (конусной) части трала (рис. 7) [8].

Рис. 6. Результаты лова обычным тралом с ромбической ячейей (а) и экспериментальным траловым мешком с квадратной ячейей (б) на смешанном скоплении минтая
 Fig. 6. Results usual trawl gear with rhombic mesh (a) and experimental trawl bag with square mesh (б) on a mixed cluster pollock

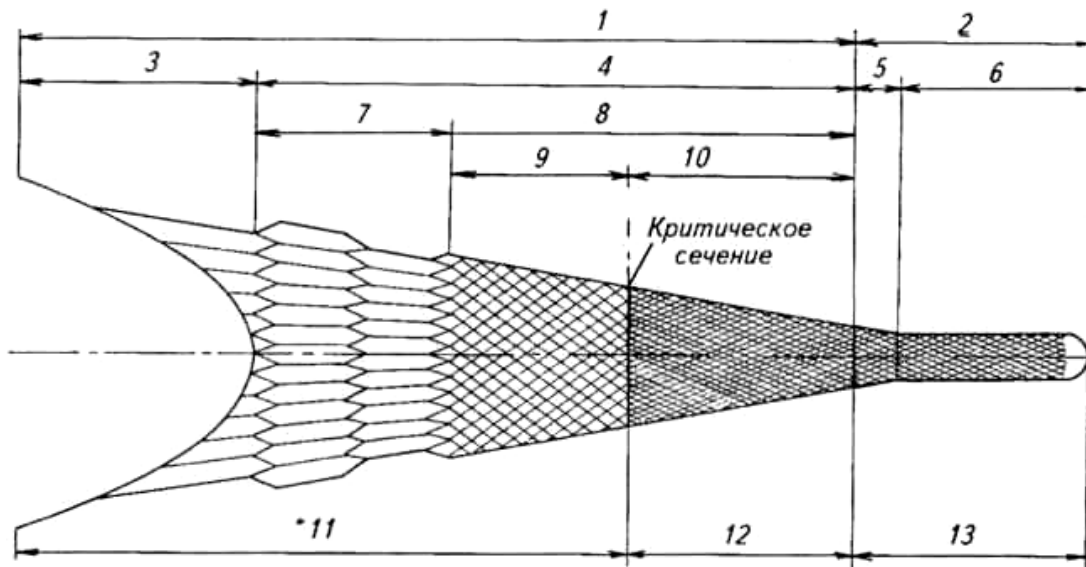
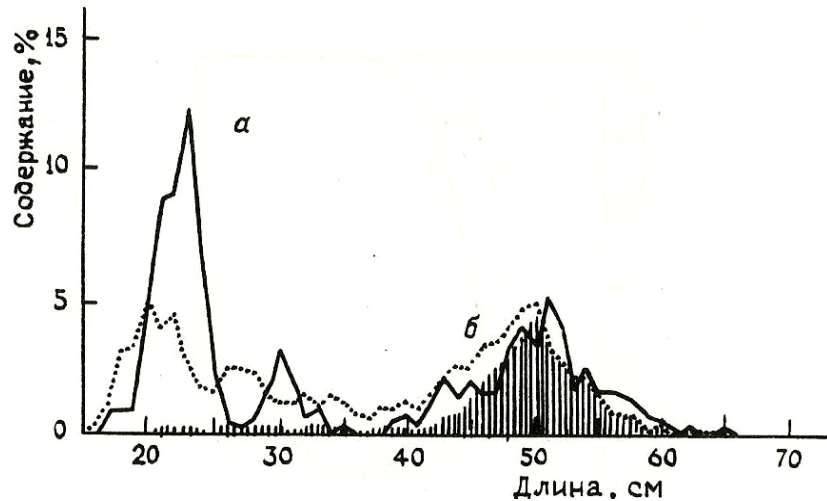


Рис. 7. Сетная оболочка трала (СО) и ее основные части: 1 – передняя часть СО; 2 – задняя часть СО (мешок); 3 – крылья; 4 – мотня; 5 – коническая часть мешка; 6 – цилиндрическая часть мешка; 7 – канатная часть мотни (КЧМ); 8 – делевая часть мотни (ДЧМ); 9 – крупноячейная часть мотни; 10 – мелкоячейная часть мотни; 11 – отпугивающая часть СО; 12 – направляющая часть СО; 13 – аккумулирующая улов часть СО

Fig. 7. Trawl netting sheath (CO) and its main parts: 1 – the front part of the CO; 2 – rear CO (bag); 3 – wings; 4 – bunt; 5 – the tapered portion of the bag; 6 – the cylindrical portion of the bag; 7 – cable part bunt (KCHM); 8 – delev chastmotni (DCHM); 9 – krupnoyacheynaya part bunt; 10 – melkoyacheynaya part bunt; 11 – a daunting part of the CO; 12 – the guide portion CO; 13 – accumulating catch part of the CO

Для каждого объекта лова существует такой диаметр поперечного сечения трала, при котором имеется максимальный отсев [9]. «Критическая» зона приурочена к сечению трала, в его конусной части мотни, где плотность рыбы достигает определенного значения и начинается дезинтеграция стаи за счет доминирования индивидуальных, не скоординированных оборонительных реакций – рыбы активно проявляют стремление уйти через обочку трала [10]. Условно диаметр сечения трала (в условной посадке), где находится «критическая» зона, для минтая приблизительно равен 15 м. В действующих разноглубинных тралах для лова минтая это «сечение» условно можно отнести к району начальной кромки сетного полотна с шагом ячеи 100 мм. Именно в этой зоне зачастую имеет место массовая обьячейка рыбы. Доказательством тому служит результат анализа конструкций тралов, использовавшихся для промысла минтая, в том числе и не внедренных по результатам экспериментальных работ в Дальневосточном бассейне, проведенный Камчатской экспериментальной базой промысловства в конце 70-х гг., который выявил закономерность, что те тралы, в которых диаметр сечения по начальной кромке дели с шагом ячеи 100 мм был менее 15 м (в условной посадке), не прошли на промысле внедрения и были отбракованы по результатам экспериментальных работ вследствие недостаточной уловистости. Результаты этого анализа, в свое время, успешно использовались конструкторами Камчатской экспериментальной базы промысловства при проектировании разноглубинных тралов для лова минтая и других видов рыб, что позволило создавать достаточно эффективные конструкции тралов, получивших широкое распространение и эксплуатирующихся до настоящего времени.

Поэтому, очевидно, правомочно предложение технического решения повышения селективных качеств тралов, предусматривающее установку селективных фрагментов именно в «критической» зоне направляющей части тралов [11]. Селективные фрагменты могут представлять собой пластины с «зеркальной» или гексагональной ячеей. Технические проработки данного направления выполнены в лаборатории промысловства КамчатНИРО. Возможно несколько вариантов установки селективных фрагментов в направляющей части тралов: цельной конической вставкой; по верхней и нижней пластям; по боковым пластям или их комбинации. Выбор варианта установки селективных фрагментов должен согласовываться с поведением объекта лова.

Величина отсева рыбы различна в разных пластях трала. Исследованиями отсева сельди из разноглубинных тралов установлено, что наибольший процент отсева наблюдается в верхней пласте, а наименьший – в нижней [9]. Для установления оптимального варианта компоновки селективных фрагментов на промысле минтая необходимо проведение специальных исследований.

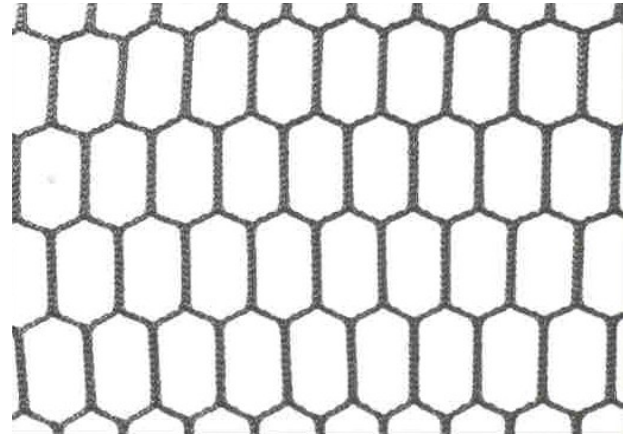
Применение селективных вставок в направляющей части тралов позволит повысить селективность лова минтая и будет способствовать сохранению и воспроизводству его запасов.

Применение сетных полотен с шестиугольной ячеей.

Это направление открывает большие перспективы для обеспечения высокой селективности лова рыбы тралами. С точки зрения теории лова избирательная способность гексагональной ячеи (рис. 8) должна быть выше ромбовидной и прямоугольной, так как ее форма более соответствует форме поперечного сечения минтая в месте наибольшего обхвата.

К тому же, сетные полотна с гексагональной ячеей лишены основного недостатка сетных полотен с «зеркальным» расположением – неравномерного распределения усилий в нитях, снижающего эксплуатационные качества траловых мешков, особенно при подъеме больших уловов. Опыт эксплуатации тралов, передняя часть которых изготавливается гексагональным набором канатных элементов, служит тому подтверждением.

Рис. 8. Фрагмент дели с гексагональной (шестиугольной) ячейей
 Fig. 8. Detail of delhi with a hexagonal (hexagonal) mesh



Выводы

Ужесточение требований к конструкциям траловых систем в части обеспечения эффективности лова, безусловно, имеет важное значение для сохранения сырьевых ресурсов минтая.

Из приведенного анализа существующих технических решений повышения селективных качеств тралов нам представляется целесообразным применить на траловом промысле минтая следующие технические решения: установку сортирующих систем на базе мягких решеток в «критической» зоне направляющей части траловой системы. Выбор варианта установки таких устройств должен согласовываться не только с биометрическими характеристиками, но и с поведением объекта лова в зоне действия трала.

Изготовление мешка трала из сетных полотен с квадратной ячейей. Выбор размера ячеей должен быть определен на основе экспериментальных работ.

Список литературы

1. Новости зарубежного рыболовства // Рыбное хозяйство. Сер. Промышленное рыболовство. – 2000. – Вып. 3. – 18 с.
2. Шевченко А.И., Абалтусов С.М., Татарников В.А. Селективные свойства траловых мешков на промысле минтая // Вопр. теории и практики промышленного рыболовства. Поведение гидробионтов в зоне действия орудий лова: сб. науч. тр. – М.: Изд-во ВНИРО, 1998. – С. 127–130.
3. Шевченко А.И. Перспективы развития методов и техники рыболовства. Современное состояние и перспективы развития рыболовства России: докл. на Всероссийском совещании. – СПб., 1997. – 14 с.
4. Рекомендации по применению сортирующей системы «Sort-V» на основе одной жесткой решетки при траловом промысле аркто-норвежской трески. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1996. – 14 с.
5. Лапшин О.М., Истомин И.Г., В.А. Татарников, J.A. Jacobsen, K. Zachariassen. Результаты применения сортирующих систем российским рыболовным флотом на промысле путасу в Фарерской рыболовной зоне. Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана: сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – 2012. – Вып. 26. – Ч. 2. – С. 11–35.
6. Норинов Е.Г. Поведение минтая в разноглубинном трале. Совершенствование и создание новых способов и орудий лова: сб. науч. тр. – Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1990. – С. 22–28.

7. Норинов Е.Г., Мацусита Е. Избирательные свойства траловых мешков с квадратной структурой оболочек // *Вопр. теории и практики промышленного рыболовства. Поведение гидробионтов в зоне действия орудий лова*: сб. науч. тр. – М.: Изд-во ВНИРО, 1998. – С. 182–188.

8. Коротков В.К., Кузьмина А.С. Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ними. – М.: Пищ. пром-сть, 1972. – 272 с.

9. Шульц И.Т. Исследование отсева сельди из крупноячейных пелагических тралов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / ВНИРО. – М., 1975. – 24 с.

10. Карпенко Э.А., Лапшин О.М., Акишин В.В. Определение размерного состава скопления по характеристикам улова. – М.: Международный дом сотрудничества, 2000. – 30 с.

11. Багин Б.Н., Адамов А.А. О роли селективности в рациональном использовании морских гидробионтов // *Охрана и рациональное использование биоресурсов Камчатской области*: сб. докл. науч. конф. – Петропавловск-Камчатский, 1999. – С. 40–41.

Сведения об авторах: Шевченко Анатолий Игнатьевич, доктор технических наук;
Майсс Артур Айварович, старший преподаватель;
Акимова Ольга Владимировна, зав. лабораторией.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ

УДК 621.3

В.В. Кирюха, Ю.М. Горбенко, В.С. Яблокова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

СПОСОБ КОРРЕКТИРОВКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Рассматриваются методы формирования системы уравнений решения задачи диагностики электрической цепи. Система уравнений решается методом наименьших квадратов.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов.

V.V. Kiryuha, U.M. Gorbenko, V.S. Yablokova

METHOD OF QUADRIPOLE DIAGNOSIS FEATURES BASED ON THE LEAST SQUARES METHOD

This paper deals with the system of equations forming methods. The system of equations is solved by the least square method.

Key words: the least square method.

Оценка надежности электротехнического и радиотехнического оборудования в условиях дестабилизирующих факторов является одной из важнейших задач. Для ее осуществления необходимо располагать информацией о параметрах, значения которых могут быть определены при решении задачи диагностики электрической цепи (ДЭЦ) на основании результатов измерений, выполненных с погрешностью, и априорной информации. При такой постановке задача ДЭЦ сводится к решению переопределенной системы уравнений с ограничениями. Система ограничений формируется и по уравнениям отождествления [1].

При решении переопределенной системы уравнений по методу наименьших квадратов (МНК) не всегда обеспечивается выполнение всех ограничений, особенно, если для линейризации компонентных уравнений используются априорная информация, заданная в виде широкого интервала возможных значений.

Для получения достоверного решения требуется управлять процессом вычисления, что можно обеспечить введением корректирующих коэффициентов, выбор которых представляет собой сложную задачу. Рассмотрим один из вариантов назначения корректирующих коэффициентов.

Сформируем систему уравнений таким образом, что элементы u_i , U_i компонентного уравнения ($u_i - \pi \cdot U_i = 0$), по отношению к которому применим корректирующий коэффициент λ , будут являться двумя первыми элементами вектора неисключаемых переменных \mathbf{X}_1 .

С учетом указанных обстоятельств матрицы \mathbf{A}_λ и \mathbf{F}_λ уравнения $\mathbf{A}_\lambda \cdot \mathbf{X}_1 = \mathbf{F}_\lambda$ примут следующий вид:

$$\mathbf{A}_\lambda = \begin{bmatrix} \lambda a_{11} & \lambda a_{12} & 0 \\ \mathbf{N}_1 & \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_3 \end{bmatrix}, \mathbf{F}_\lambda = \begin{bmatrix} \\ \mathbf{F}^0 \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2$ – векторы-столбцы матрицы \mathbf{A}_λ ; \mathbf{F}^0 – подвектор вектора \mathbf{F}_λ без первого нулевого элемента; \mathbf{N}_3 – соответствующая подматрица матрицы \mathbf{A}_λ .

Решение системы уравнений находится псевдообращением

$$\mathbf{X}_1 = (\mathbf{A}_\lambda^T \cdot \mathbf{A}_\lambda)^{-1} \cdot \mathbf{A}_\lambda \cdot \mathbf{F}_\lambda =$$

$$= \begin{bmatrix} \lambda^2 a_{11}^2 + \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{N}_1 & \lambda^2 a_{11} a_{12} + \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{N}_3 \\ \lambda^2 a_{11} a_{12} + \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{N}_1 & \lambda^2 a_{12}^2 + \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{N}_3 \\ \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{N}_1 & \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{N}_3 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{F}^0 \\ \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{F}^0 \\ \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{F}^0 \end{bmatrix}.$$

С целью обращения матрицы $(\mathbf{A}_\lambda^T \cdot \mathbf{A}_\lambda)$ представим ее в виде

$$\mathbf{A}_\lambda^T \cdot \mathbf{A}_\lambda = \mathbf{W} + \bar{\mathbf{E}} \cdot \bar{\mathbf{E}}^T,$$

где \mathbf{W} – квадратная симметричная матрица

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{N}_1 & \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{N}_3 \\ \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{N}_1 & \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{N}_3 \\ \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{N}_1 & \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{N}_2 & \mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{N}_3 \end{bmatrix},$$

$\bar{\mathbf{E}}^T$ – вектор-строка

$$\bar{\mathbf{E}}^T = \begin{bmatrix} \lambda a_{11} & \lambda a_{12} & 0 \end{bmatrix}.$$

Получим решение в виде

$$\mathbf{X}_1 = \left[\mathbf{W}^{-1} - \frac{\lambda^2}{\lambda^2 \theta_0 - 1} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{M}^T \right] \cdot \bar{\mathbf{F}},$$

где $\mathbf{M} = \mathbf{W}^{-1} \cdot \mathbf{E}$,

$$\mathbf{E}^T = \begin{array}{|c|c|c|} \hline a_{11} & a_{12} & 0 \\ \hline \end{array},$$

$$\theta_0 = \mathbf{E}^T \cdot \mathbf{W}^{-1} \cdot \mathbf{E},$$

$$\bar{\mathbf{F}}^T = \begin{array}{|c|c|c|} \hline (\mathbf{N}_1^T \cdot \mathbf{F}^0)^T & (\mathbf{N}_2^T \cdot \mathbf{F}^0)^T & (\mathbf{N}_3^T \cdot \mathbf{F}^0)^T \\ \hline \end{array}.$$

Анализ полученного выражения позволяет сделать вывод о том, что коэффициент λ обеспечивает коррекцию решения непосредственно только одной какой-то переменной, например x_1 . Все остальные переменные зависят линейно от x_1 . Связь между x_1 и каждой из остальных x_k можно записать в виде

$$x_k = c_k \cdot x_1 + \theta_k,$$

где $c_k = \theta_k'' / \theta_1''$, $\theta_k = \theta_k' - \frac{\theta_1' \cdot \theta_k''}{\theta_1''}$; θ_1' и θ_k' – первый и k -й элементы матрицы столбца $\mathbf{W}^{-1} \cdot \bar{\mathbf{F}}$, соответственно; θ_1'' и θ_k'' – первый и k -й элементы матрицы столбца $\mathbf{M} \cdot \mathbf{M}^T \cdot \bar{\mathbf{F}}$, соответственно.

Пользуясь линейной связью x_1 с остальными x_k , можно найти границы $x_{1\alpha}^k$, $x_{1\beta}^k$ интервала $\nabla'_k = [x_{1\alpha}^k, x_{1\beta}^k]$, значений x_1 , соответствующие верхней и нижней границам x_k .

Если

$$\nabla'_0 = \bigcap_{k=1}^m \nabla'_k \neq \emptyset,$$

то для $\lambda^2 > 0$ и $\lambda^2 \neq \infty$ можно выбрать такое значение x_1 , а следовательно, и λ , при котором каждая x_k попадает в свой интервал $[x_{k\alpha}, x_{k\beta}]$.

Аналогично может быть определен интервал ∇''_k , соответствующий априорной интервальной информации об оцениваемых параметрах.

Если определить интервалы ∇''_k для всех π_k и найти пересечения

$$\nabla''_0 = \bigcap_{k=1}^m \nabla''_k,$$

и если ∇''_0 не пусто, то можно подобрать такое значение x_1 , при котором выполнялись бы требования в отношении априорной информации.

В случае если

$$\nabla_0 = \nabla'_0 \cap \nabla''_0 \neq 0,$$

то можно обеспечить выполнение всех заданных условий.

Выбор корректирующего коэффициента при требовании, чтобы x_1 оказалось в интервале $f_\alpha \leq x_1^0 \leq f_\beta$, определяется выражением

$$\lambda^2 = \frac{\theta'_1 - x_1^0}{\theta_0 \cdot x_1^0 + \theta'_1 - \theta_0 \cdot \theta'_1}.$$

Таким образом, рассмотренный подход формирования системы уравнений и введения корректирующего коэффициента позволяет определить его значение для получения адекватного решения.

Список литературы

Горбенко Ю.М. Анализ технического состояния объектов по критерию наименьших квадратов // Проблемы развития и совершенствования методов проектирования, производства и эксплуатации радиоэлектронных приборов: тр. III Дальневост. науч.-техн. конф. НТО им. акад. А.Н. Крылова по судовой радиоэлектронике (Секция судовой радиоэлектроники и приборов). – Владивосток: ДВВИМУ, 1984.

Сведения об авторах: Кирюха Владимир Витальевич,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: kiryuha@list.ru;
Горбенко Юрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент,
e-mail: gorbenko.um@mail.ru;
Яблокова Виктория Сергеевна, кандидат технических наук, доцент,
e-mail: victoryapple@yandex.ru.

УДК 621.3

И.А. Корниенко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB

Предложен пример использования современных компьютерных технологий в процессе обучения студентов.

Ключевые слова: *двигатель постоянного тока независимого возбуждения, Matlab, Simulink.*

I.A. Kornienko

MODELATION OF ELECTRICAL DC DRIVE IN THE MATLAB PROGRAM

Example of use modern computer technology in the learning process

Key words: *independent excitation dc motor, Matlab, Simulink.*

На сегодняшний день подготовка грамотных специалистов невозможна без применения новых форм обучения с использованием компьютерных технологий, базирующихся на современных прикладных программных продуктах.

Владение теорией электрических машин является высокой составляющей профессиональной подготовки специалиста по электрическим машинам и системам электроприводов.

Использование компьютерных технологий позволит расширить круг и глубину изучаемых вопросов, провести множество экспериментов с использованием виртуальных электрических машин, что благотворно скажется на уровне подготовки специалистов.

Система MATLAB (сокращение от MATrix LABoratory — матричная лаборатория) представляет собой интерактивную систему, предназначенную для выполнения инженерных и научных расчетов и ориентированную на работу с массивами данных.

Одной из наиболее привлекательных особенностей системы MATLAB является наличие в ней наглядного и эффективного средства составления программных моделей — пакета визуального программирования Simulink.

Пакет Simulink позволяет осуществлять исследование (моделирование во времени) поведения динамических линейных и нелинейных систем, причем составление «программы» и ввод характеристик систем можно производить в диалоговом режиме, путем сборки на экране схемы соединений элементарных звеньев. В результате такой сборки получается модель системы, называемая S-моделью. В качестве «кирпичиков» при построении S-модели применяются визуальные блоки (модули), которые сохраняются в библиотеках Simulink.

S-модель может иметь иерархическую структуру, т.е. состоять из моделей более низкого уровня, причем количество уровней иерархии практически не ограничено.

В пакете Simulink можно поставить опыт как на структурной модели двигателя постоянного тока (рис. 1), так и на виртуальной модели, которая имеется в библиотеке Simulink.

В структурной модели двигателя постоянного тока независимого возбуждения (далее ДПТ НВ) в качестве источников напряжения для цепи якоря и цепи возбуждения двигателя используются блоки Step, цепь якоря и цепь возбуждения реализованы на базе блоков Transfer Function и Gain, а ротор — на базе блока Integrator (рис. 2).

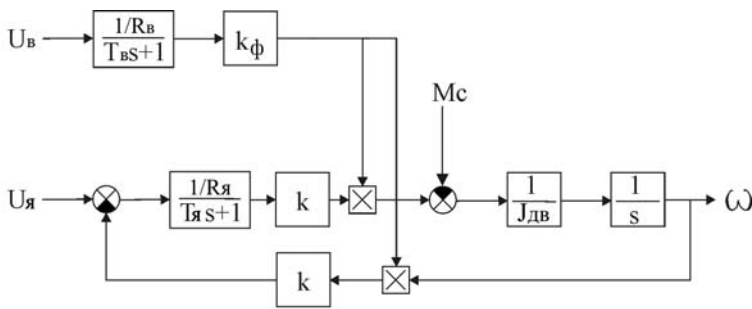


Рис. 1. Структурная схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения
Fig. 1. Structural diagram of independent excitation dc motor

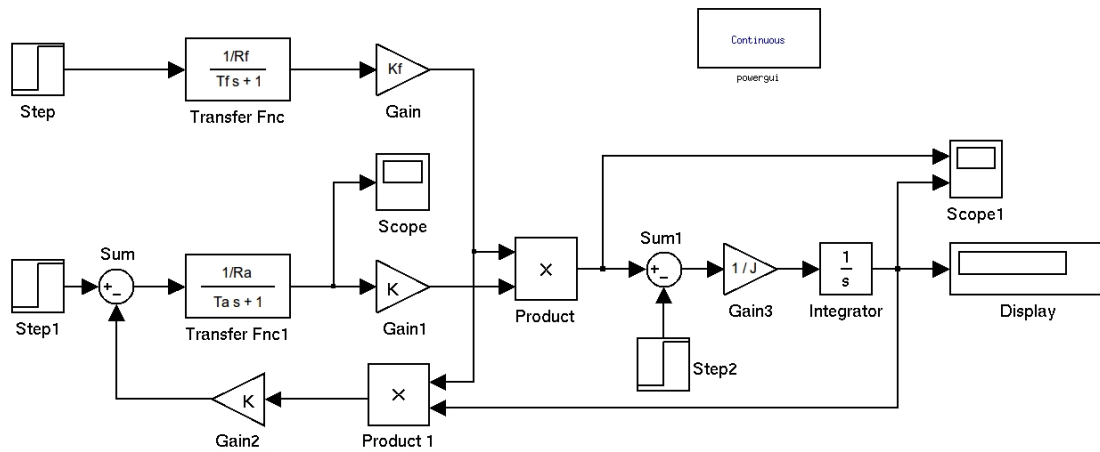


Рис. 2. Структурная модель ДПТ НВ в Simulink
Fig. 2. Structural diagram of independent excitation dc motor in Simulink

Виртуальная модель ДПТ представляет собой блок, разделенный на три части: обмотка возбуждения (F+, F-), якорная цепь (A+, A-), механическая часть (TL, m). Это обстоятельство делает возможным использование данного блока для моделирования как машины с последовательной обмоткой возбуждения, так и машины с независимым возбуждением.

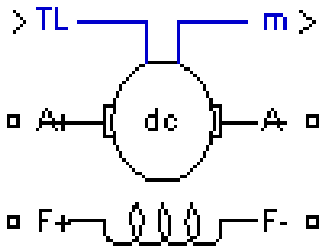


Рис. 3. Блок DC Machine
Fig. 3. DC Machine diagram

Выход m представляет собой шину данных, по которой выводятся значения скорости, тока цепи якоря, тока возбуждения и электромагнитного момента.

На рис. 3 приведена пиктограмма виртуальной модели ДПТ (DC Machine), которая находится в библиотеке SimPowerSystems в разделе Machines.

На рис. 4 показана виртуальная модель ДПТ НВ с источниками питания цепей и различными измерительными блоками.

На рис. 5 показаны кривые переходных процессов, полученные в ходе эксперимента, проведенного на моделях при условиях: запуск на холостом ходу ($M_C = 0$) с последующим набросом нагрузки ($M_C = M_H$). Кривые, полученные на структурной и виртуальной моделях, идентичны.

Для изучения статических характеристик ДПТ НВ можно создать модель, которая будет являться виртуальным аналогом лабораторной установки ДПТ – ДПТ (рис. 6).

Модель виртуальной установки ДПТ – ДПТ содержит две электрические машины постоянного тока. Одна машина, которая является моделью исследуемого двигателя, имеет нерегулируемые источники питания обмотки возбуждения и цепи якоря. Вторая имеет нерегулируемый источник питания обмотки возбуждения и регулируемый источник в якорной цепи.

Электромагнитный момент DC Machine является нагрузкой на валу машины DC Machine 1, а электромагнитный момент машины постоянного тока DC Machine 1 служит нагрузкой на валу DC Machine.

Рис. 4. Виртуальная модель ДПТ НВ
Fig. 4. Virtual model of independent excitation dc motor

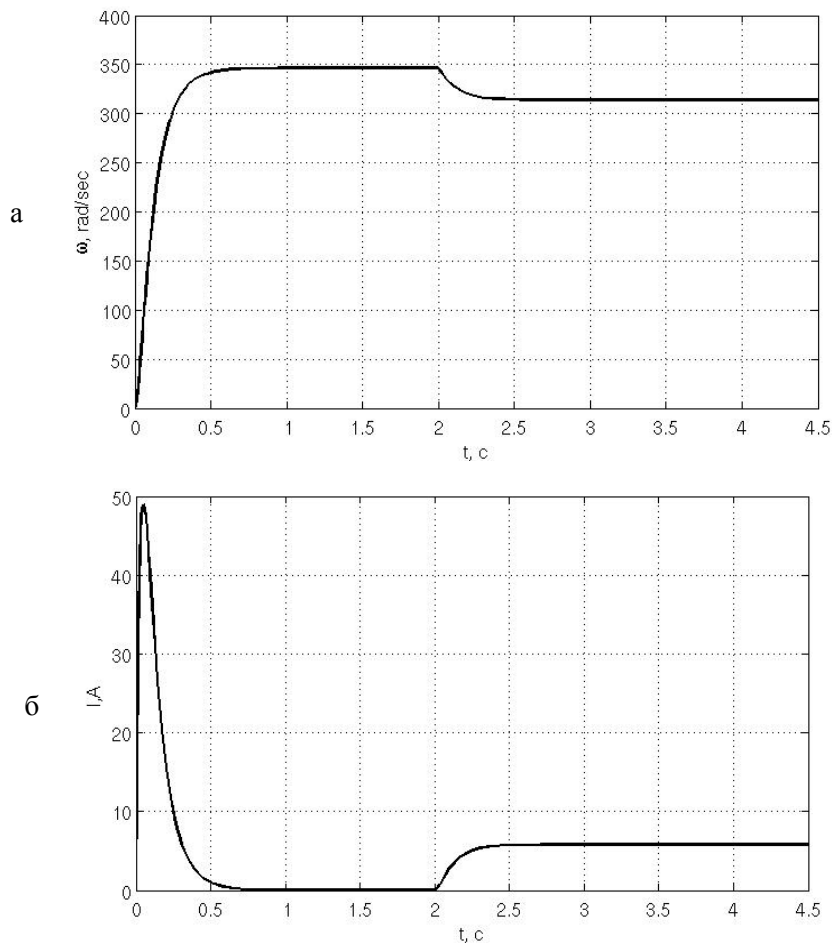
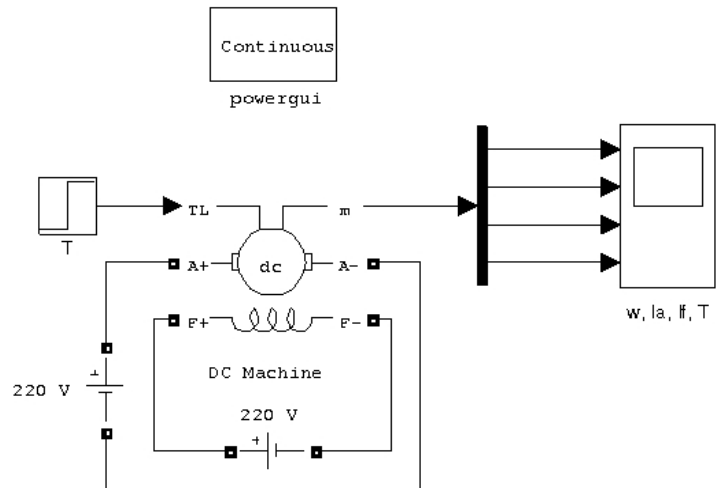


Рис. 5. Переходный процесс: а – $\omega = f(t)$; б – $I = f(t)$ при пуске ДПТ НВ на холостом ходу и последующем набросе нагрузки до $M_C = M_H$
Fig. 5. Transition process: а – $\omega = f(t)$; б – $I = f(t)$ at start-up excitation dc motor in idling and connection to load after

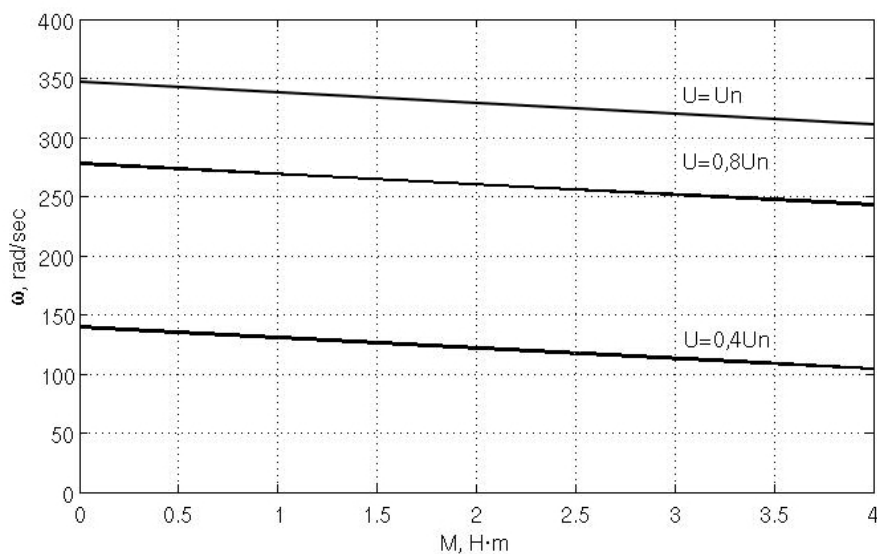


Рис. 6. Экспериментальные искусственные механические характеристики ДПТ НВ при различных значениях питающего напряжения в цепи якоря

Fig. 6. Experimental mechanical characteristics of excitation dc motor at different values of supply voltage

При таком построении моменты обеих машин будут всегда (в установившемся режиме) равны и противоположны по знаку. Для задания скорости вращения исследуемой машины постоянного тока DC Machine машина DC Machine 1 управляется от регулируемого источника.

На рис. 6 показано семейство механических характеристик ДПТ НВ при различных значениях питающего напряжения в цепи якоря исследуемого двигателя.

Кроме экспериментов над ДПТ, в Simulink также можно поставить множество исследований с трехфазными двигателями, что в реальных лабораторных условиях требует колоссальных материальных затрат.

Список литературы

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
2. Герман-Галкин С.Г. MATLAB & SIMULINK. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-ВЕК, 2008. – 368 с.
3. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа DHV, 2005. – 512 с.
4. Ануфриев И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 1104 с.
5. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.

Сведения об авторе: Корниенко Иван Анатольевич, ассистент,
e-mail: kornienko.iv.an.89@gmail.com.

УДК 629.12.066

Е.П. Матафонова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЛОВЕ РЫБЫ НА СВЕТ

Приводятся общие сведения по использованию источников света в рыболовстве. Рассматриваются тенденции в светотехническом рыбопромысловом электрооборудовании и анализируются способы регулирования напряжения судового синхронного генератора.

Ключевые слова: светотехническое оборудование, изменение напряжения, синхронный генератор.

E.P. Matafonova

FEATURES WORK SHIP ELECTRIC WHEN FISHING ON LIGHT

Provides general information on the use of light sources in fisheries. Examines trends in lighting and electrical fisheries analyzes methods of voltage regulation of ship synchronous generator.

Key words: lighting equipment, a change in voltage synchronous, generator.

Введение

Взаимодействие светового поля на лов рыбы широко используется в рыболовстве, при этом эффективность привлечения и удержания рыбы повышается за счет определенного изменения характеристик источников света. Существуют различные оптимизированные энергетические и спектральные характеристики светового поля, которые зависят от погодных условий, «типа» косяка, времени промысла и других факторов.

В рыболовстве применяется множество разнообразных источников света и накоплено достаточно данных о реакции рыбы и нерыбных объектов на свет различных характеристик.

Надводное освещение при лове на свет осуществляется с помощью светильников прямого света, укрепленных на судне. Мощность этих светильников (называемых люстрами) должна быть не менее нескольких киловатт, так как большая часть светового потока отражается от поверхности моря и не проникает под воду.

Способы лова рыбы на свет зависят от характера положительной реакции объекта (быстроты привлечения к источнику света, расстояния подхода, характера накапливания у источника и продолжительности нахождения в освещенной зоне), поэтому выбор техники и способы лова начинают с выявления особенностей реакции объекта на световое поле.

Варианты оборудования судов, поиска, привлечения, расстановки судов, облова косяков рыб могут быть различными. Например, изменение высоты подвеса и угла наклона светового оборудования, применение высокоинтенсивных источников света, подобранных в соответствии с реакцией объекта на свет, могут дать значительный экономический эффект.

Тип, мощность и модификация светового оборудования зависят и от способов лова.

Объекты и методы исследования

На современных судах световое оборудование эффективно применяется при лове рыбы бортовыми конусными подхватами, а также с помощью рыбонасосных установок с залавливающим устройством.

Светотехническое оборудование для сайрового промысла в дальневосточных морях на судах типа СТР представляет собой трехфазную систему нагрузки, подключенную к источнику

судовой электростанции – синхронному генератору. СТР оборудованы тиристорными регуляторами мощностью 80 кВт, с помощью которых применяется многоступенчатая схема – с одного борта (светового) регулируется одно напряжение, с другого (рабочего) – другое. Люстры располагаются на разных уровнях [1]. Применяются люстры различного типа. Например, на самой большой высоте располагаются люстры увеличенной мощности типа КГП –220 В 18 кВт, которые осуществляют сбор косяков сайры (привлечение) на большей площади – рассеянное скопление (рис. 1). С помощью них сайра переходит в зону основного промышленного освещения. После того как сайра подошла непосредственно под свет бортовых светильников, расположенных по периметру судна, мощностью 4,5 кВт, приступают к переводу сайры через бак судна с правого, рабочего, на левый, световой борт путем последовательного выключения люстр от периферии к центру.

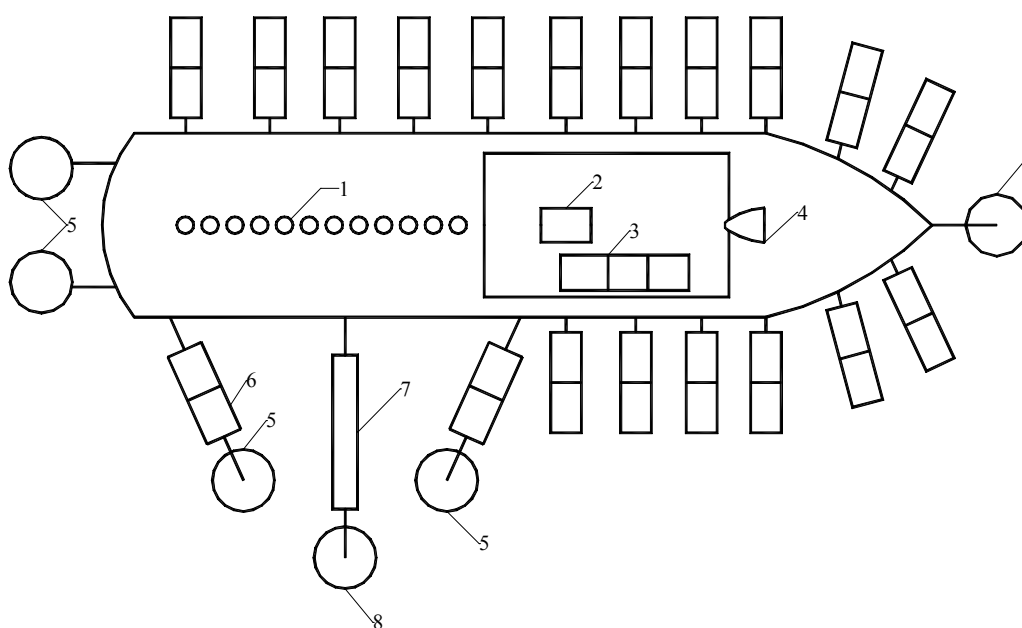


Рис. 1. Схема установки светотехнического оборудования для лова сайры на судах СТР:

1 – гирлянда дополнительного освещения; 2 – коммутатор для включения люстр; 3 – пульт управления световым потоком; 4 – прожектор промысловый ПП-90; 5 – люстра обводная 9 кВт (6 ламп КГП белых); 6 – две люстры по 3 лампы КГП-1500 в каждой; 7 – люстра увеличенной мощности (18 кВт); 8 – люстра концентрирующая (3 лампы белых 4,5 кВт + 3 лампы красных 4,5 кВт)

Fig. 1. Diagram of the installation of lighting equipment for saury fishing on vessels PAGE:

1 – garland of additional lighting; 2 – switch to turn on the chandelier; 3 – remote control light flux; 4 – Spotlight fishing PP-90; 5 – 9 kW chandelier bypass (6 lamps white CHP); 6 – two lamps on the lamp 3 PCG-1500 each; 7 – chandelier increased power (18 kW); 8 – chandelier concentrating (3 Lamp White 4,5 kW + 3 lights red 4,5 kWt)

На рис. 2 показана электрическая схема светотехнического оборудования, представляющая собой трехфазную нагрузку, соединенную по схеме «звезда», которая получает питание от судовой синхронного генератора. Включение (отключение) люстр производится постепенно по двум фазам.

Как только основной косяк подошел в зону залавливающего устройства, включают красный свет определенного спектра (3 лампы красные по 4,5 кВт – красный кварц), с помощью которого рыба еще более максимально концентрируется в районе ловушки, и включают орудие лова.

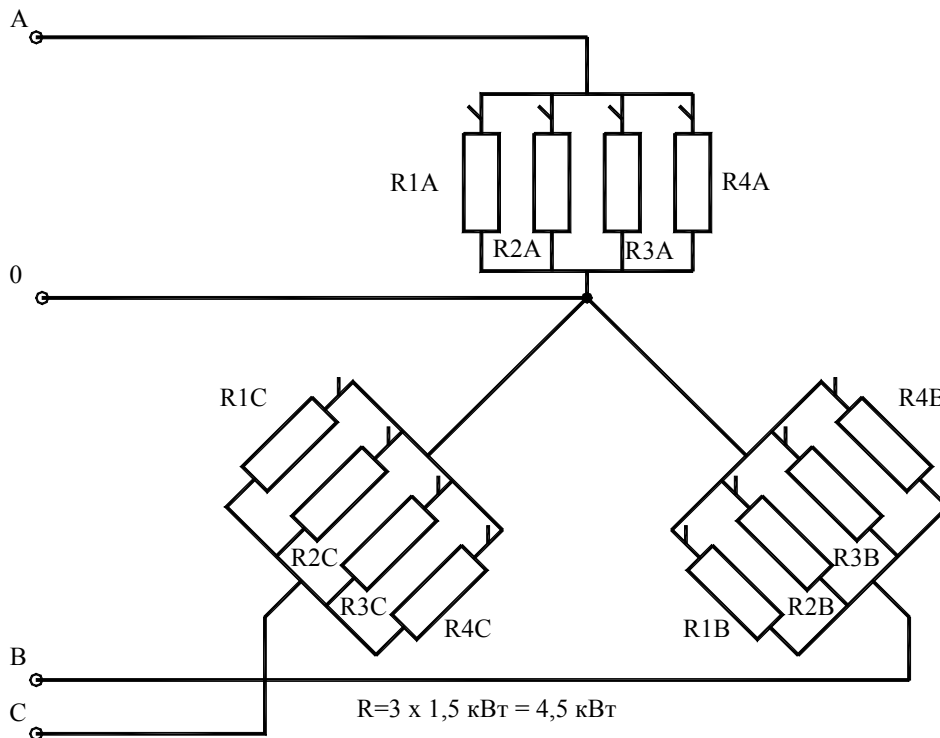


Рис. 2. Схема электрическая светотехнического оборудования
Fig. 2. Diagram of electrical lighting equipment

В целом, в светотехническом рыбопромысловом электрооборудовании просматриваются следующие тенденции:

- источники света для лова таких рыб, как сайра, должны иметь мощность 250–300 кВт;
- регулировать световой поток нужно не только различным количеством люстр, но и изменением напряжения, подводимого к ним в пределах $(0,3 \div 1,1)$ от 220 В, при этом изменяют спектральный состав света, что может служить важнейшим фактором концентрации рыбы и управления ее поведением.

Так как несимметрия напряжений зависит от неравномерности распределения нагрузок по отдельным фазам трехфазной системы судового электрооборудования, всю нагрузку рыбопромыслового светотехнического оборудования необходимо распределять равномерно по фазам. К каждой люстре удобно подводить питание с помощью двухпроводной линии. Поэтому в процессе поочередного отключения отдельных люстр возникает неравномерное распределение нагрузки. Люстры необходимо подключить к разным фазам так, чтобы при последовательном включении или отключении люстр в порядке их расположения вдоль борта неравномерность нагрузки не превосходила мощности одной люстры, т.е. до 10–12 кВт.

Элементы источников электропитания должны надежно работать в судовых условиях, которые характеризуются изменением частоты первичного источника, высокой влажностью, наличием качки, крена, дифферента, вибрации и ударных сотрясений [2].

Немаловажным фактором, который необходимо учитывать при выборе варианта источника, является уточнение минимальных значений суммарной массы и стоимости элементов источников электропитания. В ряде случаев определяющим критерием при выборе источника являются его габаритные размеры и занимаемая площадь, так как на некоторых находящихся в эксплуатации судах невозможно дополнительно разместить, например, трансформатор мощностью 200–300 кВт.

Результаты и их обсуждение

Регулирование напряжения рыбопромыслового светотехнического оборудования можно осуществлять тремя способами [3]:

- 1) изменением напряжения судового синхронного генератора путем воздействия на его систему возбуждения;
- 2) использованием регулируемых трансформаторов при постоянном напряжении генераторов судовой электрической станции;
- 3) применением полупроводниковых регуляторов напряжения при неизменном напряжении генератора;
- 4) одновременным использованием первого и третьего способов, когда, например, светильники одного борта получают питание непосредственно от генератора, а другого – через преобразователь.

При первом способе необходимо использовать отдельный синхронный генератор, питающий только рыбопромысловое светотехническое оборудование. Остальные потребители электроэнергии получают питание от судовой электростанции.

При использовании второго способа регулируемый трансформатор подключается к шинам судовой электростанции наряду с остальными судовыми потребителями электроэнергии. В случае применения трансформаторов, регулируемых подмагничиванием, необходимо проверить, каков при этом коэффициент нелинейных искажений. Если он превышает допустимую норму, то для питания такого трансформатора необходимо использовать отдельный генератор, как и при первом способе.

Такую же проверку необходимо выполнить и при использовании третьего способа. Отдельный генератор, питающий полупроводниковый регулятор напряжения, необходим не только при недопустимом значении коэффициента нелинейных искажений, но и при подключении этого преобразователя и его нагрузки к нулевому выводу генератора.

Питание рыбопромыслового светотехнического оборудования от отдельного генератора можно осуществить следующими путями.

Во-первых, возможно использование в качестве источника электроэнергии автономного дизель-генератора, предназначенного для питания только рыбопромыслового светотехнического оборудования. Этому способу присущи недостатки: большие габариты и необходимость выделения места под установку, лишние затраты, дополнительное время на обслуживание и ремонт, отсутствие возможности быть резервом для других генераторов судовой электростанции.

Во-вторых, путем выделения генератора из состава судовой электростанции. Этот способ наряду с достоинством (не требует установки дополнительного дизель-генератора), имеет и следующие недостатки: а) уменьшение мощности судовой электростанции за счет отвода мощности; б) требуется модернизация ГРЩ.

В-третьих, возможно использование валогенератора с приводом от главного двигателя на судах с винтом регулируемого шага.

Для промысловых судов характерны длительные режимы работы главных двигателей (в основном дизелей) с неполной загрузкой, например, в районе промысла при операциях с тралом и т.п. В этих режимах целесообразно догружать главные двигатели, используя их одновременно для привода электрических генераторов (валогенераторов ВГ). Более высокая экономичность ВГ по сравнению с автономным генератором и выделением генератора от электростанции объясняется следующим: улучшением КПД гребных двигателей в долевых режимах их работы и меньшим удельным расходом топлива на производство электроэнергии по сравнению с менее экономичными автономными ДГ; экономией ресурса ДГ; снижением трудозатрат и других эксплуатационных расходов на обслуживание энергоустановки; не тре-

буется модернизация ГРЩ; нет отбора мощности от судовой ЭС. При лове рыбы с помощью источников света судно стоит, но его главный двигатель работает, вращая винт регулируемого шага, который при этом не создает упор. Мощность главного двигателя расходуется в основном на привод валогенератора. Такому способу присущи уже отмеченные выше недостатки, компенсирующиеся перечисленными преимуществами синхронного валогенератора.

Выводы

Автономное электроснабжение рыбопромыслового светотехнического оборудования лучше осуществлять выделением синхронного валогенератора, что является недостатком этого способа.

Таким образом, наиболее приемлемым в светотехническом рыбопромысловом электрооборудовании является способ, когда полная загрузка синхронного генератора по мощности осуществляется применением полупроводникового преобразователя, который имеет меньшую массу и стоимость по сравнению с трансформаторами и позволяет регулировать напряжение потребителей (при включении нагрузки в «звезду») в широких пределах.

Список литературы

1. Еремин Ю.А., Мизюркин М.П., Бойченко В.А., Балло А.В., Косьяненко В.Л. Тренажер сайровый. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – 16 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Российский Морской Регистр судоходства. – СПб., 2008. – 726 с.
3. Кувшинов Г.Е., Матафонова Е.П. Регулирование напряжения рыбопромыслового светотехнического оборудования. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2004. – 129 с.

Сведения об авторе: Матафонова Елена Петровна, кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kafel302@gmail.com.

УДК 378.147.026.7 : 621.3 : 004

В.Я. Молочков, И.Д. Молочкова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, Луговая, 52б

СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИССЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СУДОВ

Приводится методика и математический аппарат исследования функционирования и устойчивости работы технических средств судов на основе моделирования их работы на ЭВМ, решение задач построения оптимальных систем регулирования технических средств судов.

Ключевые слова: моделирование, суда, технические средства, оптимизация.

V.Ya. Molochkov, I.D. Molochkova

STRUCTURAL MODELS OF DYNAMIC PROCESSES IN RESEARCH SHIP'S TECHNICAL GEARS

In article is resulted the technique and mathematical apparatus for research the functionality and the stability ships technical systems on the basis of modeling their work on the computer, the decision of construction problems for optimum regulation ship's systems.

Key words: modeling, ships, means, optimization.

Введение

Исследование на этапе проектирования или модернизации существующих технических средств судов требует применения структурных и алгоритмических моделей устройства, предназначенных для решения следующих задач:

1. Проверка на устойчивость подсистем регулирования.
2. Разработка интерфейсных схем связи с входными параметрами от датчиков и выходными – к исполнительным механизмам.
3. Разработка всех уровней программного обеспечения от драйверов отдельных устройств до внешней оболочки, обеспечивающей эффективную устойчивую работу устройств.

Этапы и методики анализа

Разработку системы управления можно разделить на два этапа: *структурный и алгоритмический*.

Структурный этап связан с разработкой структуры системы и ее математической модели, с анализом ее функционирования и синтезом законов управления.

Алгоритмический этап связан с разработкой алгоритмов сбора и обработки информации в процессе работы системы управления.

Разработка математической модели управления связана с анализом и алгоритмизацией объекта управления, с созданием *процедурной модели*, которая описывает операционные действия, изменяющие состояние основного оборудования, и действия, поддерживающие значения основных параметров в нормальных и аварийных режимах.

В настоящее время для создания моделей управления объектами используются три вида математического описания:

- передаточные функции и частотные характеристики линеаризованных систем, разрешенные относительно выходных переменных системы;

- детализированные структурные схемы или направленные графы, позволяющие составить на основе физических законов, действующих в простейших частях схемы, поэлементное описание системы;

- математическое описание с использованием понятия “пространства состояний” в виде уравнений, разрешенных относительно первых производных переменных состояний. В настоящее время для этих целей широко используется язык векторно-матричных уравнений и аппарат линейной алгебры для многомерных систем произвольного порядка с многими входами и выходами.

Для анализа функционирования технических средств судов предпочтительны следующие две методики.

Первая заключается в нахождении дискретных передаточных функций разомкнутой и замкнутой систем, с помощью которых осуществляется исследование системы в целом. Она основана на использовании метода z -преобразования (дискретного преобразования Лапласа), логарифмических частотных характеристик и корневого годографа.

Расчет на ЭВМ позволяет осуществить переход от непрерывных систем, какими являются реальные устройства судовой автоматики к их дискретным аналогам.

Реальные системы, как правило, нелинейные полностью или на каком-то участке своего поведения. Применение ЭВМ позволяет использовать «вычислительный эксперимент» – сочетание аналитических методов с большими сериями вычислений на ЭВМ. «Вычислительный эксперимент» предназначен для изучения, прогнозирования, оптимизации сложных многопараметровых нелинейных процессов, теоретическое и экспериментальное исследование которых традиционными методами затруднено или невозможно.

Аналоговые входные и выходные сигналы преобразуются в дискретные величины с заданным шагом квантования.

Для устранения влияния дискретности z -преобразования при изучении поведения непрерывных компонентов системы применяется модифицированное z -преобразование.

Вторая методика исследования связана с использованием *метода пространства состояний*. Она позволяет решать задачи исследования различных систем, в том числе цифровых нелинейных. Кроме того, применение метода пространства состояний связано с использованием векторно-матричных обозначений, что не только упрощает математические выражения, но и позволяет автоматизировать процесс исследования рассматриваемых систем с помощью ЭВМ.

Процессы, исследуемые в судовом электроприводе и технологических процессах на судах, носят динамический характер и не на всем протяжении линейны. Реальные процессы заменяются их *структурными моделями* в целом системы или по частям с применением линеаризации и «замораживания».

Структурные модели включают динамические звенья данного устройства (гребная электрическая установка, траловая лебедка, комплекс агрегатов машинного отделения с их передаточными функциями).

Структурные модели в исследовании технических средств

Необходимым условием использования структурных моделей является возможность разбиения технического средства на элементарные звенья с известными передаточными функциями.

Структурные модели линейных систем (рис. 1) представляют в виде:

- дифференциального уравнения n -го порядка;
- системы n дифференциальных уравнений первого порядка в развернутой или матричной форме;

- передаточной функции, которую записывают в общем виде как описание соединений типовых передаточных функций элементарных звеньев.

Линейное дифференциальное уравнение записываем в виде

$$\sum_{i=0}^n a_i p^i y(t) = \sum_{j=1}^m b_j p^j u(t), \quad (1)$$

где a_i и b_j – постоянные коэффициенты; p – символ дифференцирования; $y(t)$ – выходная, а $u(t)$ – входная переменные; для реальных систем $m \leq n$. Решение этого уравнения ищут для начальных условий

$$p^i y(0) = y_{i0}, \quad p^j u(t) = u_{j0}. \quad (2)$$

Отношение преобразований Лапласа выходной переменной к входной при нулевых начальных условиях – передаточная функция:

$$W(p) = \frac{y(p)}{u(p)} = \frac{\sum_{j=0}^m b_j p^j}{\sum_{i=0}^n a_i p^i}, \quad (3)$$

где p – оператор Лапласа.

При $b_j = 0$ для всех $j \neq 0$ и $b_0 \neq 0$ передаточная функция

$$W(p) = \frac{b_0}{\sum_{i=0}^n a_i p^i}, \quad (4)$$

а дифференциальное уравнение записывается как

$$\sum_{i=0}^n a_i p^i y(t) = b_0 u(t), \quad (5)$$

где p – символ дифференцирования.

Выходную переменную $y(t)$ получаем путем последовательного интегрирования старшей производной $p^n y(t)$. Для этого потребуются n последовательно включенных интеграторов, сигналы на входах которых представляют собой производные $y(t)$ от $p^n y(t)$ до $py(t)$.

Запись дифференциального уравнения (5) в виде

$$p^n y(t) = \frac{1}{a_n} [-a_{n-1} p^{n-1} y(t) - \dots - a_1 p y(t) - a_0 y(t) + b_0 u(t)] \quad (6)$$

обнаруживает, что высшую производную $p^n y(t)$ можно получить, умножив выходные переменные интеграторов на соответствующие коэффициенты от a_{n-1} до a_0 , просуммировав результаты, вычтя эту сумму из переменной $b_0 u(t)$ и умножив полученную таким образом переменную на коэффициент $1 / a_n$ (рис. 1).

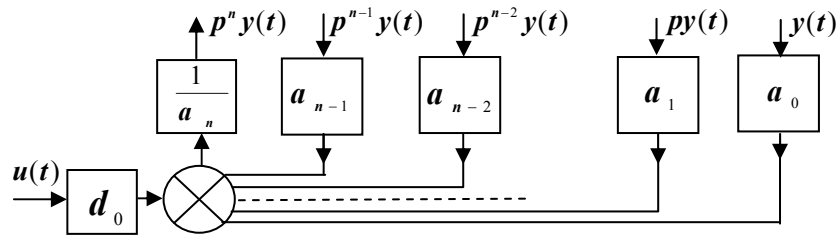


Рис. 1. Схема получения высшей производной
Fig. 1. Scheme reception of the higher derivative

Структурная модель динамического процесса, описываемого дифференциальными уравнениями в виде (5) или (6), представлена на рис. 2.

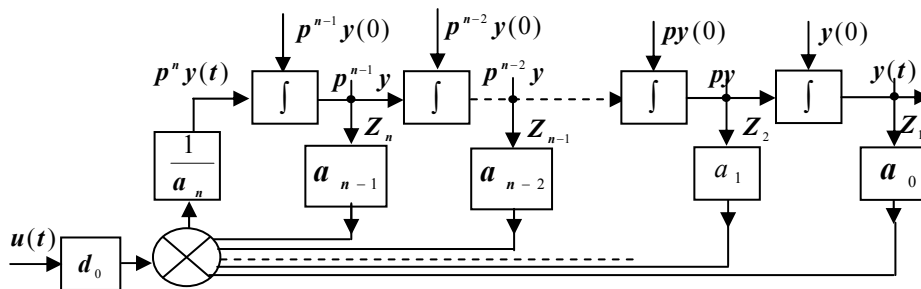


Рис. 2. Структурная модель динамического процесса
Fig. 2. Structural model of dynamic process

Передаточную функцию легко записать (1), если заменить обозначение интеграла в соответствующих блоках модели (см. рис. 2) оператором $1/p$, то по этой модели можно записать передаточную функцию (4).

В ином виде можно представить динамический процесс, структура которого показана на рис. 3, используя аналитическую запись дифференциального уравнения n -го порядка (5) в виде системы n дифференциальных уравнений первого порядка с подстановками $y(t) = z_1(t)$; $py(t) = z_2(t)$ и т.д. до $p^{n-1}y(t) = z_n(t)$ с начальными условиями $z_i(0) = y_{i0}$, где $\alpha_i = a_i/a_n$ и $\beta_n = b_0/a_n$.

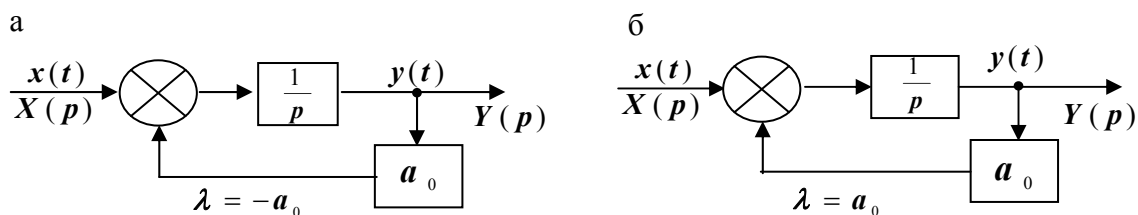


Рис. 3. Системы с отрицательной (а) и положительной обратной связью (б)
Fig. 3. Systems with negative (a) and positive feedback (б)

Структурная математическая модель динамического процесса, показанная на рис. 2, обладает следующими преимуществами:

- во-первых, она дает наглядное представление понятию “состояние системы” как совокупности сигналов на выходах интеграторов;
- во-вторых, в явном виде представляет структуру связей между переменными в системе с обратной связью. В матричном виде структурная модель представлена на рис. 4.

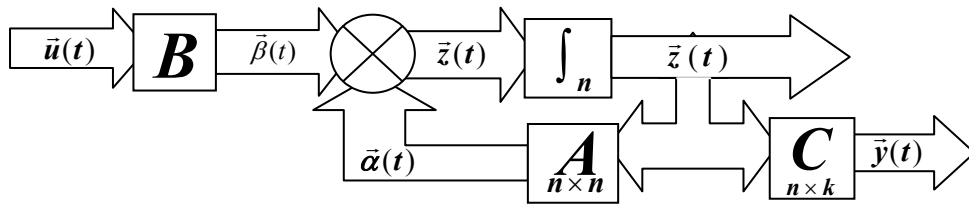


Рис. 4. Структурная модель в матричном исполнении
 Fig. 4. Structural model in matrix execution

Последовательное n -кратное интегрирование представлено в ней n -мерным интегратором \int_n , преобразующим n -мерный вектор $\bar{z}(t)$ в состояние системы $\bar{z}(t)$. Векторный сигнал $\bar{z}(t)$ формируется n -мерным сумматором из двух компонент: вектора управления $\bar{\beta}(t)$ и вектора обратной связи по состоянию $\bar{\alpha}(t)$. Матрица обратной связи A формирует сигнал $\bar{\alpha}(t)$ из вектора состояния $\bar{z}(t)$. Матрица управления B преобразует m -мерный вектор входных воздействий $\bar{u}(t)$ в n -мерный вектор управлений $\bar{\beta}(t)$, а матрица C преобразует n -мерный вектор состояния $\bar{z}(t)$ в k -мерный выход

$$\bar{y}(t) = C \bar{z}(t). \tag{7}$$

Для случая, представленного развернутой структурной моделью (см. рис. 2), управление $u(t)$ – скалярная переменная, $m = 1$ и матрица B вырождается в вектор-столбец с единственным ненулевым коэффициентом β . Матрица C преобразует n -мерный вектор состояния $\bar{z}(t)$ в одномерный скалярный выход $y(t) = z_1(t)$.

Передаточную функцию (4) можно представить в виде произведения элементарных сомножителей

$$W(p) = \frac{b_0}{a_n} \frac{1}{p - \lambda_1} \frac{1}{p - \lambda_2} \dots \frac{1}{p - \lambda_n} = \frac{b_0}{a_n} \prod_{i=1}^n \frac{1}{p - \lambda_i}, \tag{8}$$

где λ_i – корни характеристического уравнения

$$\sum_{i=1}^n a_i p^i = 0. \tag{9}$$

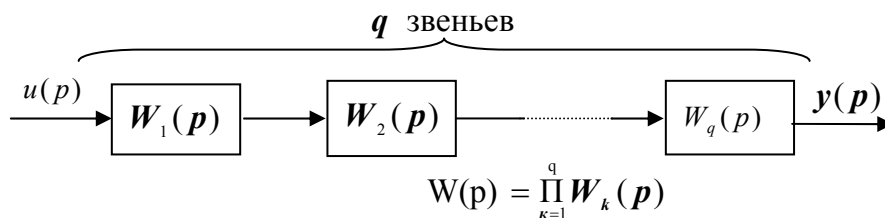


Рис. 5. Последовательное соединение элементарных звеньев
 Fig. 5. Consecutive connection of elementary links

Корни уравнения (9) являются действительными или комплексно-сопряженными числами.

Передаточная функция системы, показанной на рис. 3, а, имеет вид

$$W_a(p) = \frac{1}{(p + a_0)}. \quad (10)$$

Для системы с положительной ОС (см. рис. 3, б) коэффициент в цепи ОС – корень характеристического уравнения, и поэтому эта структурная модель непосредственно реализует сомножитель вида $1 / (p - \lambda)$. Соответствующее ему типовое звено называют *аперидическим* или *инерционным*.

Передаточную функцию приводим к виду со свободным членом в знаменателе, равным единице:

$$W_a(p) = \frac{k}{T_a p + 1}, \quad (11)$$

где $T_a = 1 / a_0$ и $k = 1 / a_0 = T_a$.

Для структурной модели с несколькими контурами обратной связи передаточная функция колебательного звена равна

$$W_k(p) = \frac{1}{p^2 + a_1 p + a_0}. \quad (12)$$

При $a_1 = 0$ она принимает вид

$$W_k(p) = \frac{1}{p^2 + a_c}. \quad (13)$$

Характеристическое уравнение $p^2 + a_0 = 0$ имеет чисто мнимые сопряженные корни

$$p_{1,2} = \pm j\sqrt{a_0} = \pm jw_0, \quad (14)$$

а реакция звена (13) на ступеньку на входе представляет собой незатухающие гармонические колебания с частотой w_0 . Коэффициент a_0 равен квадрату резонансной частоты колебательного звена. При $a_1 \neq 0$ характеристическое уравнение имеет корни

$$p_{1,2} = \lambda_{1,2} = -\frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_1}{2}\right)^2 - a_0}. \quad (15)$$

При $a_1 / 2 < w_0$ корни становятся комплексно-сопряженными

$$p_{1,2} = \lambda_{1,2} = -\frac{a_1}{2} \pm jw_0 \sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{2}\right)^2}. \quad (16)$$

Собственная частота w_1 равна

$$w_1 = w_0 \sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{2w_0}\right)^2}. \tag{17}$$

Она проявляется в виде частоты колебаний на выходе звена при ненулевых начальных условиях или при подаче на вход звена единичной ступеньки вида

$$h(t) = k \left[1 - e^{-\beta t} \left(\cos w_1 t + \frac{\beta}{w_1} \sin w_1 t \right) \right] \cdot 1[t].$$

Параметр $\xi = a_1 / 2w_0$ называют степенью затухания, а $\beta = \xi w_0$ – коэффициентом затухания. Коэффициент модели $a_1 = 2w_0\xi = 2\beta$ равен удвоенному коэффициенту затухания β .

Передаточную функцию колебательного звена

$$W_k(p) = \frac{1}{p^2 + 2\xi w_0 p + w_0^2} \tag{18}$$

часто приводят к виду со свободным членом в знаменателе, равным 1:

$$W_k(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi w_0 T p + 1}, \tag{19}$$

где $T = 1 / w_0$ – постоянная времени колебательного звена; в нашем случае $k = T^2 = 1 / a_0$.

Структурная модель, показанная на рис. 6, реализует пару сомножителей вида $\frac{1}{p - \lambda} \cdot \frac{1}{p - \lambda^*}$, соответствующих паре комплексно-сопряженных корней $\lambda, \lambda^* = -\beta \pm jw_1$.

Запись передаточной функции в виде произведения дробей (8) можно рассматривать как еще одно аналитическое представление системы. Также это представление возможно в виде последовательно соединенных элементарных звеньев, приведенных на рис. 3, б и 5, соответствующих корням характеристического уравнения (8) этой системы (рис. 6).

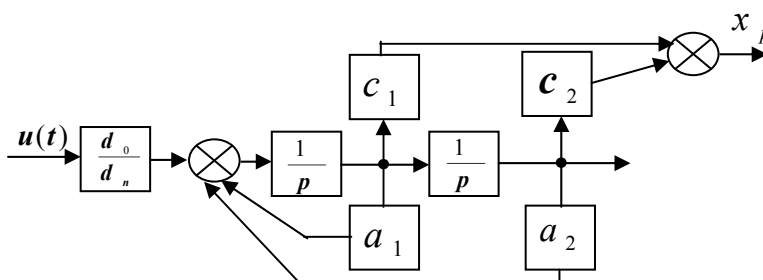


Рис. 6. Схема с комплексно-сопряженными корнями
Fig. 6. Scheme with complex conjugate roots

Передаточную функцию (8) в случае действительных различных корней можно преобразовать к виду

$$W(p) = \frac{b_0}{a_n} \prod_{i=1}^n \frac{1}{p - \lambda_i} = \frac{b_0}{a_n} \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{p - \lambda_i}, \tag{20}$$

соответствующему параллельному соединению элементарных звеньев вида $1 / (p - \lambda_i)$ (рис. 7).

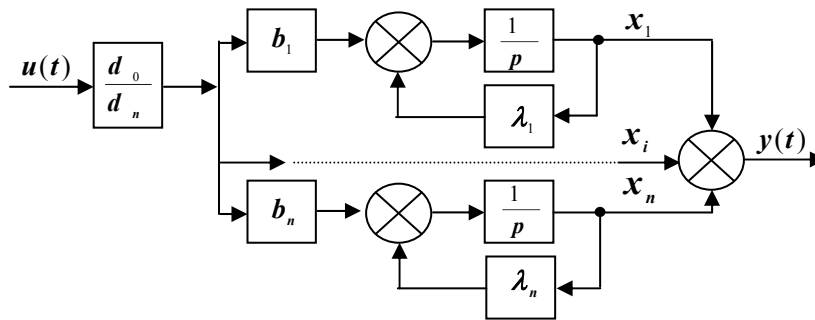


Рис. 7. Параллельное соединение элементарных звеньев
Fig. 7. Parallel connection of elementary links

Значение коэффициента β_i находят как вычеты функции комплексного переменного $W(p)$ в полюсах или рассчитывают методом неопределенных коэффициентов. Такая модель непосредственно соответствует аналитической записи общего решения как линейной комбинации частных решений, определяемых корнями характеристического уравнения в виде

$$y(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{\lambda_i t}, \quad (21)$$

где c_i – коэффициенты, рассчитываемые по начальным условиям.

Эта модель удобна для графоаналитического расчета переходной характеристики системы как суммы переходных характеристик входящих в ее состав типовых звеньев.

В случае кратных действительных корней можно использовать структурную модель, показанную на рис. 8.

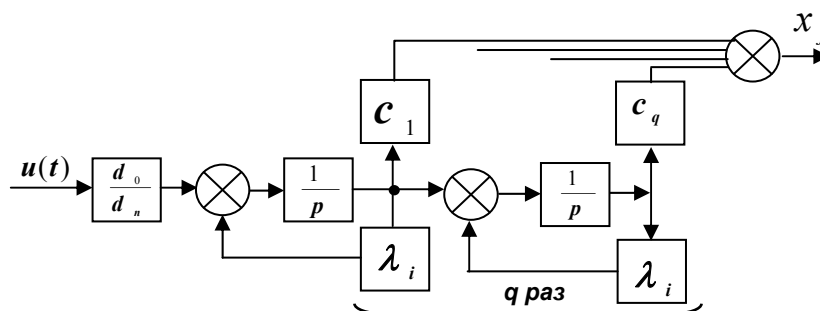


Рис. 8. Схема с действительными корнями
Fig. 8. The Scheme with the valid roots

Коэффициенты C_i для этих моделей удобнее всего рассчитать методом неопределенных коэффициентов. В матрице Λ колебательным звеньям соответствуют элементы вида

$$\begin{vmatrix} -\beta & w_1 \\ -w_1 & -\beta \end{vmatrix}$$

Для системы с передаточной функцией общего вида

$$W(p) = \frac{\sum_{k=0}^m b_k p^k}{\sum_{i=0}^n a_i p^i} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} \dots b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0} \quad (22)$$

запишем изображение Лапласа выходной переменной $y(p)$ как

$$y(p) = \sum_{k=0}^m b_k p^k \frac{1}{\sum_{i=0}^n a_i p^i} u(p). \quad (23)$$

Введем дополнительную переменную $z(p)$ в виде

$$z(p) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n a_i p^i} u(p), \quad (24)$$

передаточная функция для которой $W(p) = z(p) / u(p)$ совпадает с передаточной функцией (4) при $b_0 = 1$.

Из соотношений (23) и (24) можно записать

$$y(p) = \sum_{k=1}^m b_k p^k z(p). \quad (25)$$

Из этого уравнения следует, что сигнал $y(t)$ можно получить суммированием компонент состояния с выходов интеграторов, умноженных на соответствующие коэффициенты от b_0 до b_{n-1} при $m = n$ и высшей производной $p^n z(t)$, умноженной на коэффициент b_n (рис. 9).

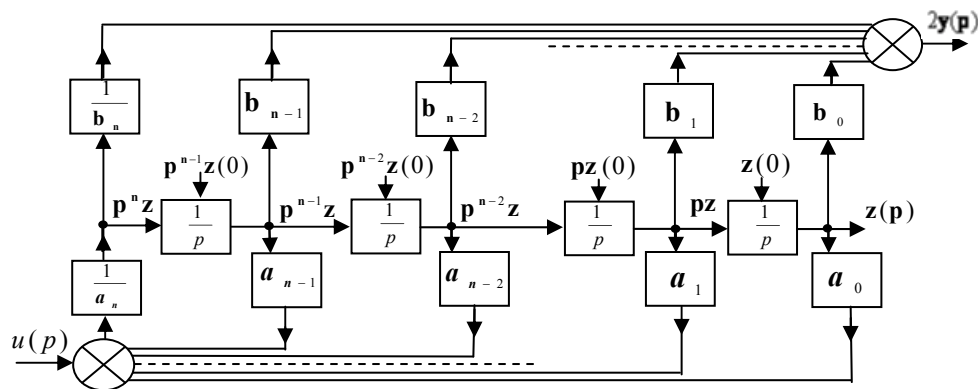


Рис. 9. Структурная модель систем общего вида
Fig. 9. Structural model of systems of a general view

Если $m < n$, то коэффициенты $b_k = 0$ для всех $k > m$. В таком представлении n -мерный интегратор с матрицей обратной связи и n -мерным сумматором на входе (см. рис. 2) по-прежнему моделирует преобразование скалярного входа $u(t)$ в состояние системы $\vec{z}(t)$, в совокупность коэффициентов b_i .

Сумматор 2 на рис. 9 представляет блок C структуры на рис. 2, преобразующий состояние $\vec{z}(t)$ в скалярный выходной сигнал $y(t)$ таким образом, чтобы зависимость последнего от входного сигнала $u(t)$ удовлетворяла дифференциальному уравнению общего вида (1).

Другой вариант структурной модели для системы общего вида показан на рис. 10.

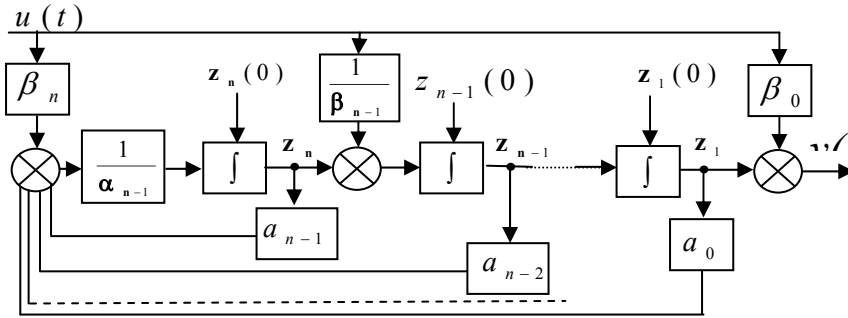


Рис. 10. Вариант структурной модели для систем общего вида
Fig. 10. Variant of structural model for systems of the general

Коэффициенты β_k этой модели рассчитывают по формулам

$$\left. \begin{aligned} \beta_0 &= \frac{1}{a_n} b_n; \\ \beta_1 &= \frac{1}{a_n} (b_{n-1} - \beta_0 a_{n-1}); \\ \beta_2 &= \frac{1}{a_n} (b_{n-2} - \beta_0 a_{n-1} - \beta_1 a_{n-1}); \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

По структурной модели (см. рис. 10) получаем систему n -уравнений первого порядка

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{z}_1(t) &= z_2(t) + \beta_1 u(t); \\ \dot{z}_2(t) &= z_3(t) + \beta_2 u(t); \\ &\dots \\ \dot{z}_n(t) &= -\frac{1}{a_n} \sum_{i=0}^n a_i z_i(t) + \frac{\beta_n}{a_n} u(t), \end{aligned} \right. \quad (27)$$

представляем ее в развернутой матричной форме

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1(t) \\ \dot{z}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{z}_{n-1}(t) \\ \dot{z}_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & & 1 \\ -\alpha_0 & -\alpha_1 & -\alpha_2 & \dots & -\alpha_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ \vdots \\ z_{n-1}(t) \\ z_n(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_{n-1} \\ \beta_n \end{bmatrix} u(t), \quad (28)$$

где $\alpha_i = a_i / a_n$

и записываем векторное уравнение

$$\dot{\bar{z}}(t) = A\bar{z}(t) + \bar{B}u(t). \tag{29}$$

Структурная модель на рис. 10 показывает, что и в этом случае состояние системы $\bar{z}(t)$ есть совокупность сигналов на выходах интеграторов (см. рис. 2), но их входные сигналы формируются как линейные комбинации компонент состояния $z_i(t)$ и управлений от вектора входных коэффициентов \bar{B} (блок B и сумматор на рис. 2). Скалярный выход $y(t)$ формируется из компонента $z_1(t)$ и управления $u(t)$ как $y(t) + \beta_0 u(t)$.

Передаточную функцию общего вида (22) можно разложить на элементарные сомножители, найдя не только ее полюса (10), но и нули, как корни уравнения

$$b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0 = 0, \tag{30}$$

которое получают, приравняв нулю числитель передаточной функции.

Передаточная функция в виде произведения элементарных сомножителей

$$W(p) = \frac{\prod_{k=0}^m (p - \gamma_k)}{\prod_{i=0}^n (p - \lambda_i)}, \tag{31}$$

где λ_i – полюса и γ_k – нули передаточной функции, рассматривают как последовательное соединение типовых звеньев следующего вида:

- инерционно-дифференцирующего звена

$$W_1(p) = \frac{p - \gamma_\ell}{p - \lambda_\ell}; \tag{32}$$

- колебательного звена с дифференцированием

$$W_2(p) = \frac{p - \gamma_r}{p^2 + 2\xi w_{0r} p + w_{0r}^2}; \tag{33}$$

- колебательного звена с двойным дифференцированием

$$W_3(p) = \frac{p^2 + 2\xi_s w_{0s} p + w_{0s}^2}{p^2 + 2\xi_q w_{0q} p + w_{0q}^2}. \tag{34}$$

Их структурные модели получаются как частные случаи общих моделей (см. рис. 10) при $n = 1$ и 2 .

Если собственные значения $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ матрицы A системы – действительные различные числа, то используем преобразование

$$\bar{x}(t) = P^{-1} \bar{z}(t), \tag{35}$$

где P – матрица Вандермонда.

Систему (35) можно преобразовать к виду

$$\vec{\dot{x}}(t) = \Lambda \vec{x}(t) + P^{-1} \vec{B}u(t), \quad (36)$$

где Λ – диагональная матрица собственных значений.

Преобразование изменяет вектор управления

$$\vec{U} = P^{-1} \vec{b}. \quad (37)$$

Используя последнее соотношение, можно записать

$$\vec{\dot{x}}(t) = \Lambda \vec{x}(t) + \vec{U}u(t). \quad (38)$$

Система (32) отличается вектором управления, компоненты которого u равны вычетам передаточной функции системы в полюсах и могут быть рассчитаны методом неопределенных коэффициентов.

Выводы

Рассмотренные варианты математического описания структурных представлений динамических процессов могут служить при разработке новых технических средств судов и исследования существующих для следующих целей :

- разработки программного обеспечения для анализа динамических характеристик технических средств судов;
- исследования динамических характеристик технических средств судов в различных режимах работы, особенно в граничных режимах работы.

Список литературы

1. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство / пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 238 с.
2. Баутин Н.Н. Поведение динамических систем вблизи границы области устойчивости. – М.: Наука, 1994. – 176 с.
3. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. – М.: Наука, 1990. – 312 с.

Сведения об авторах: Молочков Валентин Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: val_mol@mail.ru;
Молочкова Ирина Дмитриевна, доцент.

УДК 532.526 + 656.61

В.А. Плоткина¹, П.А. Стародубцев²¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия
имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток),
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ В МОРСКОЙ ТЕХНИКЕ

Рассматривается концепция способов и методов управления пограничным слоем в приложении механики жидкости морской техники. Раскрывается актуальность исследовательских процессов в области теории пограничного слоя.

Ключевые слова: пограничный слой, морская техника, невязкая и вязкая жидкости.

V.A. Plotkina, P.A. Starodubtcev

METHODS AND MEANS OF BOUNDARY LAYER MARINE APPLICATIONS

This article examines the concept of means and methods of controlling the boundary layer in the application of fluid mechanics marine equipment. Revealed the relevance of research in the field of boundary layer theory.

Key words: boundary layer, marine engineering, in viscid and viscous fluids.

Управление пограничным слоем характеризует исследовательский аспект выявления гидродинамических свойств подвижных объектов. Одной из основных задач при увеличении скорости движения судна остается влияние сил трения на ход движения при одновременном увеличении сопротивления движению, которые возникают в результате вязкости жидкости.

Как известно, свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению одной части относительно другой проявляется способностью быть вязкой. Вязкость отражает свойство жидкости сопротивляться относительному перемещению или сдвигу соседних частиц.

Для иллюстрации эффекта вязкости рассматривается обтекание плоской твердой поверхности потоком невязкой и вязкой жидкости в том числе. В невязкой (идеальной) жидкости (рис. 1, а) скорость потока по мере приближения к стенке не изменяется, жидкость свободно проскальзывает вдоль нее. Во втором случае (рис. 1, б) ближайšie к твердой поверхности частицы жидкости в результате трения «прилипают» к ней, так что скорость потока на ней становится равной нулю. По мере удаления от стенки частицы жидкости сдвигаются друг относительно друга, так как силы взаимного притяжения между молекулами самой жидкости меньше сил притяжения между молекулами и твердой стенкой. Однако эти силы будут препятствовать сдвигу, благодаря чему между слоями возникают касательные напряжения. По мере удаления от стенки скорости жидких частиц постепенно нарастают до заданной скорости набегающего потока (рис. 1, б). При умеренных давлениях вязкость жидкости, в частности воды, с повышением температуры падает.

Основной закон вязкого течения (жидкости) был установлен английским физиком, астрономом и математиком Исааком Ньютоном в 1687 г. для тонкого слоя жидкости, зажатою между пластинами, движущимися параллельно с разными скоростями v_1 и v_2 . Векторы скорости по всему слою жидкости направлены параллельно, модуль скорости линейно зависит от поперечной координаты (рис. 2). Закон утверждает, что на пластины будет действовать сила, величина которой определяется формулой

$$\tau = F_{\tau} = \mu \frac{v_1 - v_2}{\Delta Z} \cdot S,$$

где τ – касательные напряжения; F_{τ} – касательная к поверхности пластин сила, вектор которой совпадает по направлению с векторами v_1 и v_2 ; μ – коэффициент динамической вязкости; v_1 – скорость движения тонкого слоя жидкости относительно движения второго (последующего) слоя; v_2 – скорость движения второго слоя жидкости (рис. 2); S – площадь слоя, по которому происходит сдвиг; ΔZ – поперечная толщина исследуемого слоя.

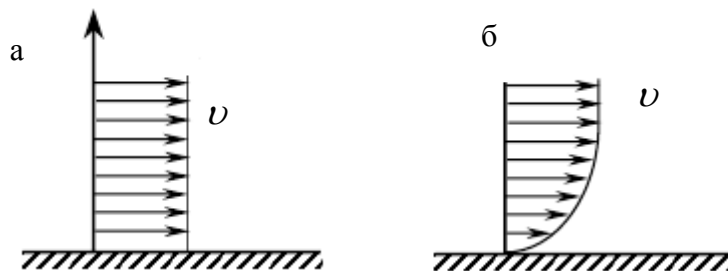


Рис. 1. Эпюры скоростей обтекания стенки жидкостью:
а – невязкой жидкостью; б – вязкой жидкостью

Fig. 1. Flow velocity profile wall liquid: a – a non-viscous liquid, б – a viscous liquid

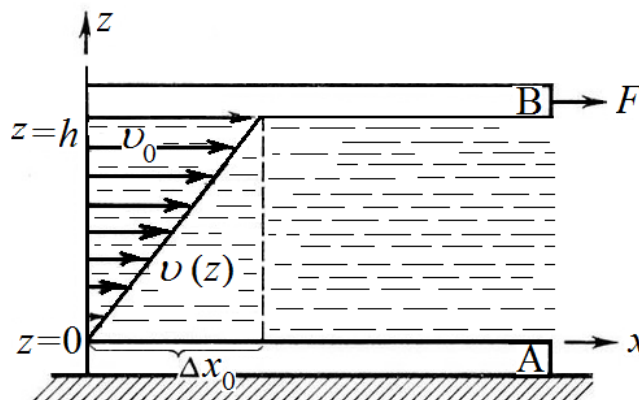


Рис. 2. Схема однородного вязкого течения слоя жидкости высотой h , заключенного между двумя твердыми пластинками, из которых нижняя А неподвижна, а верхняя В под действием тангенциальной силы F движется с постоянной скоростью v_0 ;
 $v(z)$ – зависимость скорости слоя от расстояния z до неподвижной пластинки

Fig. 2. Schematic of a homogeneous viscous flow of the liquid layer height h , enclosed between two solid plates, of which the lower A is fixed, and the top B in under the action of the tangential force F moves with constant velocity v_0 ; $v(z)$ – dependence of the velocity layer the distance z from the fixed plate

Коэффициент пропорциональности μ называется коэффициентом динамической вязкости или просто вязкостью. Он характеризует сопротивление жидкости смещению ее слоев относительно кормовой части судна. Кинематической вязкостью ν называется отношение динамической вязкости к плотности жидкости. В гидромеханике жидкости широко используется понятие кинематической вязкости.

У реальных жидкостей в основе вязкого трения лежит процесс обмена импульсами молекул, поэтому кинематическую вязкость часто называют в теории пограничного слоя коэффициентом кинематической молекулярной вязкости [1].

В развитие методов и способов управления пограничным слоем в приложении гидродинамики жидкости, подчиняющиеся основному закону вязкости жидкости или закону трения Ньютона, называются ньютоновскими жидкостями. Существуют и неньютоновские жидкости, у которых вязкие свойства более сложны (например: масла, пасты, смолы и др.). Ньютоновские и неньютоновские жидкости в последнее время вызывают активный интерес не только ученых, но и простых людей. Это связано с тем, что неньютоновская жидкость легко изготавливается своими руками и подходит для домашних опытов.

Формирование методов и способов управления пограничным слоем на этапах развития механики жидкости позволяет ученым-мыслителям и изобретателям-экспериментаторам провести теоретические выводы и лабораторные исследования в приложении развития теории сопротивления движения судов. Сопротивление жидкости, в частности воды, движению судов характеризуется необходимостью введения в практическую гидравлику отдельной теории, изучающей движение жидкости. В результате исторически возникла необходимость в выявлении теории гидродинамики жидкости, которая берет свое начало в результате развития гидростатических основ гидравлики как целостной науки. В свою очередь основы, положенные в развитие гидродинамики, служат первоначальным этапом возникновения необходимости в выделении отдельного направления, такого как «теория пограничного слоя».

Важно отметить следующее: рассмотренные предпосылки являются основополагающими как в дальнейшем развитии гидродинамики, так и в необходимости выделения отдельного научного направления под названием «теория пограничного слоя».

В настоящее время ученые, изобретатели и соискатели стремятся совершенствовать методику и способы управления пограничным слоем вблизи кормовой оконечности судна. При этом немаловажную роль играет исторический аспект формирования обводов корпуса корабля. Внешние очертания корпуса корабля задаются теоретическим чертежом корабля при проектировании и зависят от назначения судна, его размеров, скорости, района плавания, автономности и других условий. В значительной степени методы и способы управления пограничным слоем в кормовой оконечности судна определяются сопротивлением пограничного слоя воды его движению, напрямую связанным со свойством жидкой (морской или речной) среды быть вязкой.

XXI в. дал толчок совершенствованию различных методик по управлению пограничным слоем. Самыми актуальными являются методики, разработанные в совокупности сопоставления гидродинамических и аэродинамических аспектов исследовательской деятельности изобретателей.

Таким образом, современные экспериментальные исследования разграничивают теорию пограничного слоя на ламинарную и турбулентную. Данные исследования теории ламинарного пограничного слоя развиваются и ставят перед собой задачу определять новую методику измерений при сравнении их с классической методикой, т.е. совершенствование методов измерений параметров пограничного слоя. При всем многообразии методов исследования пограничного слоя до сих пор остается актуальным поиск методов, конкретизирующих реалистичность их применения. Поэтому группа ученых Калининградского государственного технического университета: А.В. Гриценко, Н.А. Мыслицкая, А.М. Иванов, И.Г. Самусев – на основе данных экспериментальных измерений методом фотонной корреляционной спектроскопии получили оценочные значения коэффициентов диффузии в 2–3-миллиметровом участке вязкого пограничного слоя для ламинарного потока при малых значениях числа Рейнольдса Re .

Метод фотонной корреляционной спектроскопии хорошо зарекомендовал себя в исследованиях микроструктуры жидкости в силу следующих особенностей: высокая пространственная и временная разрешающая способность ($\Delta r \sim 0,1$ мм; $\Delta t \sim 10^{-9}$ – 10^3 с), оптическое из-

лучение не возмущает исследуемую среду, отсутствие инерционности. Благодаря этим преимуществам метод получил широкое распространение в гидродинамических исследованиях, связанных с развитием морской техники.

Калининградские ученые для проведения исследований собрали экспериментальную установку (рис. 3). В процессе эксперимента исследовались процессы, протекающие в пристеночном слое ламинарного потока при малой скорости направленного переноса. В результате проведенных исследований ламинарного потока при малых значениях Re было получено подтверждение ранее полученных экспериментальных и теоретических результатов, т.е. отчетливое разделение потока на слои – вязкий подслой, буферная зона и ядро. Большая разрешающая способность и другие свойства фотонной корреляционной спектроскопии позволили провести исследования потока. В результате обнаружили хороший потенциал метода применительно к дальнейшим исследованиям пограничного слоя в развитии морской техники, процессов седиментации или осаждения (оседание частиц дисперсной фазы в жидкости или газе под действием гравитационного поля или центробежных сил) и деседиментации частиц, взвешенных в потоке жидкости [2]. Данный эксперимент раскрыл потенциал исследовательской базы ламинарного пограничного слоя применительно к нуждам морского рыболовства Российской Федерации.

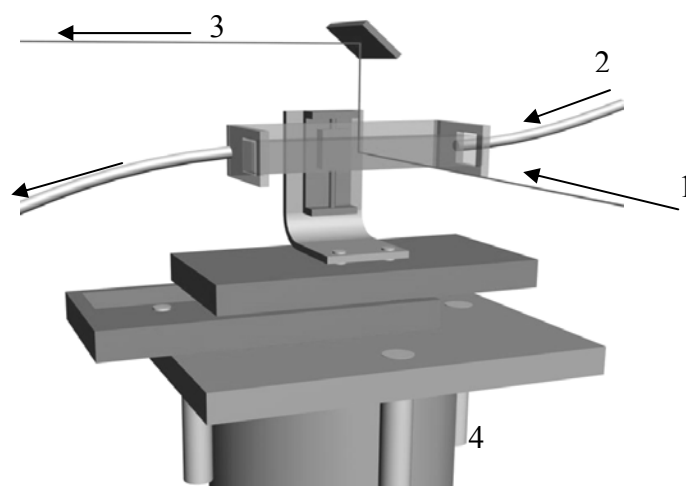


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – источник излучения: одномодовый He-Ne лазер (15 мВт; 632,8 нм); 2 – кювета размером (150/20/20 мм) с рассеивающими на входе и выходе сетками, через которые проходил поток дистиллированной воды; 3 – фотоэлектронное устройство «Photocor Instruments», работающее в режиме счета фотонов; 4 – коррелятор «Photocor-FC» 32-битный 282-канальный (разрешающая способность 25 нс), подключенный к компьютеру
Fig. 3. Experimental setup: 1 – light source: a single-mode He-Ne laser (15 mW, 632.8 nm); 2 – cell size (150/20/20 mm) with scattering at the entrance and exit grids through which a stream of distilled water; 3 – photoelectron device «Photocor Instruments», working in photon counting mode; 4 – correlator «Photocor-FC» 32-bit 282-channel (25 ns resolution) connected to a computer

В морской отрасли результативными являются исследования турбулентных течений. Исследование турбулентных пограничных слоев без градиента давления позволяет определить предельную высоту элементов шероховатости, которая при обтекании корпуса корабля не вызывает увеличения сопротивления. Для кораблей допустимая высота шероховатости составляет несколько сотых миллиметра. Практически такая степень гладкости для судна неосуществима. Поэтому при проектировании кораблей необходимо считаться со значитель-

ным повышением сопротивления вследствие шероховатости, что влияет на маневренные качества кораблей. В морских силах для оценки ходовых качеств корабля целесообразно рассматривать трехмерные пограничные слои. Исследование пограничного слоя на телах вращения или турбулентного трехмерного пограничного слоя позволяет выявить влияние центробежных сил гребного винта на управляемость корабля.

Связь между распределением скоростей и распределением температуры раскрывает теория турбулентного пограничного слоя с учетом сжимаемости течения. Корпус кораблей представляет собой сложное инженерное сооружение, которое должно учитывать взаимосвязь всех факторов. На практике кормовая часть и обводы корпуса судна диктуются требованиями: минимальное сопротивление при движении и минимальный уровень создаваемого гидроакустического давления. Результативность данных требований на морских кораблях решается конструктивно. А именно, у морских кораблей передняя часть носа заострена (рис. 4). Именно возникающее внутренне трение в жидкости характеризует наличие данных конструктивных решений.



Рис. 4. Фотографии рыболовецких судов с заостренной кормовой частью
Fig. 4. Photos of fishing vessels with a pointed aft

Турбулентность возникает самопроизвольно, когда соседние области морской среды следуют рядом или проникают один в другой, при наличии перепада давления или при наличии силы тяжести, или когда области среды обтекают непроницаемые поверхности. Она может возникать при наличии вынуждающей случайной силы. Обычно внешняя случайная сила и сила тяжести действуют одновременно. Например, при маневрировании рыболовного судна по акватории внутри морской воды возникают силы, способствующие перемешиванию частиц жидкости, вызывающие впоследствии турбулентность. Мгновенные параметры потока (скорость, температура, давление, концентрация примесей) при этом хаотично колеблются вокруг средних значений, что может привести к гидравлическим потерям, например, в трубопроводе корабельных систем, появлению неустановившегося движения жидкости и другим нежелательным явлениям. Теоретические основы турбулентности как основополагающей теории турбулентного пограничного слоя далеки до завершения, поэтому широкое распространение в морской области нашли полуэмпирические феноменологические модели.

Разработанные математические модели позволили сформировать математическую теорию пограничного слоя. При этом большой вклад на начальном этапе внес российский ученый, профессор, доктор физико-математических наук Сергей Александрович Ломов. Впервые теория пограничного слоя излагается с позиции особых точек теории дифференциаль-

ных уравнений. С.А. Ломов предложил новый подход к понятиям асимптотического ряда и псевдоаналитической функции. Пограничный слой представляется в виде псевдоаналитической функции. Новый подход на базе метода регуляризации сингулярных возмущений позволил сформулировать критерий правильности математического описания пограничного слоя и развить регулярную теорию для сингулярно возмущенных задач [3]. Ученик С.А. Ломова Г.С. Каниев в своей кандидатской диссертации продолжил развитие метода регуляризации на параболические задачи с дискретным и непрерывным спектром.

Большинство математических моделей, которые используются в инженерных расчетах, относятся к моделям турбулентной вязкости для исследования простых и сложных течений, окружающих корабль. А также к моделям турбулентной теплопроводности, моделям для учета шероховатости поверхности корабля, моделированию двухфазного турбулентного пограничного слоя, моделированию эффектов воздействия на пограничный слой слабых растворов полимерных и других добавок и многим другим моделям.

Математическим моделированием теории турбулентного пограничного слоя занимаются и зарубежные ученые. В частности, украинские ученые Национального авиационного университета В.Т. Мовчан и Е.А. Шквар сформулировали основные вехи исследований в области моделирования турбулентных течений вязкой жидкости. Учеными была предложена алгебраическая модель с поправочными коэффициентами на исследование отрывного течения пограничного слоя. Полученные результаты В.Т. Мовчан и Е.А. Шквар сравнили посредством сопоставления выполненных расчетов с экспериментальными данными турбулентных пограничных слоев. В итоге украинские исследователи представили результаты моделирования турбулентной вязкости, продемонстрировав преимущества разработанной математической модели [4]. Как следует из представленных результатов, расчеты в целом адекватно воспроизводят тенденции изменения рассчитываемых параметров турбулентного течения.

Гидравлические системы характеризуют совокупность элементов, воздействующих на текучую среду таким образом, что свойства каждого элемента оказывают влияние на состояние текучей среды во всех элементах системы. В гидросистемах уменьшение гидравлического напора характеризуется потерей энергии движущейся жидкости. Источником потерь во всех случаях является вязкость жидкости. В результате в данных системах возникает увеличение гидравлического сопротивления при перекачивании жидкости, например по трубопроводу. В итоге возникает необходимость в дополнительных устройствах, назначение которых снижать гидравлическое сопротивление. При наличии большого гидравлического сопротивления в трубопроводах корабельных систем может возникнуть обводнение, изнашивание и другие нежелательные явления, приводящие к нарушению работоспособности всех агрегатов корабля в целом. В рыболовецком деле данные явления недопустимы, поэтому ученые выполняют дополнительно поиск решения данной проблемы. Данными изысканиями озабочены многие ученые-экспериментаторы. В частности, в 2005 г. группа ученых Волгоградского государственного технического университета: А.Б. Голованчиков, Л.А. Ильина, А.В. Ильин, Н.А. Дулькина, А.Б. Дулкин, Д.С. Карашук – запатентовали устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе. Устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе (рис. 5) может применяться в гидравлической, химической, нефтехимической, фармакологической и других отраслях промышленности, связанных с гидротранспортом вязких ньютоновских и неньютоновских жидкостей, суспензий и растворов [5]. Но особенно данное устройство актуально в трубопроводах гидросистем морских кораблей. При этом нельзя исключать и возможность применения других запатентованных устройств.

Предложенное устройство позволяет создать в трубопроводах корабельных систем устойчивый пристенный газовый слой из электролитических газов при небольших расходах электроэнергии и параметрах электричества. Таким образом, осуществляя управление пограничным слоем с помощью изменения токовых параметров, можно оптимизировать процесс

перекачивания жидкости с образованием устойчивого газового или жидкого слоя необходимой толщины в зависимости от удельного электрического сопротивления текучей среды, давления и расхода.

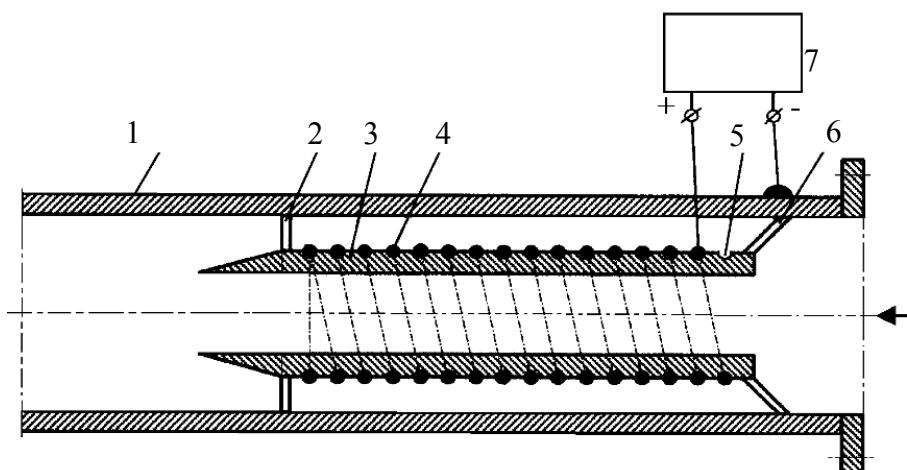


Рис. 5. Схема устройства для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе: 1 – трубопровод; 2 – опора; 3 – трубки; 4 – проволока; 5 – спиральные канавки; 6 – опора; 7 – источник тока
 Fig. 5. Diagram of the device to reduce the hydraulic losses in the pipeline: 1 – line; 2 – suspension; 3 – tube; 4 – wire; 5 – spiral groove; 6 – bearing; 7 – current source

С характером распределения давления в пограничном слое связано явление отрыва пограничного слоя от стенки трубопровода. При утолщении пограничного слоя вниз по течению в нем возникает возвратное течение. Это влечет за собой вынос гидравлической жидкости, заторможенной в пограничном слое, во внешнее течение, вследствие чего последний оттесняется от тела – эффект отрыва пограничного слоя (рис. 6). На диффузорном участке давление увеличивается, а скорость уменьшается. Так как у поверхности стенки трубопровода частицы газа обладают малой кинетической энергией, то в некоторой точке частицы не могут преодолеть давление и останавливаются. Отрыв потока возникает также при течении жидкости в канале, резко расширяющемся в направлении течения. При расширении канала трубопровода происходит возрастание давления в направлении течения, что приводит к отрыву потока с образованием вихрей. Но если на стенках производится отсасывание пограничного слоя, то отрыв не возникает.

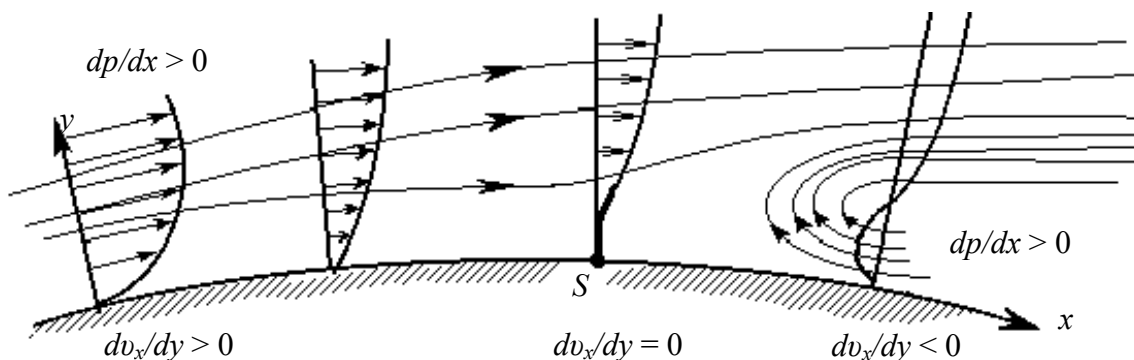


Рис. 6. Отрыв пограничного слоя (точка S – точка отрыва)
 Fig. 6. Separation of the boundary layer (point S – the point of separation)

С проблемой отрыва пограничного слоя от стенки обтекающего тела, например, рыболовецкого корабля, столкнулись еще в древности, но успешных решений в данной области достигнуто было мало. Поэтому данным направлением успешно занялись исследователи Казанского федерального университета. В частности Рамиль Аделевич Валитов занялся вплотную проблемой отрыва пограничного слоя и высказал предположение о необходимости активного управления потоком в целях предотвращения отрыва и уменьшения сопротивления движению текучих сред [6]. Кроме этого, его сподвижники Д.Ф. Абзалилов и Н.Б. Ильинский занялись поиском оптимальных решений для устранения отрыва пограничного слоя. Выполнив ряд расчетов, ученые-исследователи на примере движущейся стенки поставили и решили задачу нахождения оптимальных параметров данной стенки, при которых достигается безотрывное течение и минимальная величина результирующего коэффициента сопротивления. При этом параметрами поставленной задачи являлись положение движущейся стенки, продольный размер стенки и скорость движения [7].

Данные выводы позволили аргументировать необходимость изучения эффекта отрыва пограничного слоя, например, от корпуса рыболовного корабля. Результаты многолетних исследований показали, что величина сопротивления трения зависит от скорости движения корабля, от размеров и степени шероховатости подводной части корабля, а также от физических свойств жидкости – плотности и вязкости морской воды. На сопротивление трения большое влияние оказывает режим движения жидкости внутри пограничного слоя вдоль поверхности корпуса корабля.

В результате в XXI в. проводятся численные и экспериментальные исследования в области изучения свойств температурного и диффузионного пограничных слоев. Данные исследования затрагивают больше аэродинамическую область науки, где зачастую рассматривается влияние термоэффекта на структуру пограничного слоя вблизи летательных аппаратов. В гидродинамике эти исследования затруднены из-за отсутствия больших опытовых бассейнов, моделирующих структуру жидкого теплового и диффузионного пограничных слоев. В то время как данная проблема в аэродинамике решается с помощью аэродинамических труб. Данные аспекты ни как не являются отрицательной стороной исследований пограничного слоя в гидродинамике. Это утверждение только раскрывает перспективное направление в развитии теории пограничного слоя на рубеже XXI в., особенно в морских нуждах страны. Особый интерес вызывают исследования истечения струи газа через слой жидкости (рис. 7). Моделирование многофазных (гетерогенных) течений является одним из современных направлений, которому в последнее время уделяется большое внимание в военном деле. Этот подход позволяет изучать на современном уровне двухфазные течения в различных технологических гидравлических устройствах, поскольку методики, основанные на теории однофазных жидкостей, не всегда дают необходимые прогнозные оценки параметров потоков.

Сочетание гидродинамических и аэродинамических исследовательских направлений позволяет совершенствовать способы и методы управления пограничным слоем. Методы управления пограничным слоем для уменьшения или увеличения сопротивления тел и тепло-, массообмена между телами и потоками указывает теория пограничного слоя. На практике применяются два способа управления пограничным слоем. Первый: искусственная ламинаризация пограничного слоя заключается в увеличении точки перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный для уменьшения трения и тепло-, массообмена между поверхностью тела и потоком жидкости, которая заключается в уменьшении толщины пограничного слоя, интенсивности турбулентности набегающего потока, градиента давления и высоты гребешков шероховатости. Эффективными методами уменьшения толщины ламинарного пограничного слоя является охлаждение обтекаемой стенки, удаление с поверхности тела наиболее заторможенных слоев отсосом или сдувом пограничного слоя перед ожидаемой точкой перехода, а также

применение ламинаризованных устройств. Второй способ приемлем для увеличения трения, теплообмена и диффузии. При этом следует турбулизовать пограничный слой.

На основании всех данных, приведенных выше, можно видеть, что гидравлика занимает одну из ведущих позиций в современной морской технике, без которой невозможно было бы обойтись в современном мире. Без гидравлических компонентов и систем невозможно было бы судостроение и многое другое.

Анализ полученных результатов в приложении развития теории по исследованию движения тела в жидкости показал, что высокая эффективность изучения поведения тела в движении относительно текучей среды возможна только в целенаправленном исследовании теории пограничного слоя. Целью данного анализа является изучение основных вопросов, связанных в концептуальном приложении с исследованием задач взаимодействия структуры течения в пограничном слое с реальными движущимися объектами в жидкой или газообразной среде.

Выявленные предпосылки влекут за собой направленный интерес ученых и экспериментаторов в обнаружении новых методов и способов управления пограничным слоем. В итоге были выделены такие способы управления пограничным слоем, как отсос, вдув, математическое моделирование и многие другие. При этом особый интерес представлен работами по исследованию гидродинамических свойств морских подвижных объектов с применением систем автоматизированного проектирования судна, которые осуществляются с помощью гидродинамических расчетов, основанных на основных известных пакетах гидродинамического анализа FlowVision, SolidWorks+COSMOSEloWorks, ANSYS. При данных исследованиях определение гидродинамической силы, включающей инерционную и вязкостную составляющие, осуществляется аналитическими или экспериментальными методами с использованием систем автоматизированного проектирования [8]. При этом выбор систем автоматизированного проектирования характеризуется как с экономическим фактором, так и с возможностью интеграции с уже внедренными средствами на предприятии средствами проектирования.

Проведенный анализ способов и методов управления пограничным слоем в морской технике раскрывает перспективность исследовательского научного направления. В то же время позволяет продолжить исследования в данной области, ориентируясь на современные технологии. При этом содержание статьи раскрывает лишь некоторые из существующих методов и способов управления пограничным слоем.

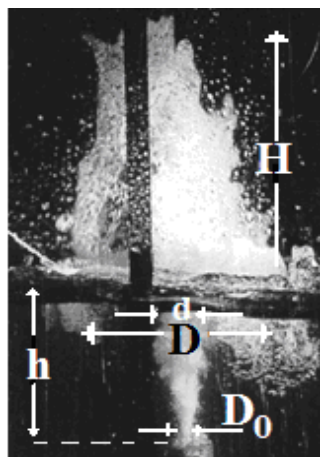


Рис. 7. Фотография истечения газа через слой жидкости
Fig. 7. Photo expiration gas through the fluid layer

Предложенные способы и методы дают возможность совершенствовать и «оттачивать» методику исследовательских процессов в области ламинарного и турбулентного пограничного слоя. Благодаря теории пограничного слоя появляется необходимость учитывать влияние вязкой жидкости на кормовую часть и обводы морского судна. Развитие современных способов и методов управления пограничным слоем позволит охарактеризовать улучшение мореходных качеств морской техники, в том числе и в промышленный период. При всем многообразии методов и способов управления пограничным слоем насущной задачей исследования теории пограничного слоя является подготовка и настройка специализированных методов и программ, необходимых для достоверной оценки всевозможных методов управления пограничным слоем, которые могут повлиять на конструктивные особенности морских судов и характер их движения в морской акватории.

Список литературы

1. Плоткина В.А., Стародубцев П.А. Зарождение и развитие теории пограничного слоя в гидравлике // История науки техники. – 2014. – № 5. – С. 10-20.
2. Гриценко А.В. Исследование пограничного слоя ламинарного потока жидкости в гладкой трубе методом фотонной корреляционной спектроскопии / А.В. Гриценко, Н.А. Мыслицкая, А.М. Иванов, И.Г. Самусев // Изв. КГТУ. – 2009. – № 16. – С. 197-203.
3. Ломов С.А., Ломов И.С. Основы математической теории пограничного слоя. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2011. – 456 с. – <http://www.knigafund.ru/books/138665/read>.
4. Мовчан В.Т., Шквар Е.А. Математическое моделирование пограничных слоев // Прикладная гидромеханика. – 2005. – Т. 7 (79), № 3-4. – С. 73-85.
5. Пат. 2241868 Российская Федерация, F15D1/06, F17D1/20. Устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе; заявитель и патентообладатель / Голованчиков А.Б., Ильин А.В., Ильина Л.А., Лобойко В.Ф., Якушко М.В. Волгоградский гос. техн. ун-т; № 2003110552/06; заявл. 14.04.2003; опубл. 10.12.2004, Бюл. № 12.
6. Валитов Р. А. Применение устройств активного управления пограничным слоем с учетом энергетических затрат для предотвращения отрыва потока // Тр. Математического центра имени Н.И. Лобачевского: материалы Восьмой молодежной научной школы-конференции «Лобачевские чтения – 2009»; Казань, 1-6 ноября 2009 г. – Казань: Казан. матем. об-во, 2009. – Т. 39. – С. 147-148.
7. Абзалилов Д.Ф., Валитов Р.А., Ильинский Н.Б. Поиск оптимальных параметров движущейся стенки для устранения отрыва пограничного слоя // Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике: тез. докл. Междунар. конф., посвященной 110-летию академика М.А. Лаврентьева. – Новосибирск: Ин-т гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 2010. – С. 55.
8. Маттис А.В., Коптилкин А.А. Исследование гидродинамических свойств морских подвижных объектов с применением САПР // Автоматизация процессов управления. – 2011. – № 2. – С. 39-42.

Сведения об авторах: Плоткина Виктория Александровна, старший преподаватель,
e-mail: vika_plotkina@mail.ru;
Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,
e-mail: spa1958@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 534.222

С.А. Бахарев¹, А.В. Карасев², В.В. Карасев²

¹ЦНИИ «Курс», 105187, г. Москва, Кирпичная ул., 34а

²Дальневосточный государственный технических рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

К ВОПРОСУ СУШКИ РЫБЫ В АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Обсуждается проблема удаления влаги из рыбы в естественных условиях (под навесом) и в конвективно-тепловых сушильных камерах (КТСК). Показано, что процесс естественной сушки протекает с большими временными затратами, а процесс тепловой сушки в КТСК идет неравномерно и сопровождается значительным расходом тепловой энергии. Кроме того, в последнем случае теряется часть полезных компонентов, и ухудшаются вкусовые качества продукта.

Предлагается для интенсификации процесса удаления влаги из рыбы в естественных условиях при полном сохранении ее вкусовых качеств, а также для обеспечения равномерности удаления влаги при существенном сокращении расхода тепловой энергии в низкотемпературных акустических сушильных камерах (НАСК) использовать акустические волны различной интенсивности.

Предлагается также дополнительно использовать низкочастотные электромагнитные волны для обеззараживания рыбы, а акустические волны специальной формы – для противодействия насекомым и грызунам.

Приводятся результаты удаления влаги из рыбы, полученные в процессе промышленных испытаний разработанного метода в Республике Корея (2006–2008 гг.) и Вьетнаме (в 2009–2013 гг.).

Ключевые слова: рыба, продукция из рыбы, сушка, конвективно-тепловая сушка, акустика, нелинейная акустика, акустические волны, электромагнитные волны, акустическая сушильная камера.

S.A. Baharev, A.V. Karasev, V.V. Karasev

TO A QUESTION OF DRYING OF FISH IN ACOUSTIC FIELDS

It is discussed problems of removal of moisture from fish under natural conditions (under a canopy) and in the convective and thermal drying cameras (CTDC). It is shown that process of natural drying proceeds big time expenditure, and process of thermal drying goes to KTSK unevenly and is followed by a considerable expense of thermal energy. Besides, in the latter case, the part of useful components is lost and product tastes worsen.

It is offered, for an intensification of process of removal of moisture of fish under natural conditions at full preservation of her tastes, and also for ensuring uniformity of removal of moisture at essential reduction of an expense of thermal energy in the low-temperature acoustic drying cameras (LTADC) to use acoustic waves of various intensity.

It is offered to use also in addition low-frequency electromagnetic waves for disinfecting of fish, and acoustic waves of a special form – for counteraction to insects and rodents.

The results of removal of moisture from fish received in the course of industrial tests of the developed method in the Republic of Korea (2006-2008) and Vietnam are given (in 2009–2013).

Key words: fish, production from fish, drying, convective and thermal drying, acoustics, nonlinear acoustics, acoustic waves, electromagnetic waves, the acoustic drying camera.

Еще с древних времен известны способы удаления влаги (сушки) из сырья (например, тушек рыбы, мяса животных и др.) в естественных условиях, когда практически полностью сохраняются все ценные компоненты (белок, витамины и др.) в них и вкусовые качества готового продукта. Однако при этом продолжительность процесса сушки продуктов иногда занимает от нескольких месяцев (например, вяление рыбы) до двух лет (например, вяление мяса) и т.д. [1–3, 7–9].

Современный человек, в интересах получения сверхприбыли за счет существенного сокращения продолжительности технологического процесса удаления влаги, использует в качестве сушильного агента нагретый (до 60 °С и более) воздух (пар и т.д.). При этом совершенно не принимает во внимание существенное ухудшение качества (например, за счет разрушения белка) получаемого продукта. Кроме того, из-за неравномерности тепловой сушки одна часть продукта пересушивается (например, поверхность и хвостовая часть рыбы), а другая – не досушивается (например, толстые слои мяса и головная часть рыбы).

Для примера на рис. 1 (фото) иллюстрируется процесс сушки (вяления) рыбы в естественных условиях (рис. 1, а) и в конвективно-тепловой сушильной (КТСК) камере (рис. 1, б), поставляемой в Россию и в другие страны, на базовом (при проведении тестирования разработанной технологии акустической сушки) предприятии во Вьетнаме, находящимся в провинции Борея-Вунгтау.



Рис. 1. Существующие способы удаления влаги из рыбы:

а – сушка рыбы в естественных условиях; б – сушка рыбы в конвективно-тепловой камере

Fig. 1. Existing methods of moisture removal fish:

a – drying fish in natural conditions; б – drying fish in convective-heat chamber

С другой стороны, в ряде случаев (например, сезон дождей в странах Юго-Восточной Азии и т.д.) сушка продуктов в естественных условиях просто невозможна. При этом также не следует забывать тот факт, что в процессе удаления влаги в естественных условиях (например, под навесом) не обеспечивается сохранность полуфабриката от насекомых (например, мух и т.д.) и грызунов (например, мышей и др.).

Тем не менее даже при этих противоречивых требованиях оказалось возможным найти альтернативу энергозатратному и недостаточно качественному (в первую очередь, из-за частичного разрушения белка и неравномерности сушки) конвективно-тепловому способу удаления влаги.

В работах [3, 5, 6] разработана методология удаления влаги из продуктов (рыбы, мяса и др.) в акустических полях при относительно низких (менее 35 °С) температурах сушильного агента. При этом оказались возможными четыре варианта технологического процесса удаления влаги:

- удаление свободной (находящейся в тканях) и связанной (находящейся в клетке) влаги из сырья (полуфабриката) в естественных условиях (под навесом) до конечной влажности продукта (например, до влажности 10–15 %);

- удаление свободной влаги из сырья в естественных условиях до «транспортной» (например, 20–25 %) влажности продукта с последующим удалением связанной влаги в КТСК или в низкотемпературной акустической сушильной камере (НАСК);

- ускоренное удаление свободной влаги из сырья в НАСК до «транспортной» влажности продукта с последующим удалением связанной влаги в КТСК;

- ускоренное удаление свободной влаги и связанной влаги из сырья в НАСК.

В процессе низкотемпературного удаления влаги в акустических волнах различной интенсивности имеет место целый спектр гидродинамических, механических и тепловых явлений. В частности [2–6]:

1. Гидродинамические явления в процессе акустического удаления влаги:

- разрушение и/или снижение толщины приповерхностного диффузного слоя (ППДС);

- перепады давления над поверхностью;

- акустические потоки вдоль поверхности;

- акустические завихрения вблизи препятствия (вблизи неровностей на поверхности);

- пульсации пара в освобожденных от влаги капиллярах и т.д.

2. Механические явления в процессе акустического удаления влаги:

- снижение вязкости жидкости;

- выдавливание влаги из капилляров;

- образование и схлопывание газовых пузырьков в капиллярах;

- распыление влаги в капиллярах и т.д.

3. Тепловые явления в процессе акустического удаления влаги:

- интенсификация движения молекул влаги;

- нагрев тканей на молекулярном уровне и т.д.

При этом для реализации линейных акустических механизмов удаления влаги требуется излучать акустические волны с амплитудой звукового давления выше 135 дБ относительно порогового уровня на расстоянии 1 м от излучателя, а при реализации нелинейных акустических механизмов – выше 175 дБ.

В общем случае вяление рыбы – это медленное обезвоживание соленой рыбы в естественных или искусственных условиях при температуре воздуха ниже точки начала свертывания белка – не выше 35 °С [1, 7–9]. При вялении рыбы происходят сложные биохимические процессы, связанные с обезвоживанием и уплотнением продукта, изменением белков и жира под влиянием температуры, света и воздуха, а также с перераспределением жира в тканях. Мясо рыбы теряет сырой вкус (т.е. созревает), приобретая специфический вкус и аромат, становится пригодной для использования в пищу без дополнительной кулинарной обработки.

Созревание вяленой рыбы связано с воздействием на белки и жиры мяса рыбы клеточных и тканевых ферментов. Жир освобождается из клеток, пропитывает всю мышечную ткань рыбы, в результате чего она приобретает янтарный цвет и особые вкусовые качества. Для хорошего созревания рыбы необходимы дневной свет, умеренная положительная температура воздуха. При этом важно вовремя прекратить процесс, так как даже небольшая передержка существенно ухудшает качество получаемого продукта.

Обычно в промышленном рыболовстве используются жирные и полужирные рыбы: корюшка, мойва, сельдь, камбала, минтай, голец и др. Сырье поставляют в свежем, охлажденном, мороженом или соленом виде. При этом готовую продукцию выпускают в виде: неразделанной, потрошеной с головой или без головы рыбы, а также в виде спинки – балыка, боковины и др.

Разновидностью вяленой продукции является провесная рыба, которую изготавливают из жирного (не менее 12 % от массы тела) сырья путем непродолжительного провяливания

до содержания влаги в готовом продукте 55–60 %. Такая рыба имеет нежную консистенцию, невысокое содержание соли и относится к деликатесной продукции [1, 7–9].

Сушка рыбы (холодная или горячая) также (как и вяление) не рассматривается только как механическое удаление влаги из рыбы.

В общем случае продолжительность сушки зависит [1–9]:

- от температуры сушильного агента (прямо пропорционально). Однако чрезмерное увеличение температуры может вызвать нежелательные изменения в продукте, связанные с денатурацией белков и окислением жира. Поэтому тощую рыбу сушат при более высокой температуре, чем жирную. Крупная рыба, разделанная на тушку или на балык, не выдерживает повышенной температуры сушки и скисает. Это вызвано длительным нахождением внутренних, медленно высыхающих слоев мяса в нагретом состоянии, что способствует повышению активности ферментов мышечной ткани рыбы и развитию микробиальной порчи;

- относительной влажности воздуха (наиболее целесообразно 40...60 % в зависимости от сырья). Установлено, что при относительной влажности более 65 % сушка рыбы резко замедляется, а при 80 % начинается обратный процесс;

- скорости движения воздуха (интенсивности испарения воды с поверхности рыбы не была слишком высокой). В противном случае поверхность очень быстро высыхает, а образующаяся корочка замедляет (а иногда и приостанавливает) процесс сушки. При слишком малой скорости процесс протекает очень медленно, что приводит к порче продукта – он покрывается плесенью и слизью;

- характеристик (размеры, жирность и др.) и химического состава сырья;

- способа разделки сырья и т.д.

Обычно в промышленном рыболовстве в качестве сырья используют рыбу: треску, минтай, лосось, сельдь, камбалу, корюшку и др., а также морепродукты: кальмар, гребешок, морскую капусту и др.

Возвращаясь к процессу сушки (холодной или горячей), следует отметить, что над поверхностью высушиваемого субстрата (сырца, полуфабриката и т.д.) всегда присутствует приповерхностный диффузный слой (ППДС), который существенно препятствует удалению влаги (массопереносу) с поверхности. Поэтому одна из основных задач – ликвидация или уменьшение толщины ППДС.

Для примера на рис. 2 представлен внешний вид (рис. 2, *a* – спереди, рис. 2, *б* – сбоку) тушки рыбы в процессе типовой конвективно-тепловой сушки.

Как видно из рис. 2, над всей высушиваемой поверхностью полуфабриката (тушки рыбы) присутствует ППДС (пунктирная линия). При этом внутри тушки рыбы: температура – минимальная T_{\min} , а влажность – максимальная W_{\max} , в то время как на поверхности тушки рыбы: температура – максимальная T_{\max} , а влажность – минимальная W_{\min} . Благодаря подводимому теплу интенсифицируется колебательное движение молекул влаги, и она (влажность) по кратчайшему расстоянию выходит на поверхность. Однако наличие больших градиентов температуры и влажности является причиной деформации тканей рыбы в процессе ее конвективно-тепловой сушки.

На рис. 3 иллюстрируются, в виде линий, изменения влажности W внутри (индекс 1) и на поверхности (индекс 2) тушки рыбы в процесс высокотемпературной (температура сушильного агента выше 35 °С) тепловой сушки (рис. 3, *a*) и низкотемпературной (температура сушильного агента ниже 35 °С) акустической сушки (рис. 3, *б*).

Как видно из рис. 3, в процессе высокотемпературной сушки (рис. 3, *a*) влажность внутри и на поверхности тушки рыбы уменьшается по линейному закону, но с разной скоростью, в то время как в процессе низкотемпературной акустической сушки (рис. 3, *б*) процессы удаления влаги подчиняются другим закономерностям. В частности:

- в начальный период сушки за счет выдавливания свободной влаги (под действием, в первую очередь, постоянной составляющей акустического поля) из центра тушки рыбы на

периферию влажность на поверхности даже увеличивается. При этом влажность внутри тушки уменьшается более интенсивно по сравнению с высокотемпературной сушкой;

- в процессе сушки градиенты температуры и влажности гораздо ниже, чем при высокотемпературной сушке;

- на завершающем этапе удаление влаги изнутри и снаружи идет более плавно по сравнению с высокотемпературной сушкой.

Для примера на рис. 4 (фото) иллюстрируется внешний вид тушек рыб до начала (рис. 4, а) удаления влаги (начальная влажность 87 %) и в процессе (через 18 ч) удаления влаги (рис. 4, б) конвективно-тепловым способом (три ближние тушки рыб на рис. 4, б) и акустическим способом (четыре дальние тушки рыб на рис. 4, б).

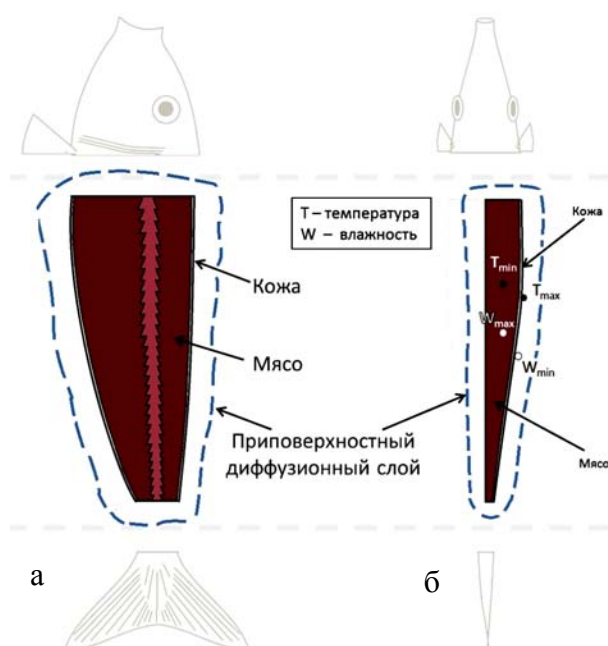


Рис. 2. Внешний вид тушки рыбы в процессе типовой конвективно-тепловой сушки:

а – вид на тушку рыбы спереди; б – вид на тушку рыбы сбоку

Fig. 2. The appearance of the fish carcass in the process model convective-heat drying:

а – view of the carcass of the fish in front; б – view of the fish carcass on the side

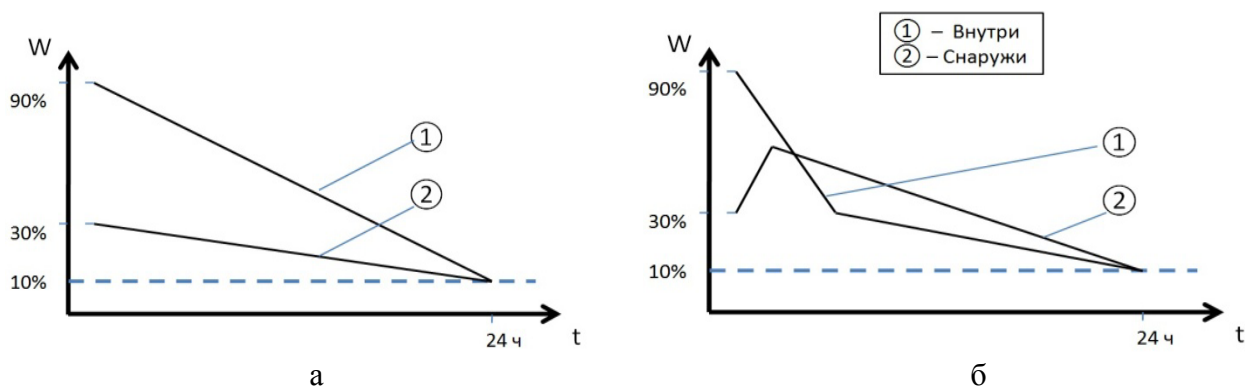


Рис. 3. Изменения влажности тушек рыб в процессе тепловой и акустической сушки

Fig. 3. Changes in the moisture content of the carcasses of fish in the process thermal and acoustic dryers



Рис. 4. Внешний вид тушек рыб в процессе тепловой и акустической сушки рыбы:
 а – до начала удаления влаги; б – в процессе удаления влаги
 Fig. 4. The appearance of the carcasses of fish in the course of thermal and acoustic fish drying:
 а – prior to the removal of moisture; б – in the process of moisture removal

Как видно из рис. 4, б, тушки рыб после акустического удаления влаги в течение 18 ч имеют более темный (внутренняя влажность 34 %) вид, чем при традиционной конвективно-тепловой сушке (внутренняя влажность 52 %).

На рис. 5 иллюстрируется структурная схема мобильной (на базе 20-футового контейнера, способного к перемещению абсолютно всеми видами транспорта) НАСК, предназначенной для низкотемпературного удаления влаги из тушек рыб.

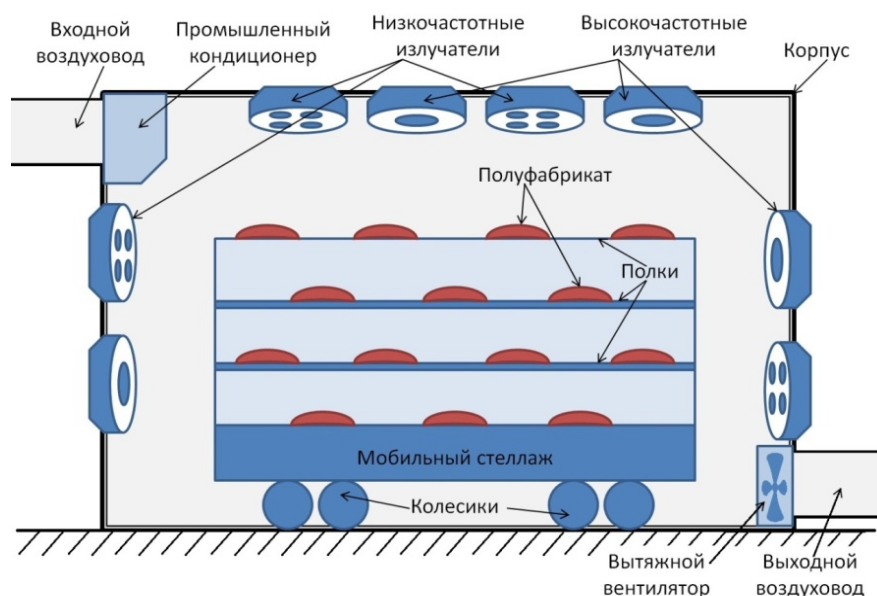


Рис. 5. Структурная схема мобильной низкотемпературной акустической сушильной камеры
 Fig. 5. Structural diagram of a mobile low-temperature acoustic drying chamber

Как видно из рис. 5, в состав НАСК входят следующие модули:

- модуль подготовки, подведения и отведения сушильного агента (далее МСА) на базе: входного воздуховода и промышленного кондиционера, установленных в верхней части НАСК, вытяжного вентилятора и выходного воздуховода, установленных с противоположной стороны в нижней части НАСК;

- модуль раскладки полуфабриката (далее МПФ) на базе нескольких (в зависимости от длины НАСК) мобильных (на колесиках) стеллажей с полками для тушек рыб;

- акустический модуль (далее АКМ) на базе нескольких (в зависимости от геометрических размеров НАСК) низкочастотных (НЧ) – ниже 12 кГц и высокочастотных (ВЧ) – выше 12 кГц акустических излучателей, установленных сверху и сбоку по отношению к полкам МРФ. При этом в качестве излучателей могут использоваться пьезоэлектрические или газоструйные акустические излучатели.

При этом следует отметить, что в состав НАСК входит электронный модуль (далее ЭЛМ) на базе компьютера и нескольких (в зависимости от числа электроакустических излучателей) многоканальных усилителей мощности, который может быть размещен как внутри, так и снаружи НАСК. При использовании газоструйных акустических излучателей применяют компрессор.

Кроме того, в состав НАСК входит модуль управления (далее МУП) на базе компьютера и распределенных внутри НАСК датчиков: температуры, относительной влажности и скорости движения сушильного агента, который размещен внутри.

Для примера на рис. 6 (фото) представлен внешний вид электроакустических излучателей (рис. 6, а) и усилителей мощности (рис. 6, б), серийно выпускаемых в Италии и Германии, соответственно, применяемых (после модернизации) для акустического удаления влаги с использованием только линейных акустических механизмов.

Как видно из рис. 6, используемое оборудование (акустическое и электронное) отличается незначительными весогабаритными характеристиками.

В данной работе предлагается одновременно с акустическим удалением влаги из тушек рыб осуществлять акустическое отпугивание паразитов, насекомых и грызунов, а также электромагнитное уничтожение паразитов.



Рис. 6. Внешний вид электроакустических излучателей и усилителей мощности
Fig. 6. The appearance of electroacoustic transducers and amplifiers

Кратко опишем вариант многоэтапного удаления влаги из рыбы (вяление рыбы) в промышленных условиях – с одновременной защитой полуфабриката от паразитов, насекомых и грызунов.

На предварительном этапе, после обескровливания рыбы (путем перерезания межжаберного промежутка и сердечной луковички), ее потрошения и пластации, а также отделения головы от тушки и удаления хребтовой кости, получают полуфабрикат рыбы с влажностью ~80–85 %.

На первом этапе полученный полуфабрикат раскладывают (вручную или автоматически) на сетки кожей сверху и таким образом, чтобы после поднятия сеток на угол α_1 (~60°) хво-

стовая (наиболее тонкая и длинная) часть каждого полуфабриката оказывалась внизу, а головная (наиболее мясистая и короткая) часть – вверху. Затем сетки с полуфабрикатом под углом α_1 размещают в устройстве, исключающим, с одной стороны, скатывание полуфабриката, а, с другой стороны – обеспечивающим свободное движение несвязанной (свободной) влаги и рыбьего жира вдоль волокон полуфабриката под действием силы тяжести G .

При этом устройство установлено под навесом, исключающим попадание дождя, в том числе и при боковом ветре, а также прямых лучей солнца, что позволяет избежать «загара» и перегрева, а также повышенного облучения солнечной радиацией полуфабриката. Под навесом также размещены: датчик температуры окружающего воздуха T и датчик относительной влажности атмосферного воздуха W , несколько (не менее трех обеспечивающих принудительное движение атмосферного воздуха) мобильных (быстро устанавливаемых и быстро демонтируемых) рабочих вентиляторов с плавно изменяющейся производительностью, обеспечивающих, в случае если скорость движения атмосферного воздуха V_a меньше 2–3 м/с, искусственным путем поддержание равномерной по всей площади навеса скорости движения окружающего воздуха не менее 2–3 м/с; несколько – не менее шести (не менее двух для каждого из трех каналов), идентичных друг другу акустических излучателей трехканального акустического тракта, обеспечивающих под углом сверху вниз по всей площади сеток с полуфабрикатом излучение акустических волн.

Затем осуществляют формирование, усиление и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе – сочетая режимы излучения и паузы, заложенной в блоке управления – на базе персонального компьютера, а также благодаря первому коммутатору каналов трехканального акустического тракта, акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более низкочастотных (НЧ) – F_{ci} и более высокочастотных (ВЧ) – f_{ci} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м². При этом акустические волны на частотах F_{ci} применяют для акустической сушки больших и жирных тушек полуфабриката, а также полуфабриката с большой относительной влажностью, в то время как акустические волны на частотах f_{ci} применяют для акустической сушки тонких и нежирных тушек полуфабриката, а также на заключительном этапе сушки полуфабриката.

В процессе гравитации G , естественного капиллярного давления $P_{ЕКД}$ и естественной диффузии D_E , а также под воздействием акустических волн на частотах F_{ci} и f_{ci} под углом сверху вниз по всей площади сеток с полуфабрикатом:

- первая, незначительная (~10 % из ~80 %) часть жидкости в виде связанной влаги вытесняется по кратчайшим путям, совпадающим с вектором (направлением) акустического давления из толщи мяса полуфабриката на его поверхность, дополнительно увеличивая тем самым ее влажность. Именно по этой причине требуется естественным или искусственным путем обеспечить достаточно интенсивное (3...5 м/с) и равномерное движение атмосферного воздуха вдоль поверхности полуфабриката;

- вторая, существенная (~30 % из ~80 %) часть жидкости в виде свободной влаги, активно перемещаясь вдоль тканей полуфабриката в его более тонкую (поэтому быстро сохнущую) хвостовую часть, увлажняет ее и предотвращает пересыхание тонкой части полуфабриката. Поэтому также требуется обеспечить достаточно интенсивное (не менее 3...5 м/с) движение атмосферного воздуха вдоль всей поверхности полуфабриката;

- третья, основная (~40 % из ~80 %) часть жидкости в виде свободной и связанной влаги распределяется по всему объему частично высушенного (до ~40 %) полуфабриката. При этом благодаря превращению на молекулярном уровне части акустической энергии в тепловую энергию осуществляют дополнительную акустическую сушку полуфабриката, особенно его более удаленных от поверхности частей, а удаление влаги с поверхности полуфабриката и его тепловую сушку осуществляют за счет движения со скоростью V_a (не менее 3 м/с) су-

шильного агента (окружающего атмосферного воздуха) с температурой T_a (~30 °С) и относительной влажностью W_a (~30 %).

Вся оставшаяся свободная влага (~35 % из ~40 %), сосредоточенная в полостях клеток полуфабриката, и связанная влага (~5 % из ~40 %), сосредоточенная в оболочках клеток полуфабриката, составляет ~40 % влажности частично высушенного полуфабриката. При этом:

- время частичной акустической сушки полуфабриката в естественных условиях (под навесом) составляет 4–8 ч в зависимости от характеристик (геометрические размеры, жирность и др.), химического состава сырья и способа его разделки, а также в зависимости от температуры, относительной влажности, скорости движения атмосферного воздуха и др.;

- благодаря частичной акустической сушки полуфабриката в естественных условиях в дальнейшем – после окончательной сушки – получают продукцию с высокими органолептическими и вкусовыми показателями;

- благодаря воздействию акустических волн (релаксации мышечных тканей, освобождению связанной влаги, равномерному перераспределению влаги к поверхностным частям, равномерному распределению оставшейся влаги и т.д.) на частотах на F_{ci} и f_{ci} общий процесс сушки в естественных условиях идет более равномерно, без пересыхания поверхностных слоев и образования корок на них, без создания градиентов влажности и температуры внутри полуфабриката и т.д., а также без изменения его биологического состава.

Одновременно с этим осуществляют формирование, усиление до необходимого уровня и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе – сочетая режимы излучения и паузы, заложенной в блоке управления – на базе персонального компьютера, а также благодаря первому коммутатору каналов трехканального акустического тракта, акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более НЧ – F_{oi} и более ВЧ – f_{oi} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м².

При этом излучение акустических волн на частотах F_{oi} и f_{oi} (непрерывные и квазинепрерывные по длительности, амплитудно-модулированные, частотно-модулированные и другие сигналы сложной формы и т.д.), являющихся по своей сущности биорезонансными – их частоты близки к собственным частотам болезнетворных микроорганизмов, модулированы по амплитуде и частоте (фазе) сигналами инфразвукового диапазона частот 3–12 Гц и т.д., осуществляют в интервалы времени, когда излучения акустических волн на частотах F_{ci} и f_{ci} (непрерывные и квазинепрерывные по длительности, гармонические сигналы по форме и т.д.), являющихся по своей сущности чистыми тонами – их частоты близки к музыкальным нотам, не производят.

Под воздействием акустических волн биорезонансным методом на частотах F_{oi} и f_{oi} производят частичное (5–10 %) обеззараживание – частичное уничтожение различных инфекций: на частотах F_{oi} – личинок анизакид, имеющих собственную резонансную частот Ω_j , на частотах f_{oi} – бактерий, имеющих собственную резонансную частот Ω_l , и др.

Одновременно с этим осуществляют формирование, усиление до необходимого уровня и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе – сочетая режимы излучения и паузы, заложенной в блоке управления, а также благодаря первому коммутатору каналов акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более НЧ – F_{ni} и более ВЧ – f_{ni} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м².

При этом излучение акустических волн на частотах F_{ni} и f_{ni} (импульсные и квазинепрерывные по длительности, амплитудно-модулированные, частотно-манипулированные и другие сигналы сложной формы и т.д.), являющихся по своей сущности энергетическими – вызывающими болевой эффект у насекомых и грызунов, подавляющими их каналы ориентации в пространстве и т.д., а также информационными – вызывающими у грызунов чувство трево-

ги, осуществляют в интервалы времени, когда излучения акустических волн на частотах F_{ci} и f_{ci} , а также на частотах F_{oi} и f_{oi} не производят.

Под воздействие акустических волн на частотах F_{ni} и f_{ni} насекомые и грызуны стараются быстро покинуть зону акустического облучения, а после нескольких воздействий стараются покинуть данное пространство, несмотря на приманивающий пищевой рефлекс.

На втором этапе частично высушенный в естественных условиях (под навесом) до относительной влажности $\sim 40\%$ полуфабрикат на тех же сетках устанавливают в идентичные друг другу подвижные стеллажи, оборудованные колесиками и ручными стопорами для фиксации колесиков, на которых (стеллажах) сетки установлены под углом наклона α_2 ($\sim 10^\circ$), меньшим, чем угол наклона α_1 , что не только полностью исключает скатывание полуфабриката с пониженной, $\sim 40\%$, влажностью, но и обеспечивает относительно свободное движение оставшейся несвязанной влаги вдоль волокон полуфабриката под действием силы тяжести, а также освобождение связанной (молекулярными связями и др.) влаги – под действием (в дальнейшем технологическом процессе) акустических волн, из глубины на поверхность полуфабриката по кратчайшему пути.

В дальнейшем стеллажи с сетками вкатывают в предварительную конвективно-тепловую сушильную камеру (ПКТСК) и расставляют в ней таким образом, чтобы обеспечить равномерное движение сушильного агента со скоростью V_{CA} по всему объему ПКТСК. При этом колесики стеллажей ставят на стопора, исключаяющие их (стеллажей) самопроизвольное движение по наклонному полу ПКТСК; в процессе переустановок сеток контролируют и при необходимости (в случае прилипания, что возможно для жирного и большого по размерам сырца) частично шевелят по сетке отдельные экземпляры полуфабриката.

Затем по процедуре, описанной выше, осуществляют предварительную акустическую сушку уже частично высушенного (до влажности $\sim 40\%$) в естественных условиях полуфабриката при заданной технологическим процессом относительной влажности и температуре, с получением предварительно высушенного полуфабриката с относительной влажностью ($\sim 25\%$), предварительное (\sim до уровня 25%) акустическое обеззараживание полуфабриката, а также полное (\sim до 100%) акустическое отпугивание насекомых и грызунов (оказавшихся в ПКТСК, например, в процесс погрузки полуфабриката и т.д.) от полуфабриката.

Одновременно с этим осуществляют конвекционно-тепловую сушку и предварительное (\sim до уровня 50%) обеззараживание полуфабриката в электромагнитных полях. Для чего в блоке подготовки сушильного агента, входящего в систему подготовки, распределенного подвода и распределенного отвода сушильного агента, а также его равномерного движения в ПКТСК и в основной конвективно-тепловой сушильной камере (ОКТСК) атмосферный воздух подают в главный подготовитель сушильного агента (например, калорифер и т.д.) и готовят его в соответствии с заданными, в первую очередь для ОКТСК, параметрами: температура T_0 , относительная влажность W_0 и объем V_0 .

Затем с помощью отводного воздуховода через главный распределитель часть V_2 сушильного агента с температурой T_0 и относительной влажностью W_0 подают на первый вход смесителя сушильного агента. Одновременно с этим отработанный в ОКТСК сушильный агент с температурой T_1 , меньшей T_0 , и с относительной влажностью W_1 , большей W_0 , подают на первый вход смесителя.

Затем сушильный агент с температурой T_2 , меньшей T_1 и тем более T_0 , и с относительной влажностью W_2 , большей W_1 и тем более W_0 , подают в ПКТС, а с помощью распределенных по объему ПКТСК мобильных рабочих вентиляторов с плавно изменяющейся производительностью обеспечивают равномерное по всему объему ПКТСК движение сушильного агента с параметрами T_2 и W_2 .

Равномерно движущийся по объему ПКТСК сушильный агент с параметрами T_2 и W_2 осуществляет нагрев полуфабриката и снятие влаги с его поверхности. В дальнейшем отра-

ботанный сушильный агент с параметрами: температурой T_3 , меньшей, чем T_2 , T_1 и тем более T_0 , и относительной влажностью W_3 , большей, чем W_2 , W_1 и тем более W_3 , через равномерно распределенные по ПКТСК несколько воздухоотборников при помощи вытяжного вентилятора, проходя через сменный воздушный фильтр и очищаясь в нем от вредных веществ, через второй отводной воздуховод выбрасывается в атмосферу.

Вся оставшаяся свободная влага (~20 % из ~25 %), сосредоточенная в полостях клеток полуфабриката, и связанная влага (~5 % из ~25 %), сосредоточенная в оболочках клеток полуфабриката, составляет ~25 % влажности частично высушенного полуфабриката. При этом время предварительной акустическо-конвективно-тепловой сушки полуфабриката в искусственных условиях (в ПКТСК) определяется технологическим процессом и составляет 2–4 ч в зависимости от характеристик, химического состава сырья и способа его разделки; благодаря воздействию акустических волн (релаксации тканей, освобождению связанной влаги, равномерному перераспределению влаги к поверхностным частям, а также равномерному распределению оставшейся влаги) на частотах на F_{ci} и f_{ci} общий процесс сушки идет более равномерно, без пересыхания поверхностных слоев и образования корок на них, без создания градиентов влажности и температуры внутри полуфабриката и т.д., а также без изменения его биологического и химического составов.

При этом осуществляют формирование, усиление до необходимого уровня и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе, а также благодаря первому коммутатору каналов трехканального акустического тракта, акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более НЧ – F_{ci} и более ВЧ – f_{ci} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м^2 .

Одновременно с этим осуществляют:

- формирование, усиление до необходимого уровня и направленное излучение по программе акустических волн на нескольких частотах: более НЧ – F_{oi} и более ВЧ – f_{oi} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью не менее 100 Вт/м^2 ;

- формирование, усиление и направленное излучение по программе акустических волн на нескольких частотах: более НЧ – F_{ni} и более ВЧ – f_{ni} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью не менее 100 Вт/м^2 ;

- формирование, усиление и излучение по программе электромагнитных волн в ультрафиолетовом спектре частот $\omega_{уф}$ с интенсивностью (энергией), не превышающей 1 МэВ;

- формирование, усиление и излучение по программе электромагнитных волн в видимом световом спектре частот $\omega_{ви}$ с интенсивностью (энергией), не превышающей 1 МэВ;

- формирование, усиление и излучение по программе электромагнитных волн в инфракрасном спектре частот $\omega_{ик}$ с интенсивностью (энергией), не превышающей 1 МэВ.

Благодаря акустическому воздействию, а также благодаря одновременному с ним и периодическому – сочетая режимы излучения и паузы, на разных частотах (длинах волн), под углом сверху вниз по всей площади каждой сетки, воздействию на полуфабрикат, находящийся в ПКТСК электромагнитных волн: ультрафиолетового излучения, видимого светового излучения и инфракрасного излучения – в зависимости от типа уничтожаемых микроорганизмов, осуществляют практически полное – до уровня ~75 % – их уничтожение с меньшей (как минимум на 20–30 %) интенсивностью (к тому же не превышающей 1 МэВ), чем обычно применяют для обеззараживания продуктов.

На третьем этапе часть предварительно высушенного (до относительной влажности, например, ~ 25 %) полуфабриката на тех же подвижных стеллажах с сетками перекачивают из ПКТСК в ОКТСК и расставляют в ней таким образом, чтобы обеспечить равномерное движение сушильного агента с параметрами T_0 и W_0 по всему объему.

Затем по процедуре, описанной выше, осуществляют основную акустическую сушку уже частично под навесом и предварительно – в ПКТСК высушенного (до влажности ~ 25 %) полуфабриката при заданной технологическим процессом относительной влажности и тем-

пературе, с получением окончательно высушенного полуфабриката с относительной влажностью (~18–20 %), полное обеззараживание полуфабриката в акустических и электромагнитных полях, а также полное акустическое отпугивание насекомых и грызунов (оказавшихся в ОКТСК, например, в процесс выгрузки полуфабриката и т.д.) от полуфабриката.

В дальнейшем осуществляют сортировку по качеству полностью высушенного и полностью обеззараженного полуфабриката и товарное оформление готового продукта.

Следует отметить, что разработанная технология может быть с успехом применена не только для низкотемпературного удаления влаги из продуктов питания (рыбы, мяса, грибов, зерна, овощей, фруктов и т.д.), но и для низкотемпературной сушки медицинских и косметологических препаратов, горючих и взрывчатых веществ, древесины и т.д.

Таким образом, разработанный метод максимально полно отвечает критерию «качество–стоимость–энергозатратность–безопасность» и рекомендуется для сушки (вяления) рыбы и других продуктов питания как в естественных условиях (под навесом), так и в НАСК. При этом процесс удаления влаги из рыбы идет более равномерно с полным сохранением белка и других ценных компонентов, а также не нарушая вкусовых и ароматических свойств готовой продукции.

Список литературы

1. Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 696 с.
2. Бахарев С.А., Карасев А.В., Карасев В.В. Основы промысловой гидроакустики. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – 68 с.
3. Бахарев С.А. Акустика в промышленном рыболовстве. – Германия: Изд-во: Lambert, 2012. – 305 с.
4. Бахарев С.А., Рогожников А.В. Перспективы развития гидроакустических средств гражданского назначения, в том числе с использованием методов нелинейной акустики // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики: тр. Всеросс. конф. – СПб., 2012. – С. 30–33.
5. Пат. Российская Федерация. Способ комбинированной сушки с использованием волн различной физической природы / Бахарев С.А. № 2423655 от 26.10.2009, опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19.
6. Пат. Российская Федерация. Способ сушки и обеззараживания продуктов с использованием волн различной физической природы / Бахарев С.А. № 2464793 от 01.06.2011, опубл. 27.10.2012. Бюл. № 30.
7. Вопросы теории и практики промышленного рыболовства: сб. науч. тр. / под ред. Э.А. Карпенко. – М.: ГК по рыболовству, ВНИРО, 1998. – 219 с.
8. Мельников В.Н. Устройство орудий лова и технология добычи рыбы. – М.: Агропромиздат, 1991. – 384 с.
9. Справочник промысловика. – Краснодар: ВРПО «АЗЧЕРРЫБА», 1998. – 487 с.
10. Телятник О.В. Технология промысла рыбы. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – С. 13–17.
11. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики. – СПб.: Судостроение, 1978. – 378 с.

Сведения об авторах: Бахарев Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: taf@list;
Карасев Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: kav6713@mail.ru;
Карасев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, профессор, e-mail: karasevvv@list.ru.

УДК 664.951

Е.В. Федосеева

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, Луговая, 52б

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРЕСЕРВОВ ИЗ МОЛОК ЛОСОСЕВЫХ РЫБ

Определены оптимальные параметры операции посола молок лососевых рыб с применением специально разработанных алгоритмов. При математической обработке результатов получены расчетно-опорные уравнения, позволяющие проанализировать характер реакции, динамику изменения характеристик полуфабриката, создать математические модели с заданными алгоритмами.

Ключевые слова: *молоки лососевых рыб, оптимальные параметры, алгоритм, математическая обработка, расчетно-опорные уравнения.*

E.V. Fedoseeva

DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS IN THE PRODUCTION OF PRESERVED FOOD OF SALMON MILT

Optimum parameters of operation salting of salmon milt with application of specially developed algorithms are determined. The settlement and basic equations allowing to analyse nature of reaction, dynamics of change of characteristics of a semi-finished product, to create mathematical models with the set algorithms are received at mathematical processing of results.

Key words: *salmon milt, optimum parameters, algorithm, mathematical processing, settlement basic equations.*

Особое внимание в последние годы в нашей стране и за рубежом уделяется разработке продуктов из водных биологических ресурсов с заданным составом и свойствами и повышенной биологической ценностью для ежедневного употребления.

Производство пресервов является важным направлением современной технологии обработки рыбы. Не подвергаясь тепловой обработке, они сохраняют практически все полезные свойства и пищевую ценность натуральных продуктов, которые использовались для их обработки [1].

Изменение видового состава водных биологических ресурсов, поступающих на производство пресервов, требуют поиска новых технологических решений, которые повышают пищевую и биологическую ценность, улучшают органолептические показатели готового продукта.

В ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз» была исследована возможность использования для производства пресервов молок лососевых рыб.

Объектами проводимых исследований являлись:

- молоки лососевых рыб мороженые сроком хранения 3 месяца при температуре минус 18 °С, отвечающие требованиям существующей нормативной документации (ТУ 9267-037-33620410-04) и СанПиН 2.3.2.1078-01 [2];

- молоки лососевых рыб соленые.

Для технологических целей использовали вспомогательные материалы, которые соответствовали требованиям действующей нормативной документации.

По результатам исследований определение оптимальных параметров при производстве пресервов проводили по предварительному посолу молок. Для этого применялись специаль-

но разработанные алгоритмы с использованием ортогонального композиционного плана второго порядка для двух факторов [3].

Области существования основных факторов были выбраны с учетом результатов предварительных экспериментов и литературных данных [4].

Для предварительного посола молок основными факторами, которые оказывают существенное влияние на проникновение посольных компонентов в молоки, изменение их массы и органолептические показатели, оказались: концентрация вещества, % (X), время выдержки сырья в растворе, ч (Z).

Исследования проводились на модельных образцах в условиях, идентичных работе производственного предприятия.

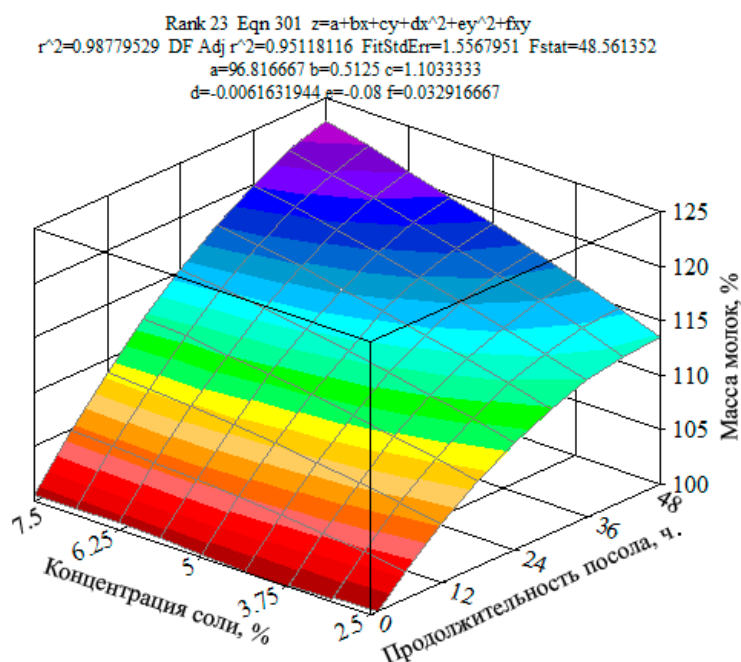
Выдерживание молок промысловых рыб ДВ региона (лососевых, сельдевых, тресковых) проводилось вначале отдельно в растворах поваренной соли с концентрацией 2,5, 5 и 7,5 % и раствора сахара – 1, 1,5 и 2 % в течение 48 ч, при температуре 4 °С; соотношение сырье: раствор – 1:1.

Были найдены эмпирические зависимости, связывающие три переменные: концентрацию вещества (X), %, время выдержки сырья в растворе (Z), ч и изменение массы молок (Y), %.

Математическая обработка результатов опыта заключалась в том, что выбор той или иной эмпирической формулы $\varphi(x)$ оценивался требованиями наилучшего приближения $\varphi(x)$ к $Y(x)$ – параметру, определяющему изменение массы молок в некотором интервале значений содержания химических веществ $\alpha \leq x \leq B$, где α – минимальная и B – максимальная концентрации веществ.

Влияние концентрации раствора поваренной соли на изменение массы сырья представлено на рис. 1.

Рис. 1. Изменение массы молок лососевых от концентрации соли и продолжительности посола
Fig. 1. The change of salmon milt mass from concentration of salt and duration of salting



Представленные результаты показывают, что масса молок в течение всего времени постепенно увеличивается при выдержке сырья во всех трех растворах поваренной соли предложенных концентраций. Наибольшее увеличение массы в среднем на (28 %) происходит при концентрации раствора поваренной соли 7,5 %, при концентрации раствора 5,0 % масса увеличивается в среднем на 19,7 %, а при концентрации 2,5 % – на 12,4 % (среднее значение).

Уравнение, описывающее изменение массы молок лососевых рыб в растворе поваренной соли, имеет вид

$$Y = 2,59 \cdot X^{0,64} \cdot Z^{0,45},$$

где X – концентрация раствора поваренной соли, %; Z – время выдерживания сырья в растворе, ч.

Данные органолептической оценки молок, выдержанных в растворе поваренной соли, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Органолептическая характеристика сырья после выдерживания в растворе поваренной соли разной концентрации

Table 1

The organoleptic characteristic of raw materials after keeping in solution of table salt of different concentration

Показатели	Концентрация раствора соли, %		
	2,5	5,0	7,5
Вкус	Невыраженный, с привкусом сырости	Приятный, свойственный сырью, слегка соленый	Соленый
Запах	Свойственный для морского сырья		
Цвет	Серо-розоватый	Бело-кремовый	Розовый
Консистенция	Малосочная, слегка упругая	Сочная, упругая	Очень сочная, упругая

Молоки, выдержанные в 2,5%-м растворе поваренной соли, имеют невыраженный вкус, с привкусом сырого мяса; менее сочную, относительно других образцов, консистенцию.

Выдержка сырья в 5%-м солевом растворе позволяет получить полуфабрикат со свойственным морскому сырью вкусом и запахом, сочной консистенцией.

Молоки, выдержанные в 7,5%-м растворе поваренной соли, имеют соленый вкус и самую сочную консистенцию.

Совместный анализ органолептических показателей и процесса изменения массы молок (набухания) показывает, что оптимальной является выдержка сырья в 5%-м растворе поваренной соли. При данной концентрации полуфабрикат имеет лучшие органолептические характеристики, а также увеличение массы в среднем на 19,7 % от исходной.

Процесс изменения массы молок в растворе сахара представлен на рис. 2.

Из приведенных данных видно, что увеличение массы молок идет до 12 ч выдержки сырья в растворе сахара. Наибольшее увеличение на 16,5 % при данном времени приходится на 2%-ю концентрацию сахара. Затем в интервале с 12 до 24 ч масса молок снижается, после чего опять начинает расти. После выдержки сырья в течение 2 сут в растворе сахара предложенных концентраций масса изменяется волнообразно, но второй максимум имеет значение меньше первого, в среднем на 4 %.

Данные органолептической характеристики сырья (табл. 2), выдержанного в растворах сахара предложенных концентраций, демонстрируют, что показатели запаха, цвета и консистенции практически не отличаются. В этом случае выбор концентрации для выдержки сырья определяет показатель вкуса. Установлено, что для сохранения вкуса, свойственного молокам лососевых рыб, предпочтительна выдержка в растворе сахара с концентрацией 1,5 и 2 %.

Уравнение, отображающее изменение массы молок в растворе сахара, имеет вид

$$Y = 7,36 \cdot X^{0,379} \cdot Z^{0,49},$$

где X – концентрация раствора сахара, %; Z – время выдерживания сырья в растворе, ч.

Данные органолептической оценки молок лососевых рыб, выдержанных в растворах сахара разных концентраций, представлены в табл. 2.

Rank 48 Eqn 301 $z=a+bx+cy+dx^2+ey^2+fx$
 $r^2=0.9765068$ DF Adj $r^2=0.94831495$ FitStdErr=1.1680825 Fstat=49.878605
 $a=96.7$ $b=0.40833333$ $c=5.19$
 $d=-0.0076822917$ $e=-1.7$ $f=0.13333333$

Рис. 2. Изменение массы молок лососевых от концентрации сахара и продолжительности посола
 Fig. 2. The change of salmon milt mass from concentration of sugart and duration of salting

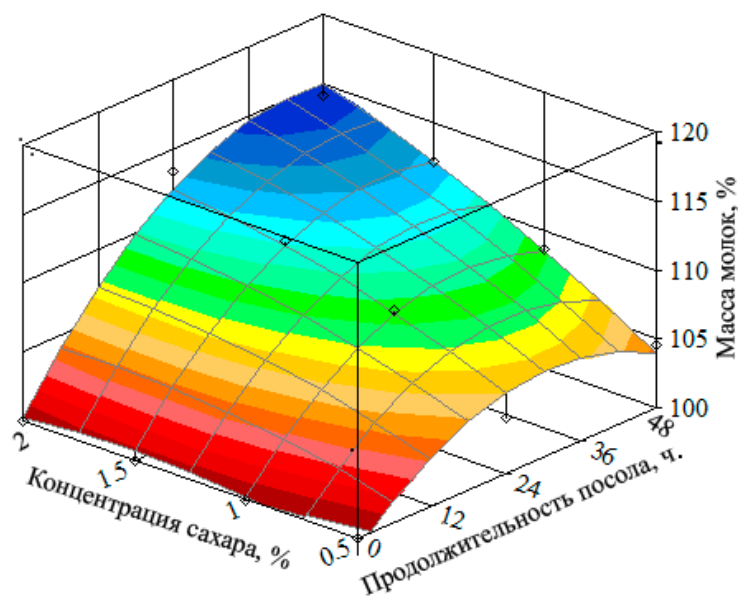


Таблица 2

Органолептическая характеристика сырья после выдерживания в растворах сахара разной концентрации

Table 2

The organoleptic characteristic of raw materials after keeping in solution of sugar of different concentration

Показатели	Концентрация раствора сахара, %		
	1	1,5	2,0
Запах	Маловыраженный запах морского сырья		
Вкус	Невыраженный, сырой	Свойственный для молок	Сладковатый
Цвет	Бело-розоватый с кремовым оттенком		
Консистенция	Упругая		

После выбора оптимальных концентраций отдельных растворов (поваренная соль 5 %; сахар 1 %) исследовали процесс изменения массы молок лососевых рыб в пряно-солевом растворе, при тех же значениях температуры и времени выдерживания. Было установлено, что уже через 24 ч происходит увеличение массы молок на 12 %. Данные органолептической оценки свидетельствуют, что выдержка сырья в пряно-солевом растворе в течение 48 ч при температуре 0 до + 4 °С позволяет получить полуфабрикат с выраженным приятным запахом и привкусом и более сочной консистенцией, чем исходное сырье. При данных параметрах в системе происходит равномерное перераспределение пряно-солевого раствора, в результате все участки п/ф приобретают заданное количество поваренной соли 3,5 %, что соответствует требованиям, предъявляемых к малосоленой продукции.

На основе опытных данных при выдержке сырья в течение 48 ч в пряно-солевом растворе была изучена корреляционная связь между тремя переменными: Y – изменение массы молок, %; X_1 – содержание в растворе поваренной соли, %; X_2 – содержание в растворе сахара %.

Опытные данные об изменении массы молок в пряно-солевом растворе приведены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение массы молок в пряно-солевом растворе (средние значения)

Table 3

The change of salmon milt mass in spicy – salt solution (average values)

X_1 , %	X_2 , %	Y , %
2,5	1	12,4
5	1	15,9
5	1,5	16,5
5	1,5	15,8
5	1	12,6
5	2	17,5
7,5	2	20,5
$X_{1cp} = 4,998$	$X_{2cp} = 1,43$	$Y_{cp} = 15,88$

В итоге получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$Y = 15,88 + 0,8659 \cdot (X_1 - 4,998) + 0,3818 \cdot (X_2 - 1,43).$$

Из данного уравнения видно, что наибольшее влияние на изменение массы молок в растворе оказывает поваренная соль, затем сахар.

Коэффициент корреляции $R = 0,408$ свидетельствует о разряженной связи между переменными.

Таким образом, в результате математической обработки результатов были определены оптимальные параметры технологических операций при производстве пресервов, а именно, получены расчетно-опорные уравнения, позволяющие проанализировать характер реакции, динамику изменения характеристик полуфабриката молок лососевых рыб, создать математические модели с заданными алгоритмами.

Список литературы

1. Богданов В.Д., Благоднарова М.В., Салтанова Н.С. Современные технологии производства соленой продукции из сельди тихоокеанской и лососевых. – Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2007. – 240 с.
2. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности сырья и пищевых продуктов. Санитарные эпидемиологические правила и нормативы. – М.: ФГУП «Интер СЭН», 2001. – 168 с.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М., 1976. – 280 с.
4. Мезенова, О.Я. Моделирование и оптимизация технологических процессов производства продуктов питания путем математического планирования эксперимента / О.Я. Мезенова. – Калининград, 1995. – 50 с.

Сведения об авторе: Федосеева Елена Владимировна, e-mail: elena-692008@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 65.9(2)-96+65.35

С.Б. Бурханов, Л.В. Кучеренко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА ОАО «ТУРНИФ»

Приведен анализ производственно-хозяйственной деятельности рыбопромыслового флота ОАО «ТУРНИФ» за 2008–2012 гг. Рассмотрены количественные и качественные показатели работы компании. Разработаны рекомендации по повышению эффективности управления производственной деятельностью компании с использованием выявленных резервов.

Ключевые слова: рыбопромысловый флот, управление, количественные и качественные показатели, эффективность.

S.B. Burkhanov, L.V. Kucherenko

WAYS TO STREAMLINE MANAGEMENT OF PRODUCTION AND ECONOMIC ACTIVITY OF FISHING FLEET JSC «TURNIF»

The paper analysis the industrial and economic activity of fishing fleet JSC «TURNIF» for 2008–2012 years. The authors examined quantitative and qualitative indices of company operation. The authors have developed recommendations to improve the management of the company's operations with the use of revealed reserves.

Key words: fishing fleet, management, quantitative and qualitative indices, efficiency.

Введение

Трудно переоценить значение рыбодобывающего сектора экономики для Приморского края. Однако проводимая в течение последних десятилетий инвестиционная политика не обеспечивает восстановления производственных фондов, а также строительства современных высокотехнологичных судов. В итоге существующие мощности позволяют осваивать только часть из выделяемых квот на вылов биоресурсов, что существенно ограничивает деловую активность и эффективность деятельности предприятий [1].

Положительным сдвигом в работе отрасли можно считать наделение рыбодобывающих предприятий квотами на вылов рыбной продукции на долгосрочный период. Главными финансовыми проблемами остались: ограниченность оборотных средств, низкая стоимость основных фондов, низкая оборачиваемость капитала, увеличение затрат на промысел и как следствие снижение рентабельности рыбодобывающего флота [2].

Авторы [3] выделили один из основных принципов ресурсосберегающей концепции промысла – промысел оптимальным количеством судов в наиболее благоприятные периоды с высокой производительностью лова. Для увеличения эффективности деятельности морского транспорта необходимо анализировать условия устойчивого морского хозяйствования [4].

Анализ хозяйственной деятельности является научной базой принятия управленческих решений в бизнесе. Для их обоснования необходимо выявлять и прогнозировать существующие и потенциальные проблемы, производственные и финансовые риски, определять воздействие принимаемых решений на уровень рисков и доходов субъектов хозяйствования.

Целью настоящего исследования является проведение анализа производственно-хозяйственной деятельности рыбодобывающего флота ОАО «ТУРНИФ», а также разработка рекомендаций по использованию выявленных резервов для повышения эффективности управления работой флота.

Объект и методы исследования

Объектом исследования выбрана производственная деятельность рыбодобывающего флота ОАО «ТУРНИФ» в 2008–2012 гг. Были рассмотрены эксплуатационные, производственные и экономические показатели.

В работе применялись общенаучные методы познания, такие, как систематизация, группировка, обобщение, описание, системный и сравнительный анализ, методы статистического и экономического анализа.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 и 2 представлены основные эксплуатационные показатели работы флота.

Таблица 1

Основные эксплуатационные показатели работы флота

Table 1

The basic operational indices of fleet operation

Показатели бюджета времени, судосутки	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Календарный период	1830	1825	1493	1460	1464
Внеэксплуатационный период	273	277	195	230	283
Эксплуатационный период	1557	1548	1298	1230	1181
Стоянка в порту	262	262,5	296	170	271
Переходы	122,6	97,2	64	127	99
Промысел	1172,4	1188,3	938	933	811
Непроизводительные простои	228	334,0	262	233	249

Таблица 2

Качественные показатели работы флота

Table 2

Qualitative indices of fleet operation

Показатели	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Коэффициент внеэксплуатационного периода	0,15	0,15	0,13	0,16	0,19
Коэффициент эксплуатационного периода	0,85	0,85	0,87	0,84	0,81
Коэффициент стояночного времени	0,17	0,17	0,23	0,14	0,23
Коэффициент ходового времени	0,08	0,06	0,05	0,10	0,08
Коэффициент промыслового времени	0,75	0,77	0,72	0,76	0,69
Доля непроизводительных простоев в общем эксплуатационном периоде	0,15	0,22	0,20	0,19	0,21

На рис. 1, 2 и 3 представлены данные об изменении составляющих календарного периода в целом по флоту за 2008–2012 гг.

На рис. 4 представлена доля непроизводительных простоев в общем эксплуатационном периоде. Следует отметить, что непроизводительные простои выросли с 2009 г.

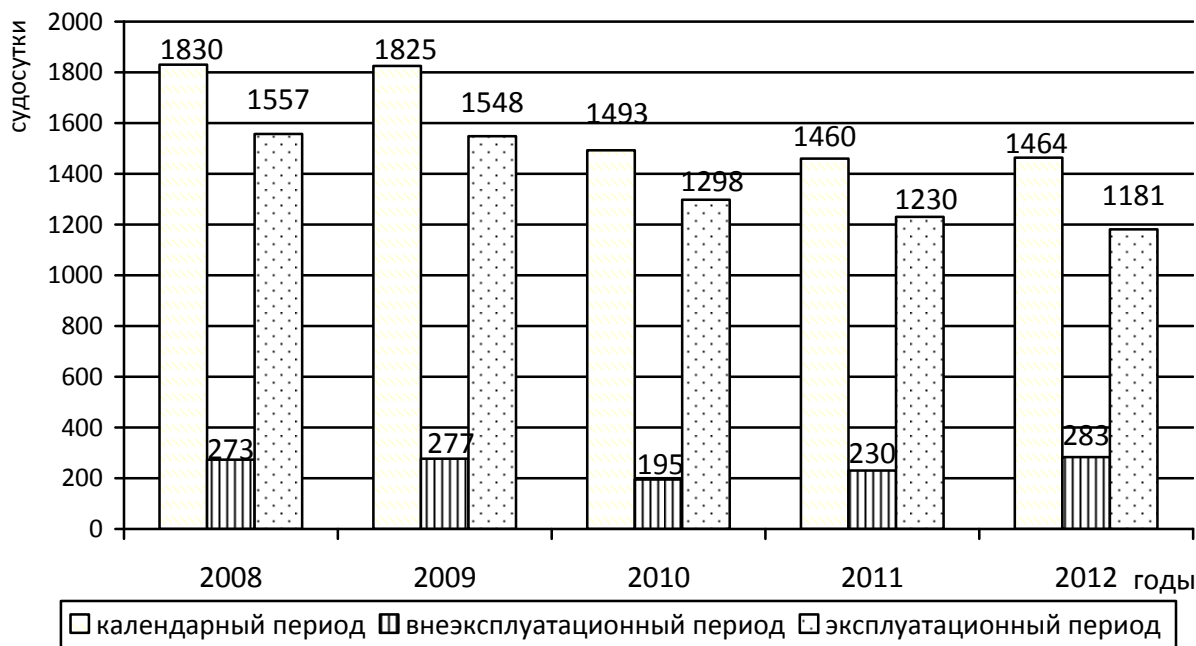


Рис. 1. Изменение составляющих календарного периода
Fig. 1. Change of the calendar period

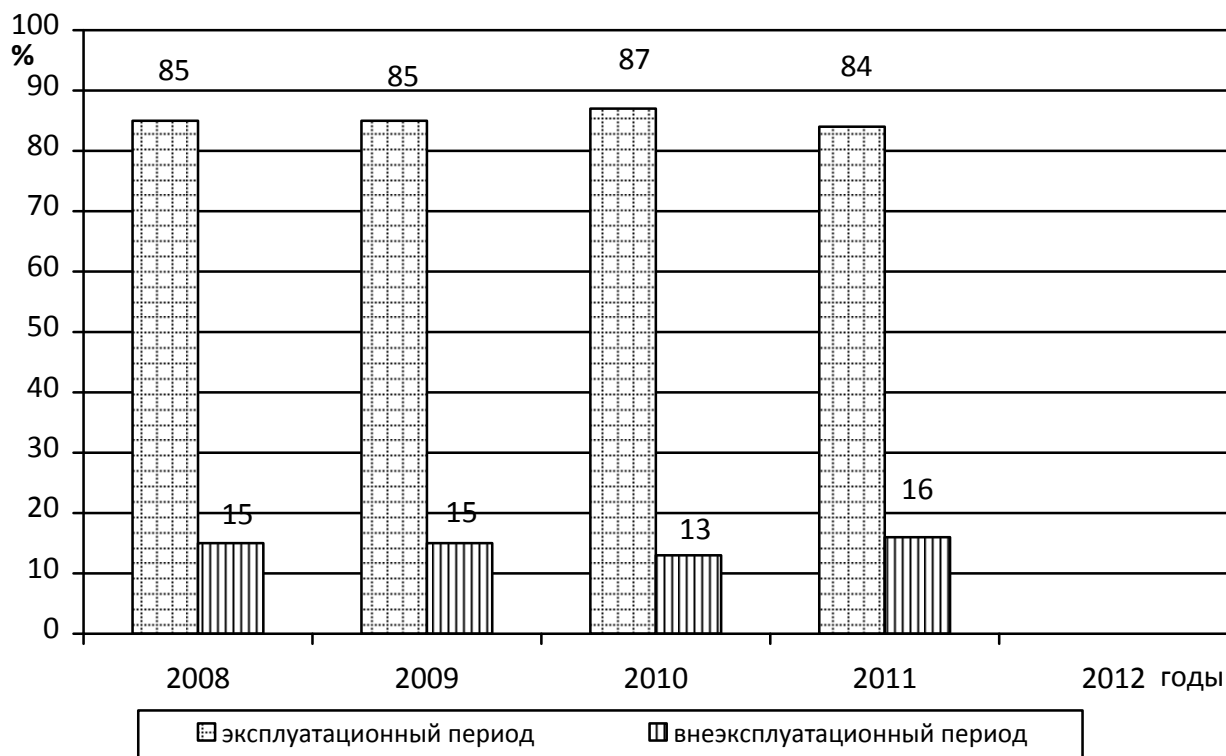


Рис. 2. Структура календарного периода работы флота
Fig. 2. Structure of the calendar period of fleet operation

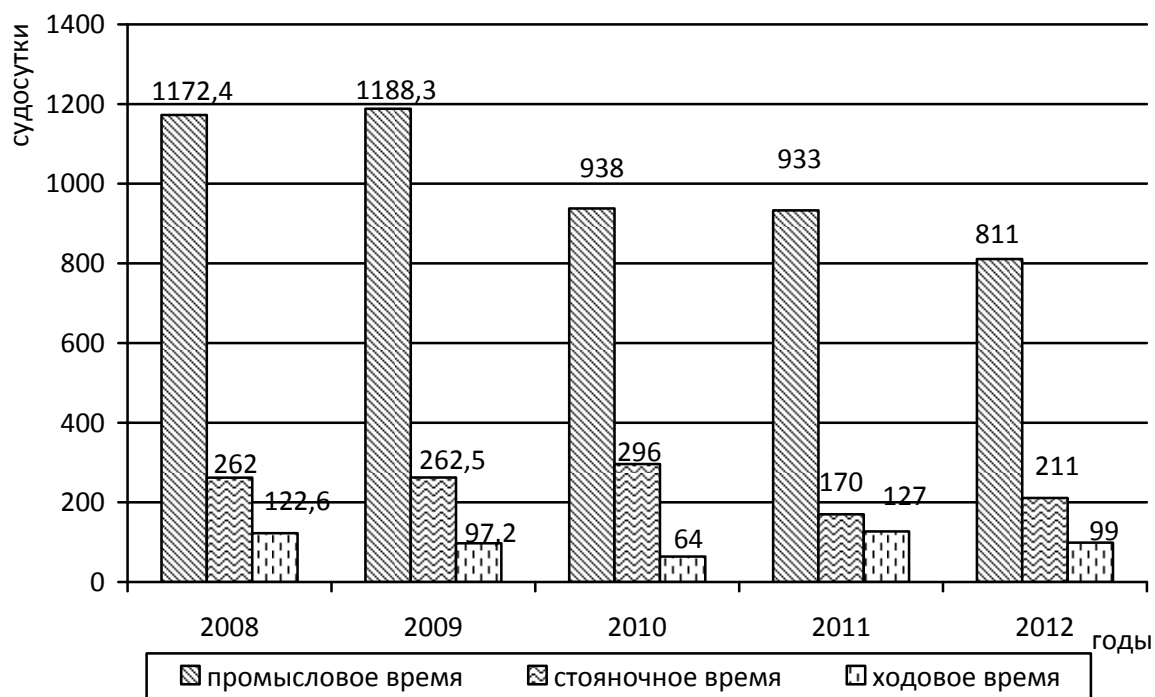


Рис. 3. Изменение составляющих эксплуатационного периода работы флота
 Fig. 3. Change of components of the maintenance period of fleet operation

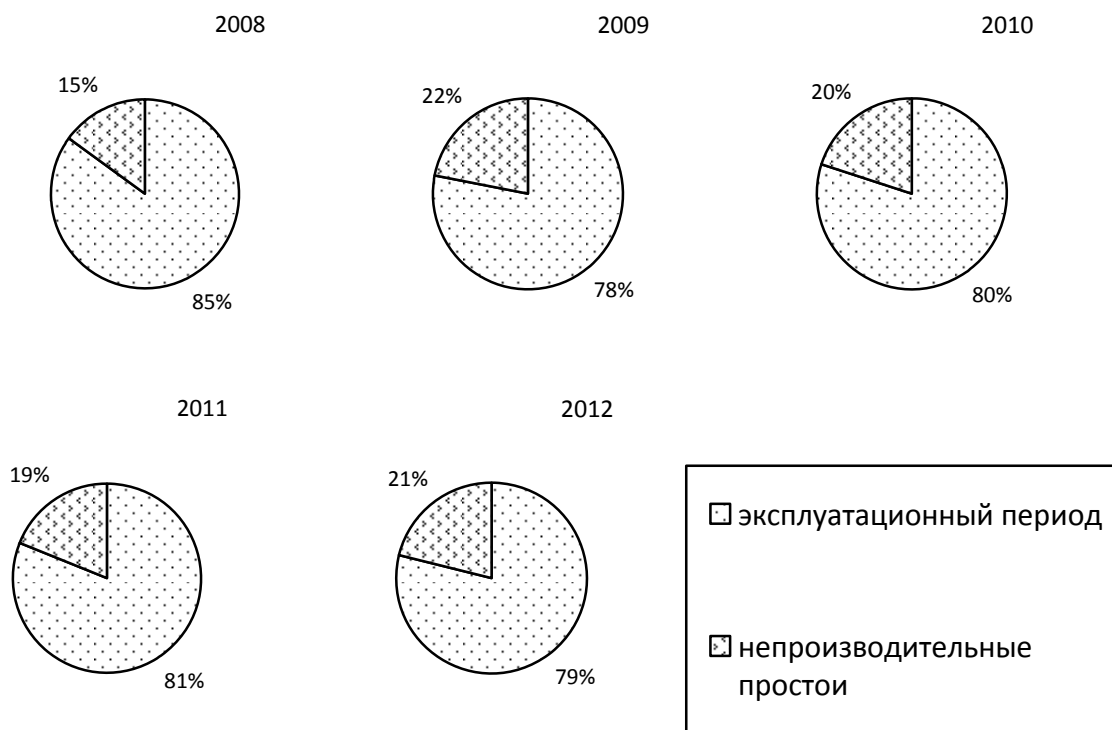


Рис. 4. Доля непроизводительных простоев в эксплуатационном периоде
 Fig. 4. Proportion of unproductive down time in the maintenance period

В табл. 3 представлены показатели списочного состава флота ОАО «ТУРНИФ» за 2008–2012 гг.

Таблица 3

Списочный состав рыбопромыслового флота

Table 3

The payroll of fishing fleet

Тип судна	Наличие на начало года	Продано	Куплено	Наличие на конец года
2008 г.				
РКТС	1	-	-	1
БАТМ	2	-	-	2
РТМС	2	-	-	2
Всего	5		-	5
2009 г.				
РКТС	1	-	-	1
БАТМ	2	-	-	2
РТМС	2	-	-	2
Всего	5	-	-	5
2010 г.				
РКТС	1	-	-	1
БАТМ	2	-	-	2
РТМС	2	2	1	1
Всего	5	2	1	4
2011 г.				
РКТС	1	-	-	1
БАТМ	2	-	-	2
РТМС	1	-	-	1
Всего	4	-	-	4
2012 г.				
РКТС	1	-	-	1
БАТМ	2	-	-	2
РТМС	1	-	-	1
Всего	4	-	-	4

Примечание.

РКТС – Рыболовный крилевый траулер (супертраулер).

БАТМ – Большой автономный траулер морозильный.

РТМС – Рыболовный траулер морозильный (супертраулер).

Из данных табл. 3 видно, что на балансе компании в 2008 г. находились всего 5 судов. В 2009 г. состав флота не менялся. Однако в середине 2010 г. были проданы РТМС «Простор» и «Гиссар» и приобретен РТМС «Александр». Таким образом, в 2012 г. в компании эксплуатировалось всего 4 добывающих судна. Все суда относятся к судам с законченным производственным циклом. В табл. 4 представлены показатели изменения списочного состава флота предприятия.

Из табл. 4 видно, что среднесписочное число судов в эксплуатации за четыре года снизилось. В 2012 г. среднесписочное количество судов в эксплуатации составило 3,2, а на промысле – 2,2, т.е. можно говорить о том, что материальная база флота ухудшилась.

В табл. 5 представлены данные о добыче по объектам и районам промысла судами ОАО «ТУРНИФ» за 2008–2012 гг.

Таблица 4

Показатели изменения списочного состава флота

Table 4

Change of list structure fleet

Показатели	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Списочный состав флота	5	5	4	4	4
Среднесписочное число судов в эксплуатации	4,3	4,2	3,6	3,4	3,2
Среднесписочное число судов на промысле	3,2	3,3	2,6	2,6	2,2

Таблица 5

Вылов морепродуктов по объектам и районам промысла, т

Table 5

The seafood catch by volume and fishing areas, t

Объект и район промысла	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Минтай	57625,5	62999,4	69824,2	56228,2	53636,0
Охотское море	29264,2	38745,9	46881,3	40816	36298,0
Западно-Беринговоморская подзона	27165,8	18390,5	13317,3	3829	4996,0
Курильские острова	1145,2	4655,4	7809,9	10107	10938,0
Петропавловск-Камчатская подзона	-	896,2	1224,3	122,0	1096,0
Карагинская подзона	923,0	311,4	591,4	254,2	368,0
Кальмар	44,5	0	0	-	-
Лемонема	1834,7	1716,4	0	-	-
Южные Курилы	367,8	900,9	0	-	-
Зона Японии	1466,9	815,5	0	-	-
Сельдь	3142,1	4895,3	7733,4	9209	11284,0
Западно-Беринговоморская подзона	0	0	2431	129,2	1361,0
Карагинская подзона	-	-	1032,6	892,8	693,0
Северо-Охотская подзона	3142,1	4232,8	5524,0	8187,0	9026,0
Западно-Камчатская подзона	0	662,5	933,7	-	-
Прилов (БМЭ)	73,6	360,8	121,6	99,3	204,0
Приморье: разнорыбца, краб камчатский	0	0	-	-	-
	-	-	-	-	-
Всего	62720,4	69971,9	77679,2	65536,5	64920,0

В табл. 6 представлены данные о структуре видового состава добычи.

На рис. 5 представлены данные о выполнении плана по выпуску продукции.

В табл. 7 представлены качественные производственные показатели работы флота ОАО «ТУРНИФ». Из табл. 7 видно, что качественные показатели работы флота в основном выросли.

В табл. 8 представлены основные экономические показатели работы флота ОАО «ТУРНИФ» за 2008–2012 гг. Из данных табл. 8 видно, что доходы компании выросли со 1415632,0 тыс. руб. в 2008 г. до 1765399,0 тыс. руб. в 2009 г. и до 1998828,0 тыс. руб. в 2010 г. Также росли и расходы, но они росли не такими быстрыми темпами, как доходы. А в 2009 г. они были даже ниже, чем в 2008 г.

Таблица 6

Структура видового состава морепродуктов, т

Table 6

Structure of the species composition of seafood, t

Объект промысла	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Минтай	57625,5	62999,4	69824,2	56228,2	53636,0
Кальмар	44,5	-	-	-	-
Лемонема	1834,7	1716,4	-	-	-
Сельдь	3142,1	4895,3	7733,4	9209,0	11284,0
Прилов (прочие)	73,6	360,8	121,6	99,3	-
Всего	62720,4	69971,9	77679,2	65536,5	64920,0

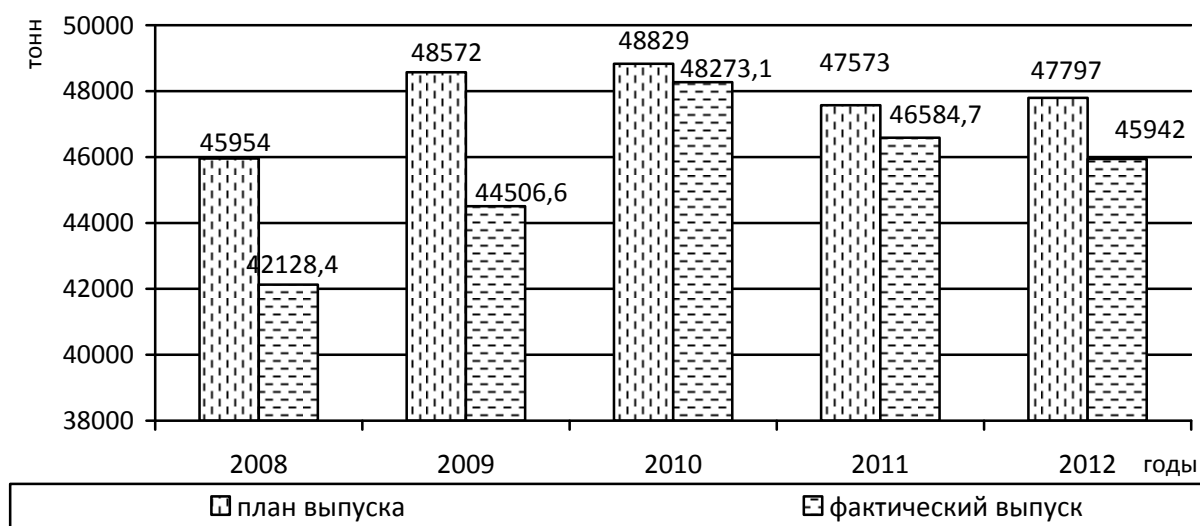


Рис. 5. Выполнение плана по выпуску продукции
 Fig. 5. Implementation of the plan the production output

Таблица 7

Качественные показатели работы флота

Table 7

Qualities indices of fleet operation

Показатели	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Вылов на сутки промысла, т/сут	53,5	58,9	82,8	70,2	80,0
Выпуск на сутки промысла, т/сут	35,9	37,5	51,5	49,9	56,6
Вылов на 1 списочное судно, т/судно	12544,1	13994,4	19420,0	16384,1	16230,0
Выпуск продукции на 1 списочное судно, т/судно	8425,7	89013,2	12068,3	11646,2	11986,0
Доля разделанной продукции и филе в общем выпуске	0,80	0,78	0,70	0,67	0,63

Таблица 8

Основные экономические показатели работы флота

Table 8

The main economic indices of fleet operation

Показатели	Годы				
	2008	2009	2010	2011	2012
Доходы, тыс. руб.	1415632,0	1765399,0	1998828,0	2012546,0	2021361,0
Расходы, тыс. руб.	1053328,0	972698,0	1247506,0	1362823,0	1448369,0
Финансовый результат, тыс. руб.	362304,0	792701,0	751322,0	649723,0	575992,0
Себестоимость 1 т выпущенной продукции, руб./т	25003,0	21855,0	25843,0	29255,0	31526,0
Рентабельность, %	34,4	81,5	60,2	47,7	39,8

Выводы

Среднесписочное число судов на промысле сократилось с 3,2 единиц в 2008 г. до 2,2 единиц в 2012 г., соответственно, календарный период снизился с 1830 судосудок в 2008 г. до 1464 судосудок в 2012 г. Календарный период судов используется судами по-разному. Например, в 2008 г. РТМС «Гиссар» 40 % календарного периода не работал. У остальных судов доля внеэксплуатационного периода составляла от 5 до 15 %. Длительный внеэксплуатационный период можно объяснить возрастом судов.

Выявлены непроизводительные простои как в порту, так и на промысле, причем доля простоев составляла от 15 до 22 % эксплуатационного времени. Соответственно, доля простоев на промысле составляла от 72 до 78,8 % от времени простоев. Основные причины простоев на промысле одни и те же: ожидание перегруза, ожидание топлива, плохая промысловая и метеорологическая обстановка. Следует отметить, что ожидание перегруза и топлива связаны с несвоевременным подходом транспортных судов в район промысла.

Основными районами промысла судов ОАО «ТУРНИФ» являются Охотоморский и Берингоморский, а также район Курильских о-вов. Основными объектами промысла являются минтай и сельдь. Доля остальных объектов незначительна. Общий объем добычи вырос с 62720,4 т в 2008 г. до 77679,2 т в 2010 г., однако в 2012 г. добыча снизилась до 64920,0 т, что можно объяснить уменьшением количества судов.

Суда компании не осваивают выделенные квоты на вылов минтая, особенно это касается района Берингова моря. Этим и объясняется невыполнение плана по выпуску продукции. Квоты на вылов минтая в ОМЭ, как правило, осваиваются полностью и зачастую даже перевыполняются. Аналогичная ситуация наблюдается и по сельди. Планы по выпуску продукции в целом, как правило, не выполнялись.

Для увеличения эффективности управления производственно-хозяйственной деятельности ОАО «ТУРНИФ» можно рекомендовать:

- 1) приобретение новых и модернизацию эксплуатируемых судов;
- 2) улучшение организации управления работой всего рыбопромыслового комплекса с уменьшением непроизводительных простоев судов как в порту, так и на промысле;
- 3) полное освоение выделяемых квот на вылов морепродуктов во всех районах промысла.

Список литературы

- 1 Дубовик Е.О. Вопросы обоснования инвестирования технического перевооружения рыбодобывающего флота Приморского края // Изв. ТИНРО. – 2009. – № 182. – С. 238–241.
- 2 Дьячкова М.А. Пути повышения конкурентоспособности рыбопромышленного комплекса // Вестн. МГТУ. – 2011. – Т. 14, № 1. – С. 106–109.
3. Фомин С.Ю. Оптимизация управления рыбодобывающим флотом // УЭКС, Инструментальные методы экономики. – 2008. – № 3.
4. Винников В.В. Экономика морского транспорта. Экономика морских перевозок. – Одесса: Феникс, 2011. – 944 с.

Сведения об авторах: Бурханов Сергей Борисович, кандидат экономических наук,
e-mail: burkhanov@list.ru;
Кучеренко Лилия Владимировна, доктор технических наук, профессор,
e-mail: lvk-07@mail.ru.

УДК 637 : 664

С.П. Григорьева, Л.К. Юрченко, И.В. ПищулинаДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДВИЖЕНИЯ ПЛОСКОГО И БАРАБАННОГО СИТА
С ЧАСТИЦЕЙ КЛАССИФИЦИРУЕМОГО ПРОДУКТА**

Произведено механико-математическое моделирование работы плоского и барабанного сита с частицей классифицируемого продукта по единой методике, т.е. с помощью уравнений Лагранжа II рода для механических систем с двумя степенями свободы. Полученные решения уравнений позволяют определить линейные и угловые ускорения тел и точек механической системы.

Ключевые слова: барабанное сито, плоское сито, механико-математическое моделирование, уравнения Лагранжа, обобщенная координата, обобщенная сила, угловое ускорение.

**S.P. Grigoreva, L.K. Iurchenko, I.V. Pishchulina
THE MECHANICS-MATHEMATICAL MODELLING
OF THE MOVEMENT OF THE FLAT AND THE DRUM SIEVE
WITH THE PARTICLE OF THE CLASSIFIED PRODUCT**

The mechanics-mathematical modeling of operation of a flat and the drum sieve with a particle of the classified product by a uniform technique was done: by means of Lagrange's equations of the II type for mechanical systems with two degrees of freedom. The received solutions of the equations allow to define linear and angular accelerations of bodies and points of mechanical system.

Key words: a drum sieve, a flat sieve, mechanics-mathematical modeling, Lagrange's equations, the generalized coordinate, the generalized force, angular acceleration.

Сита являются основными механизмами, используемыми в различных превращениях сырья в продукты потребления. Они используются в пищевой промышленности для очистки от примесей, сепарирования, сортирования сыпучих пищевых продуктов.

Способ разделения сыпучих материалов на классы или фракции с помощью сит широко применяется не только в пищевой промышленности, но и в других отраслях. Это промышленность строительных материалов, энергетическая, химическая, угольная, парфюмерная, фармацевтическая и т.д.

По принципу действия сита можно разделить на два вида – подвижные плоские и барабанные.

На рис. 1 показано плоское сито с частицей классифицируемого продукта. С точки зрения механики это механическая система «сито – материальная точка М». Плоское сито АВ длиной «b» имеет массу m_1 , подвешено на тягах $AO = BO_1 = \ell$. Будем считать эти тяги невесомыми. Сито наклонено под углом α к горизонту. Частица сырья – материальная точка М – имеет массу m_2 .

На механическую систему действуют задаваемые силы:

$m_1 \vec{g}$ – вес сита;

$m_2 \vec{g}$ – вес материальной частицы;

$\vec{F}_{тр}$ – сила трения частицы;

M_{ep} – вращающий момент двигателя.

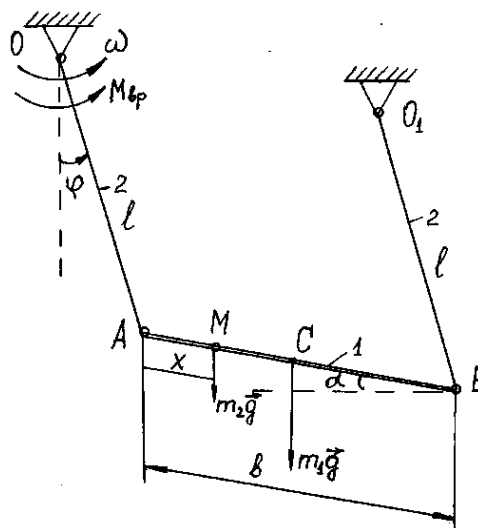
Механическая система имеет две степени свободы, поэтому ее положение определяется двумя обобщенными координатами. За обобщенные координаты примем:

x – смещение точки M вдоль сита из положения A ;

φ – угол поворота тяги OA , отсчитываемый от вертикали.

На рис. 1 показано положение механической системы при положительных обобщенных координатах.

Рис. 1. Механическая система «сито – материальная точка»: 1 – плоское сито AB ; 2 – тяга $OA = O_1B$, на которой подвешено сито; точка M – частица классифицируемого продукта
 Fig. 1. Mechanical system «a sieve – a material point»: 1 – flat sieve of AB ; 2 – draft of $OA = O_1B$ on which the sieve is suspended; M point – a particle of the classified product



Уравнения Лагранжа II рода для механической системы «сито – материальная точка M » имеют вид

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \end{cases} \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия механической системы; $V_r = \dot{x}$ – относительная скорость точки M ; $\omega = \dot{\varphi}$ – угловая скорость тяги; Q_x и Q_φ – обобщенные силы.

Рассматривая движение точки M как сложное, определим кинетическую энергию системы:

$$T = \frac{m_2}{2} \dot{x}^2 + \left(\frac{m_1}{2} + \frac{m_2}{2} \right) \ell^2 \dot{\varphi}^2 + m_2 \dot{x} \dot{\varphi} \ell \cos(\alpha + \varphi).$$

Обобщенные силы системы:

$$Q_x = m_2 g (\sin \alpha - f \cos \alpha),$$

$$Q_\varphi = M_{ep} - m_2 g (\ell \sin \varphi + x \cos \alpha + f \ell \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha) - m_1 g \left(\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha \right).$$

Общее аналитическое решение системы уравнений (1) имеет вид

$$a_r = \ddot{x} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) + \ell \omega^2 \sin(\alpha + \varphi) - \ell \dot{\omega} \cos(\alpha + \varphi), \quad (2)$$

$$(m_1 + m_2) \dot{\omega}^2 \ell^2 = M_{ep} - m_2 \ell \ddot{x} \cos(\alpha + \varphi) - m_2 g(\ell \sin \varphi + x \cos \alpha + f \ell \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha) - m_1 g(\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha). \quad (3)$$

При $m_2 = 0$, $\sin \varphi \approx \varphi$, $t = 0$, $\varphi_0 = 0$, $\dot{\varphi} = \omega_0$

$$\varphi = \left(\frac{M_{ep}}{m_1 \ell g} - \frac{b \cos \alpha}{2 \ell} \right) (1 - \cos kt) + \frac{\omega_0}{k} \sin kt, \quad (4)$$

$$\omega = \dot{\varphi} = \left(\frac{M_{ep}}{m_1 g} - \frac{b \cos \alpha}{2} \right) \frac{k}{\ell},$$

где $k^2 = \frac{g}{\ell}. \quad (5)$

Уравнение (2) дает нам выражение относительного ускорения точки М при ее движении по сити. Уравнение (4) есть значение угловой скорости вращения тяги вокруг оси О, перпендикулярной плоскости чертежа при отсутствии классифицируемого продукта на сите и когда $\sin \varphi \approx \varphi$. Уравнение (5) дает значение угловой скорости тяги при тех же условиях.

Уравнения (1), (2), (3), (4), (5) являются механико-математической моделью движения плоского сита с классифицируемым продуктом и без него.

На рис. 2 изображено вращающееся барабанное сито цилиндрической формы с частицей классифицируемого продукта. Барабанное сито радиусом R и массой m_1 подвешено на горизонтальной оси О, перпендикулярной плоскости чертежа, частица сырья имеет массу m_2 . Назовем сито с частицей механической системой «сито – материальная точка».

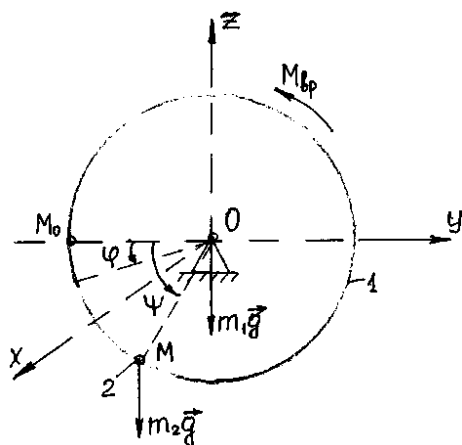


Рис. 2. Механическая система «сито – материальная точка»: 1 – барабанное сито; 2 – точка М – частица классифицируемого продукта
Fig. 2. Mechanical system «a sieve – a material point»: 1 – drum sieve; 2 – M point – a particle of the classified product

Задаваемые силы:

$m_1 \vec{g}$ – вес сита;

$m_2 \vec{g}$ – вес точки М;

M_{ep} – вращающий момент двигателя.

Так как механическая система имеет две степени свободы, то положение ее определяется двумя обобщенными координатами:

φ – угол отклонения барабана от горизонтали OM_0 ;

ψ – угол отклонения точки M от той же горизонтали OM_0 .

Уравнения Лагранжа II рода для данной механической системы запишутся:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_{\varphi}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi} = Q_{\psi}, \end{cases} \quad (6)$$

где T – кинетическая энергия системы; $\omega_e = \dot{\varphi}$ – угловая скорость барабана; $\omega_r = \dot{\psi}$ – угловая скорость движения точки M ; Q_{φ}, Q_{ψ} – обобщенные силы.

Движение точки M сложное. Кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{R^2}{2} (m_1 \dot{\varphi}^2 + m_2 \dot{\psi}^2 + 2m_2 \dot{\varphi} \dot{\psi} + m_2 \dot{\varphi}^2).$$

Обобщенные силы:

$$\begin{aligned} Q_{\varphi} &= M_{ep} + m_2 g R \cos \psi, \\ Q_{\psi} &= m_2 g R \cos \psi. \end{aligned}$$

Общее аналитическое решение системы уравнений (6) имеет вид

$$\varepsilon_e = \ddot{\varphi} = \frac{M_{ep}}{m_1 R^2} - \text{угловое ускорение сита или угловое ускорение переносного движения}; \quad (7)$$

$$\ddot{\varphi} + \ddot{\psi} = \frac{g}{R} \cos \psi - \text{связь между угловыми ускорениями точки и сита};$$

$$\varepsilon_r = \ddot{\psi} = \frac{g \cos \psi}{R} - \frac{M_{ep}}{m_1 R^2} - \text{угловое ускорение точки или угловое ускорение относительного движения}. \quad (8)$$

Абсолютное угловое ускорение:

$$\varepsilon = \varepsilon_r + \varepsilon_e = \frac{g}{R} \cos \psi. \quad (9)$$

При изменении угла ψ от 0° до 90° абсолютное ускорение изменяется от $\frac{g}{R}$ до нуля.

При изменении ψ от 90° до 180° угловое ускорение изменяется от 0 до $(-\frac{g}{R})$, т.е. направление его меняется на противоположное. Отсюда следует вывод, что рабочей частью барабана является его первая четверть при условии, что подача классифицируемого материала будет происходить в районе точки M_0 .

Уравнения (6), (7), (8), (9) являются механико-математической моделью движения барабанного сита с классифицируемым продуктом.

Выводы

Механико-математическое моделирование работы плоского и барабанного сита с частицей классифицируемого продукта объединено единой методикой. Оно произведено с помощью уравнений Лагранжа II рода для механической системы с двумя степенями свободы. Отличие состоит в выборе обобщенных координат.

Положение плоского сита с частицей определяется угловой координатой φ и линейной x . В случае барабанного сита используются две угловые координаты φ и ψ .

Представленная расчетная формула (2) может быть использована для определения относительного ускорения продукта при его движении по плоскому ситу. Формула (5) определяет угловую скорость тяги, на которой подвешено плоское сито, при отсутствии продукта на нем. Формулы (7), (8), (9) определяют угловые ускорения сита, точки М и абсолютное угловое ускорение точки М, движущейся по барабанному ситу. При этом формула (9) позволяет сделать важный вывод о том, что рабочей частью барабана является только его первая четверть. Чтобы увеличить рабочую часть барабана, нужно увеличить его длину, что не всегда выгодно.

Список литературы

1. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н. и др. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для втузов: в 2 кн. / под ред. акад. В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – Кн. 2. – 1383 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов. –13-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 416 с.
3. Григорьева С.П., Юрченко Л.К., Пищулина И.В. Уравнения Лагранжа II рода для плоского подвижного сита // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, Дальрыбвтуз, 2011. – Т. 23. – С. 191–194.
4. Григорьева С.П. Теоретические исследования работы барабанного сита // Рыб. хоз-во. – 2013. – № 3. – С. 93–95.

Сведения об авторах: Григорьева Светлана Петровна, главный специалист ИЗО,
e-mail: spru_vl@lift.ru;
Юрченко Лилия Константиновна, доцент;
Пищулина Ирина Валентиновна, старший преподаватель, e-mail: stepka_53@mail.ru.

УДК 628.35 – 574.24.044

А.А. Дерябин, Д.Ю. Проскура, А.И. Федорова, С.Д. Угрюмова
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Рассмотрены конструктивные особенности вибрационных транспортно-технологических машин, которые используются в рыбоперерабатывающей промышленности, выявлены их достоинства и недостатки. Применение вибрационных машин гораздо перспективнее традиционных средств механизации для решения разнообразных транспортных задач. Принципиальной особенностью вибрационных транспортных машин является возможность совмещения процесса перемещения с технологической обработкой транспортируемого груза. Возможность перемещения продуктов с различными физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: *транспортировка, рыба, вибрационные методы, транспортно-технологические машины, механические колебания, вибропривод.*

A.A. Deryabin, D.Y. Proskura, A.I. Fedorova, S.D. Ugryumova **DESIGN FEATURES OF VIBRATION TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL MACHINES**

Constructive peculiarities of the vibration of transport and technological machines which are used in fish processing industry, identified their strengths and weaknesses. The application of vibrating machines are much more promising traditional means of mechanization for various transportation tasks. The principal feature of vibration transport vehicles is the possibility to combine the process of moving with the technological processing of cargo being transported. Move products with different physical – mechanical properties.

Key words: *transportation, fish, vibration methods, transport and technological machines, mechanical vibrations, vibrooccasion.*

Вибрационная техника и технология коренным образом отличаются от традиционных прототипов. Использование вибрационных принципов при создании машин и освоении рабочих процессов уже в настоящее время позволяет получать ощутимые результаты.

Основными достоинствами вибрационных транспортирующих машин являются:

- возможность перемещения штучных и массовых грузов, начиная от мелкодисперсных материалов и кончая глыбами в поперечнике более 1 м;
- незначительное измельчение перемещаемого груза в процессе транспортирования;
- ничтожный износ грузонесущего органа, даже при перемещении таких высокоабразивных продуктов, как корундовый порошок;
- простота конструкции, почти полное отсутствие трущихся и быстроизнашивающихся деталей, легкость обслуживания и ухода;
- невысокая энергоемкость, безопасность в эксплуатации, простота загрузки и разгрузки в любой точке става.

Возможность применения герметичных грузонесущих органов делает их незаменимыми при перемещении ядовитых, радиоактивных, пылящих, газующих, горячих и других труднотранспортируемых грузов [1].

Вибрационные машины широко используют для транспортирования насыпных грузов в различных отраслях промышленности. Получают развитие также транспортно-технологические машины, осуществляющие в процессе транспортирования технологическую обработку

перемещаемого груза (сушку, обеспыливание, классификацию, гранулирование, обезвоживание и т.д.). К вибрационным транспортирующим машинам относятся вибрационные конвейеры, вибрационные питатели и питатели-грохоты, а также вибрационные подъемники и вибрационные бункеры-дозаторы.

Большинство современных вибрационных машин работает в режимах вынужденных колебаний. Использование вынужденных колебаний открывает широкие возможности разработки вибрационного привода, реализующего колебания различного амплитудного и фазового спектра. Возможна работа вблизи обычного резонанса (когда частота колебаний равна частоте вынуждающего воздействия), в режиме супергармонического резонанса (когда имеется ярко выраженная супергармоника, частота которой кратна частоте вынуждающего воздействия), в субгармоническом режиме (когда частота колебаний в целое число раз меньше частоты вынуждающего воздействия), в режиме комбинационного резонанса (когда рационально отношение частоты колебаний к частоте вынуждающего воздействия) [2].

Наиболее широкое применение находят вибрационные транспортирующие машины, работающие в режиме прямолинейных гармонических колебаний. Находят применение также установки, работающие в режиме прямолинейных бигармонических колебаний. В ряде конструкций траекторией грузонесущего органа является эллипс. Конфигурация эллипса существенно зависит от угла сдвига фаз между составляющими и может меняться от прямолинейной до круговой. Разработаны вибрационные транспортирующие машины, работающие в режиме полуволновых гармонических прямолинейных и эллиптических колебаний.

В связи с тем, что особенности принципиального устройства вибрационных транспортирующих машин в значительной степени определяются типом используемого в них привода, структурные схемы рассматривают применительно к электромагнитным, пневматическим, центробежным, эксцентриковым и гидравлическим приводам.

Принцип перемещения продуктов в вибрационных подъемниках аналогичен обычному вибрационному транспортированию, так как их грузонесущий орган в развернутом виде представляет собой прямолинейный грузонесущий орган наклонного конвейера, транспортирующего насыпной груз с подъемом. При этом угол подъема соответствует углу подъема навивки винтового грузонесущего органа.

При выборе угла подъема необходимо учитывать, что с его возрастанием падает производительность подъемника, а при уменьшении (при той же высоте подъема) возрастает длина грузонесущего органа, а следовательно, и его масса.

На вибрационных подъемниках устанавливают центробежные, электромагнитные и эксцентриковые вибровозбудители. Широкое применение получил привод, состоящий из двух самосинхронизирующихся дебалансных вибровозбудителей со встроенными электродвигателями, расположенных с двух сторон от вертикальной оси вибрационного подъемника.

С технологической точки зрения вибрационные машины целесообразно эксплуатировать при низких частотах и больших амплитудах колебаний.

Так, основными достоинствами вибрационных конвейеров, обеспечивающими их эффективное применение в промышленности, являются: отсутствие измельчения перемещаемого груза в процессе транспортирования; ничтожный износ грузонесущего органа; простота конструкции; практически полное отсутствие трущихся и быстроизнашивающихся деталей; легкость обслуживания и ухода, невысокая энергоемкость; безопасность эксплуатации; возможность загрузки и разгрузки в любой точке грузонесущего органа, а также возрастание эффективности при транспортировании под уклон [3].

Вибрационный транспорт, кроме того, оказывается целесообразным при перемещении высокоабразивных, горячих, корродирующих и других агрессивных материалов, так как принцип его работы и конструктивное выполнение, с одной стороны, обуславливают низкую интенсивность износа рабочего органа, а, с другой – позволяют принимать в особых случаях спе-

циальные меры, такие, как установка охлаждающих рубашек, применение устойчивых покрытий и пр. Перемещаемые вибрационными конвейерами насыпные грузы по гранулометрическому составу могут быть весьма различными: от мелкодисперсных (с размером зерна в пределах десятка микрон) до весьма крупнокусковых (диаметром более 1 м), а также штучные.

Простота осуществления автоматизации работы, т.е. регулирования режима транспортирования (скорость движения, интенсивность подбрасывания материала и т.д.) осуществляется в соответствии с процессами, например, сушки или охлаждения. На металлургических заводах, химических предприятиях, заводах железобетонных конструкций, кондитерских фабриках, оптовых складах пищевой промышленности вибрационные конвейеры используют в программных системах для дозированной подачи разнообразных компонентов данного производства [4].

Вибрационные конвейеры применяют для транспортирования на небольшое расстояние (не более 200 м). Наиболее целесообразно применять вибрационные конвейеры большинства типов для транспортирования на расстояние до 50 м, так как в этом случае могут быть использованы более простые в конструктивном отношении и более надежные в эксплуатации одноприводные транспортные установки.

Важным фактором является также направление транспортирования. Например, вибрационные конвейеры с винтовым желобом при перемещении грузов вертикально вверх на небольшую высоту (до 12 м на один привод) в ряде случаев успешно конкурируют с элеваторами и другими установками для вертикального транспортирования.

В то же время в тех случаях, когда необходимо изменить направление транспортирования, можно применять только вибрационные конвейеры, допускающие реверсирование (электромагнитные и уравновешенные с эксцентриковым приводом).

В большинстве конвейеров используют привод, создающий прямолинейную вынуждающую силу, меняющуюся по гармоническому закону. Наиболее простыми в конструктивном отношении и надежными в эксплуатации являются одноприводные одномассные конвейеры, снабженные вибровозбудителями со встроенными электродвигателями. Одномассные вибрационные конвейеры работают в зарезонансном режиме. В этом случае вследствие малой жесткости опорных пружин представляется возможность значительно снизить динамические нагрузки, передаваемые на опорные конструкции.

Широко используют конвейеры с центробежными виброприводами направленного действия. Такие конвейеры состоят из рабочего органа, центробежного вибровозбудителя, рабочей упругой системы и вспомогательных или виброизолирующих пружин. В двухмассных конвейерах вследствие резонансной настройки и динамической уравновешенности колеблющихся частей значительно увеличивается длина грузонесущего органа на один привод. Еще более значительное увеличение длины конвейера может быть обеспечено при установке на него нескольких вибровозбудителей, т.е. в многоприводной машине [5].

Весьма высокие конструктивно-технологические показатели имеют вибрационные конвейеры с реактивными массами. Конвейеры этого типа с центробежными вибровозбудителями выполняют двух модификаций. Принцип действия конвейера первой модификации состоит в следующем. Грузонесущему органу, свободно подвешенному или опертому на мягких винтовых пружинах, с помощью дебалансного вибровозбудителя со встроенными электродвигателями сообщают продольные колебания. При этом соединенным с ним с помощью мягких рессор реактивным массам также сообщаются колебания в горизонтальной плоскости, но направленные в противоположную сторону (со сдвигом фазы 180°). Конструкция устроена так, что рессора соединяется с реактивной массой не непосредственно, а через резинометаллический упругий элемент, допускающий ее относительное перемещение вдоль рессоры. Жесткость резинометаллического упругого элемента подбирают таким образом, чтобы собственная частота системы была близка к частоте вынужденных колебаний. Так как

рессора расположена не перпендикулярно к направлению колебаний грузонесущего органа, а под меньшим углом, возникает составляющая, которая возбуждает колебания реактивной массы вдоль рессоры. В свою очередь, возмущения, создаваемые на рессоре, обуславливают возникновение поперечных колебаний грузонесущего органа. Результирующие колебания грузонесущего органа складываются из его поперечных и продольных колебаний.

Принцип перемещения продуктов в вибрационных подъемниках аналогичен обычному вибрационному транспортированию, так как их грузонесущий орган в развернутом виде представляет собой прямолинейный грузонесущий орган наклонного конвейера, транспортирующего насыпной груз с подъемом. При этом угол подъема соответствует углу подъема навивки винтового грузонесущего органа.

При выборе угла подъема необходимо учитывать, что с его возрастанием падает производительность подъемника, а при уменьшении – при той же высоте подъема возрастает длина грузонесущего органа, а следовательно, и его масса. Если вибрационный подъемник предназначен только для подъема, то угол наклона грузонесущего органа выбирают исходя из условия обеспечения наибольшей скорости подъема груза при наименьшей длине грузонесущего органа. Если вибрационный подъемник используют для технологических целей (классификации, сушки, химической обработки) или при теплообменных процессах, то угол подъема выбирают в зависимости от требуемой продолжительности пребывания продукта на грузонесущем органе.

На вибрационных подъемниках устанавливают центробежные, электромагнитные и эксцентриковые вибровозбудители. Широкое применение получил привод, состоящий из двух самосинхронизирующихся дебалансных вибровозбудителей со встроенными электродвигателями, расположенных с двух сторон от вертикальной оси вибрационного подъемника. Такая установка вибровозбудителей с расположением их осей под углом к вертикали обеспечивает необходимые винтовые колебания грузонесущему органу.

Проанализировав вибрационные транспортирующие машины и их приводы, была поставлена задача создания вибрационного привода с универсальными параметрами. Главная задача при создании виброприводов – добиться одновременного колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях, что при данном развитии техники практически невозможно [6].

Был выполнен и получен патент на полезную модель № 91987 от 21 октября 2009 г. «Устройство вибрационного перемещения гидробионтов». Решение поставленной задачи достигается путем подбора частоты и амплитуды вибрации в одной или двух плоскостях, а также регулирования угла наклона вибрационного устройства для эффективной подачи сырья. Вибрационное устройство создает вибрационные колебания в горизонтальной или вертикальной плоскостях или одновременно в обоих. Колебания производятся одним электродвигателем. Конструкция данного загрузочного устройства является простой в изготовлении и эксплуатации. Широкий диапазон регулирования скорости подачи (транспортирования) сырья дает возможность использовать устройство в различных по производительности линиях. На основе патента был разработан и установлен экспериментальный стенд.

Продолжением данной работы стал патент на полезную модель № 2012131982/11 (050502) от 25 июля 2012 г. «Устройство вибрационного перемещения гидробионтов». Данная модель хорошо работает при относительно невысоких частотах вибрации. Но при увеличении частоты колебаний рабочая поверхность из-за энергии инерции не успевает возвращаться в первоначальное положение (например, при горизонтальном движении) и уже начинаются вертикальные колебания, что приводит находящееся на рабочей поверхности вибростолы сырье двигаться на одном месте – возникает эффект качелей. Чтобы избежать этого эффекта, было предложено установить на базовой модели демпфирующие устройства и направляющие по горизонтальной оси.

Произведена реконструкция виброподогревающего транспортирующего устройства для вязких сред. Эта задача решается тем, что устройство для транспортирования вязких сред по

трубопроводам состоит из цилиндрического корпуса, на концах которого находятся фланцевые крепления для встраивания устройства в действующий трубопровод. Внутри корпуса находится подвижная полая цилиндрическая втулка с лопатками, закрепленными с помощью шарниров по спиральной линии на внутренней поверхности втулки. Подвижная втулка по торцам подпружинена пружинами, которые упираются в упоры. Снаружи корпуса находится электронагревающий элемент – тен, изолированный от внешней среды теплоизоляционным слоем. Намотанный, как спираль электроплитки, по внешнему контуру устройства с внешней теплоизоляцией для предотвращения теплопотерь. Он может быть один с регулируемой мощностью, или два-три, включаемых вместе (по необходимости). По торцам электроподогревающего элемента находятся электромагниты торроидной формы, управляемые через реле.

Получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель «Устройство для транспортирования вязких масс по трубопроводам» (з. № 2014124482/06 (039800), Рг. 16.06.2014 г.).

Преимущества предлагаемого устройства: устройство рассчитано для транспортирования не только жидких, но и вязких сред, разной плотности и вязкости, включая пищевые массы, без изменения их химических свойств; конструкция устройства позволяет интенсифицировать процесс транспортирования путем понижения вязкости продукта без изменения его структуры, за счет одновременного продвижения, подогрева и перемешивания транспортируемой вязкой массы.

Список литературы

1. Гончаревич, И.Ф. Вибрационная техника в рыбной промышленности / И.Ф. Гончаревич, К.Д. Декин, С.А. Асейнов, К.Д. Декин, С.А. Асейнов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 213 с.
2. Мельников, К.Ю. Влияние колебательных систем на скорость перемещения рыбы / К.Ю. Мельников, А.А. Дерябин, С.Д. Угрюмова // III МНПК «Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы». – Пенза: НМЦ, 2009. – С. 69–74.
3. Wu Y. Vibration of Hydraulic Machinery / Y. Wu, S. Liu, H-S. Dou. – London: Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013. – 500 p.
4. Дерябин, А.А. Исследование влияния вибрационных параметров на действительную скорость транспортирования рыб / А.А. Дерябин, С.Д. Угрюмова, К.Ю. Мельников // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – Т. 20. – С. 32–38.
5. Проскура, Д.Ю. Особенности теплового и вибрационного воздействия при обработке вязких сред / Д.Ю. Проскура, А.А. Дерябин, С.Д. Угрюмова // Инновационные и современные технологии пищевых производств: материалы МНТК. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – С. 78–81.
6. Дерябин, А.А. Особенности перемещения вязких сред с использованием виброподогревателей / А.А. Дерябин, Д.Ю. Проскура, С.Д. Угрюмова // Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания: материалы 56-й Всерос. науч. конф. – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова, ВУНЦ «ВМА», 2013. – Т. 3. – С. 43–47.

Сведения об авторах: Дерябин Андрей Анатольевич, старший преподаватель, e-mail: geolog@mail.ru;

Проскура Дмитрий Юрьевич, старший преподаватель, e-mail: dim.proskura@mail.ru;

Федорова Александра Игоревна, аспирант, e-mail: aleksa13@list.ru;

Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор, e-mail: aleksa13@list.ru.

УДК 502 : 628.305

В.В. Кирюха

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Рассмотрены вопросы экономической и экологической целесообразности применения хладагентов разных типов при проектировании или выборе систем кондиционирования для бытовых и производственных помещений.

Ключевые слова: хладагент, фреон, кондиционер, экология.

V.V. Kiryuha

OPTIMIZING THE CHOICE OF REFRIGERANT FOR AIR CONDITIONING FROM THE ENVIRONMENT IN MIND

The questions of ecologically and economically worthwhile use different types of refrigerant in design or selection of conditioning systems for domestic and industrial premises.

Key words: refrigerant, climate, ecology.

В настоящее время все более широкое применение находят системы кондиционирования воздуха. Такие системы широко применяются как в бытовых и служебных помещениях (оконные и сплитовые кондиционеры), так и в производственных цехах.

За последнее десятилетие применение систем кондиционирования в количественном выражении выросло в десятки раз. Если в 80-х гг. прошлого века на 1000 человек приходилось 3 кондиционера, в 2005 г. – около 100, то в течение ближайших 10 лет прогнозируется увеличение еще в 2–3 раза. К примеру, среднеевропейское насыщение системами кондиционирования воздуха составляет около 300 единиц на 1000 человек населения. Примерно такое же положение сложилось и среди офисных и служебных помещений. В производственных цехах применение систем кондиционеров в большей степени определяется характером производства. Если в первоначальный период роста числа систем кондиционирования выбор систем в основном определялся имеющимися на рынке, то в настоящее время возможен выбор, требующий более серьезного подхода как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Современные системы кондиционирования в качестве хладагентов могут использовать фреон различных типов, антифриз, воду и т.д. Наиболее часто используют фреон в устройствах кондиционирования и воду в системах с использованием чиллеров-фанкойлов. Сплит-система состоит из внутреннего и наружного блоков, соединенных между собой медными теплоизолированными трубками, обеспечивающими циркуляцию хладагента. Внутренний блок имеет поверхностный воздухоохладитель, наружный блок – компрессорно-конденсаторный агрегат с тепловым насосом, подающим к внутреннему блоку хладагент.

Система чиллер-фанкойл состоит из основного чиллера и нескольких фанкойлов. Чиллер – холодильная машина, которая охлаждает (или при необходимости подогревает) хладагент и подает его по системе трубопроводов в фанкойлы. Фанкойлы – это теплообменники с вентиляторами, в которых происходит теплообмен между теплоносителем и воздухом помещения.

При проектировании систем кондиционирования выбор между той или иной системой определяется технико-экономическими параметрами. Экологические вопросы при выборе системы, как правило, во внимание не принимаются.

С нашей точки зрения, целесообразно (особенно для помещений, где предполагается многолетнее использование систем кондиционирования) перед проектированием проводить экономический и экологический анализ вопроса.

Россия подписала Киотский протокол, а он является регламентирующим документом по вопросам, связанным с использованием озоноразрушающих фреонов, и вопросам, связанным с глобальным потеплением.

В фреоновых системах в настоящее время в России используется фреон R22, имеющий в составе своей молекулы атома хлора.

Обычно этот тип фреонов обозначают HCFC, где первая буква «С» указывает на хлор. Этот атом, по утверждению некоторых экспертов, является причиной разрушения озонового слоя. И хотя данное утверждение было весьма спорным и вызвало массу возражений со стороны специалистов, паника среди производителей кондиционеров, подогреваемая производителями фреонов, привела к полной победе озонобезопасных хладагентов.

Таковыми хладагентами являются фреоны типа R407C и R410A (F-газы). F-газы – это три вида соединений, которые содержат фтор. К ним относятся и новые HFC-фреоны. Ожидается, что в ближайшее время Европейский союз примет четыре основных закона, касающихся применения таких фреонов.

В отличие от традиционных хладагентов R407C и R410A являются смесями различных фреонов, а потому менее удобны в эксплуатации. Так, в составе R407C, созданного в качестве альтернативы R22, входят три фреона: R32 (23 %), R125 (25 %) и R134a (52 %). Каждый из них отвечает за обеспечение определенных свойств: первый – способствует увеличению производительности, второй – исключает возгорание, третий – определяет рабочее давление в контуре хладагента.

Эта смесь не является изотропной, а потому при любых утечках хладагента его фракции улетучиваются неравномерно, и оптимальный состав меняется. Таким образом, при разгерметизации холодильного контура кондиционер нельзя просто дозаправить: остатки хладагента необходимо слить и заменить новым. Именно это стало основным препятствием для распространения R407C. Потери хладагента при перезаправке могут иметь значительный экологический вес.

К тому же его «экологичность» на практике может привести к дополнительной нагрузке на окружающую среду. Эвакуированный из кондиционеров фреон необходимо утилизировать, а в России или странах Азии с этим могут возникнуть проблемы. И хотя для озонового слоя R407C не опасен, он является одним из наиболее сильных «парниковых газов».

Хладагент марки R410A, состоящий из R32 (50 %) и R125 (50 %), является условно изотропным. То есть при утечке смесь практически не меняет своего состава, а потому кондиционер может быть просто дозаправлен. Однако и R410A не лишен некоторых недостатков. В отличие от R22, который хорошо растворим в обыкновенном минеральном масле, новые хладагенты предполагают использование синтетического полиэфирного масла.

Полиэфирное масло обладает одним очень существенным недостатком – оно моментально поглощает влагу, теряя при этом свои свойства. Причем при хранении, транспортировке и заправке необходимо исключить не только попадание капельной влаги, но и контакта с влажным воздухом, из которого масло активно впитывает воду. К тому же оно не растворяет любые нефтепродукты и органические соединения, которые становятся потенциальными загрязняющими веществами. Все это несущественно меняет процесс монтажа, но требует особого внимания к некоторым технологическим операциям. В частности, для вакуумирования нужен двухступенчатый насос, способный обеспечить разряжение до 42 атм, и

соответствующий манометр. При пайке трубопроводы должны быть заполнены инертным или химически неактивным газом с низким содержанием влаги, например, азотом, а дозаправка хладагента может производиться исключительно в жидкой базе.

Климатическое оборудование на R410A при той же производительности получается намного дороже. Причина в более высоком рабочем давлении. Так, при температуре конденсации + 43 °C у R22 оно составляет около 16 атм, а у R410A – порядка 26 атм. По этой причине все узлы и детали холодильного контура, заправленного R410A, включая компрессор, должны быть более прочными. Это несущественно увеличивает расход меди, но все же удорожает систему.

Озонобезопасные хладагенты стоят дороже традиционных. Так, грамм R410A стоит в 7 раз больше, чем R22.

Немного дешевле R407C, на который активно переводится полупромышленная гамма оборудования. Здесь будет 6-кратная разница, а с учетом того, что при любой утечке его надо сливать, реальные расходы на фреон еще более вырастут. Следует учесть и тот факт, что с ростом рабочего давления количество утечек неизбежно увеличится, поскольку прочность паяных соединений остается прежней. Кроме того, часть монтажных и ремонтных организаций не имеет соответствующего оборудования.

Именно по этим причинам региональные компании не торопятся переходить на озонобезопасный хладагент. При возможности выбирать между R410A и R22 региональные компании в 90 % случаев будут работать с кондиционерами на более привычном и более дешевом фреоне. Хотя бы потому, что не подготовились к переходу на R410A ни морально, ни технически. Однако рано или поздно это придется сделать. Причин для этого сразу несколько.

Во-первых, практически все новые модели ведущих мировых производителей разрабатываются только на озонобезопасных фреонах, так как R410A – самый прогрессивный хладагент на сегодняшний день (COP достигает более 4). Это значит, что через 2-3 года между техникой на HFC и R22 неизбежно возникнет ощутимый технологический разрыв, а продавать устаревшую технику всегда непросто.

В странах ЕС к F-газам выдвигают следующие требования:

- для устройств, в которых содержится более 3 кг F-газа, необходимо проводить тест на утечку газа как минимум 1 раз в год. По результатам проверки следует заполнять специальную форму;
- после окончания срока службы устройства, содержащего F-газ, газ должен быть полностью утилизирован;
- сервисная служба должна иметь соответствующий сертификат;
- фреоны HFC не могут применяться в автомобильных кондиционерах после 2010 г.

F-газы не угрожают озоновому слою, но могут быть причиной экологической озабоченности другого рода. Эксперты выяснили, что коэффициент глобального потепления для HFC в сотню раз превосходит этот коэффициент для R22. Коэффициент глобального потепления GWP100 показывает вклад газа в экранирование ИК-излучения. Коэффициент GWP100 принят за единицу для CO₂.

Если правительства европейских стран реально озаботятся глобальным потеплением, никто не сможет помешать запрету на HFC. И история показывает, что такой шаг может быть сделан внезапно. К сожалению, политику делают не ученые и проектировщики, а политики. И их решения зачастую являются популистскими.

Однако и другая крайность не является оптимальным решением. Во многих случаях (особенно в системах с многозонным кондиционированием) стоит задуматься о целесообразности применения сплит-систем с фреонами.

Очень часто при кондиционировании объектов с большим количеством помещений, особенно различного назначения, встает вопрос: какая система охлаждения воздуха является

предпочтительной? Как правило, в тех существующих зданиях, где необходимо поддерживать индивидуальные климатические условия в каждом конкретном помещении, целесообразно использовать две системы кондиционирования воздуха: чиллер-фанкойл или мультизональные системы. Сплит-системы, даже с несколькими внутренними блоками, несмотря на свою дешевизну, не желательны, так как портят внешний вид здания, загромождая его наружными блоками, а системы на базе центральных кондиционеров требуют прокладки огромного количества воздухопроводов большого сечения, что возможно в основном на этапе строительства здания. По сравнению с ними чиллер и фанкойлы или мультизональные фреоновые системы требуют незначительного объема строительных работ, которые можно выполнить, не прекращая эксплуатации кондиционируемых помещений, или, по крайней мере, приостановить их функционирование на короткий срок.

Для того чтобы окончательно определиться с выбором системы, следует проанализировать их недостатки с различных точек зрения. Оптимальное решение может быть найдено при анализе особенностей проектирования, монтажа, эксплуатации и ремонта систем.

Этап проектирования может стать решающим при выборе конкретной системы, так как проектировщик должен учитывать не только пожелания заказчика, но и предусмотреть все последствия принятого решения. Так, при выборе любого оборудования существуют ограничения, которые могут сделать неприемлемым его использование. Например, если длина фреоновых коммуникаций или перепад высот между блоками мультизональных систем превышает допустимое значение, а место для другого размещения наружных блоков отсутствует, тогда единственным решением остается использование систем водяного охлаждения, у которых межблочная длина гидравлических соединений определяется параметрами насосной станции или количеством промежуточных насосов.

С точки зрения сложности выполнения расчетов и комплектования всей системы в целом проектирование на основе фреонового оборудования проще по сравнению с водяными системами, так как в системах чиллер-фанкойлов кроме общего для всех систем расчета теплового баланса помещений еще добавляется расчет гидравлических коммуникаций. Для мультизональных систем необходимо лишь обеспечить выполнение некоторых ограничений по длине трассы и расположению блоков и рассчитать объем дозаправляемого хладагента, если это требуется. Другим достоинством фреоновых систем является стандартный набор принадлежностей, которые, как правило, обеспечивают выполнение всех предъявляемых к их работе требований. Эти различные уровни автоматизации и контроля работы оборудования, обеспечиваемые целым набором пультов управления, дополнительные принадлежности и возможность внутренних блоков фреоновых систем могут работать одновременно в режимах охлаждения и обогрева.

Самым важным преимуществом фреонового оборудования является многообразие внутренних блоков, которое позволяет использовать их в помещениях различного назначения и соответствовать разным дизайнерским и архитектурным решениям: настенные, напольные, подпотолочные, кассетные, каналные, колонные, встраиваемые и т.д. Водяные системы до недавнего времени располагали лишь ограниченным набором внутренних блоков: напольные, потолочные, каналные. Хотя в последнее время к ним добавились настенные и кассетные блоки, но они не получили пока широкого распространения и предлагаются пока еще не всеми производителями систем водяного охлаждения.

Комфортные условия в помещении во многом зависят от точности поддержания в них параметров окружающей среды. Хотя точность поддержания температуры у обеих систем приблизительно одинаковая, но фреоновые системы способны более эффективно обеспечивать выполнение заданных условий благодаря наличию дополнительных функций в приборах автоматического управления их внутренних блоков. Пульты для фанкойлов позволяют в большинстве случаев регулировать только температуру воздуха и менять скорость работы

вентилятора, в то время как пультами внутренних блоков мультizonальных систем снабжены таймером, позволяющим задавать время включения оборудования, переключателем скорости вентилятора, переключателем режимов работы с возможностью автоматического выбора режима и другими сервисными функциями. Кроме того, некоторые модели фреоновых систем позволяют одновременно использовать внутренние блоки одной системы на охлаждение и обогрев, если разные помещения требуют разных параметров микроклимата или находятся в различных условиях. Все больше фреонового оборудования снабжается функцией нечеткой логики, которая уменьшает вероятность ошибки со стороны человека при выборе оптимальных условий. Все это делает эксплуатацию мультizonальных систем предпочтительней и удобней с точки зрения оптимизации параметров микроклимата.

В последнее время начали появляться современные пульта управления и для водяных систем, но до их широкого применения еще далеко. Кроме того, они увеличивают общую стоимость оборудования, а его сравнительная дешевизна как раз и является одним из преимуществ водяных схем.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о целесообразности экономической проработки вопроса не только с позиций стоимости приобретения и эксплуатации оборудования, но и с позиций экологической безопасности и возможности применения запретительных мер в обозримый период в будущем.

Оптимальный выбор той или иной системы кондиционирования зависит от многих факторов, влияющих на принятие окончательного решения. Тщательный анализ невозможен без знания всех особенностей монтажа и эксплуатации каждого вида оборудования, поэтому очень многое зависит от грамотности проектировщика, который, как правило, и оказывает решающее влияние на этот выбор.

Выбор системы кондиционирования основывается, как правило, на анализе технико-экономических параметров. С учетом вышесказанного считаем целесообразным проводить оценку проектов (в том числе контролирующими службами) с учетом требований экологической безопасности.

Затем следует сравнить экономическую целесообразность применения тех или других предложенных вариантов по стандартным методикам расчетов.

Список литературы

1. Кирюха В.В., Мазур И.Ф. Оптимизация выбора хладагента в системах кондиционирования с учетом требований экологической безопасности // Приморские зори-2005: сб. – Владивосток: ТАНЭБ, 2005.
2. Кирюха В.В., Мазур И.Ф. Вопросы контроля и управления качеством воздушной среды // Белые ночи: сб. – СПб.: МАИЭБ, 2004.

Сведения об авторе: Кирюха Владимир Витальевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: vkiryuha@list.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ	3
<i>Бакланов Е.Н., Стародубцев Е.П., Стародубцев П.А.</i> Возможные объяснения проявления детерминированного хаоса в биотике морской среды	3
<i>Казаченко В.Н., Ковалева Н.Н., Фещенко Н.В., Nguyen Vu Ha.</i> <i>Alcirona Krebsii</i> Hansen, 1890 (Crustacea: Isopoda: Corollanidae) – новая для фауны Вьетнама паразитическая изопода	11
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА	14
<i>Алифанов Р.Н., Алифанова И.А., Карпачев А.А., Стародубцев П.А.</i> Электродинамика материальных сред и дробные интегро-дифференцированные уравнения	14
<i>Алифанов Р.Н., Алифанова И.А., Шостак С.В., Стародубцев П.А.</i> Расчет декартовых координат морских объектов по кривизне волнового фронта принятого сигнала	25
<i>Бакланов Е.Н., Мироненко М.В., Стародубцев П.А.</i> Некоторые акустические особенности морских биологических объектов и их использование для обнаружения	32
<i>Шевченко А.И., Майсс А.А., Акимова О.В.</i> Анализ существующих средств селективности траловых систем на промысле минтая	42
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ	51
<i>Кирюха В.В., Горбенко Ю.М., Яблокова В.С.</i> Способ корректировки решения задачи диагностики электрических цепей методом наименьших квадратов	51
<i>Корниенко И.А.</i> Моделирование электропривода постоянного тока в программном пакете MATLAB	55
<i>Матафонова Е.П.</i> Особенности работы судового электрооборудования при ловле рыбы на свет	59
<i>Молочков В.Я., Молочкова И.Д.</i> Структурные модели динамических процессов в исследовании технических средств судов	64
<i>Плоткина В.А., Стародубцев П.А.</i> Методы и способы управления пограничным слоем в морской технике	76
ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	86
<i>Бахарев С.А., Карасев А.В., Карасев В.В.</i> К вопросу сушки рыбы в акустических полях.....	86
<i>Федосеева Е.В.</i> Определение оптимальных параметров технологических операций при производстве пресервов из молок лососевых рыб	98
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ	103
<i>Бурханов С.Б., Кучеренко Л.В.</i> Пути повышения эффективности управления производственно-хозяйственной деятельностью рыбопромыслового флота ОАО «ТУРНИФ»	103
<i>Григорьева С.П., Юрченко Л.К., Пищулина И.В.</i> Механико-математическое моделирование движения плоского и барабанного сита с частицей классифицируемого продукта	112
<i>Дерябин А.А., Проскура Д.Ю., Федорова А.И., Угрюмова С.Д.</i> Конструктивные особенности вибрационных транспортно-технологических машин	117
<i>Кирюха В.В.</i> Оптимизация выбора хладагента для систем кондиционирования с учетом экологических требований	122

CONTENTS

ICHTHYOLOGY. ECOLOGY	3
<i>Baklanov E.N., Starodubtcev E.P., Starodubtcev P.A.</i> Possible explanations of determined chaos in a biotic of the sea environment.....	3
<i>Kazachenko V.N., Kovaleva N.N., Feshchenko N.V., Nguyen Vu Ha.</i> <i>Alcirona Krebsii</i> Hansen, 1890 (Crustacea: Isopoda: Corollanidae) – parasitic copepod new for fauna of Vietnam.....	11
INDUSTRIAL FISHERIES. ACOUSTICS	14
<i>Alifanov R.N., Alifanova I.A., Karpachev A.A., Starodubtcev P.A.</i> Electrodynamics of material media and fractional integro-differential equations.....	14
<i>Alifanov R.N., Alifanova I.A., Shostak S.V., Starodubtcev P.A.</i> The calculation of the cartesian coordinates of the offshore facilities in the curvature of the wavefront of the received signal.....	25
<i>Baklanov E.N., Mironenko M.V., Starodubtcev P.A.</i> Some acoustic features of marine biological objects and their use for detection.....	32
<i>Shevchenko A.I., Maiss A.A., Akimova O.V.</i> Analysis of existing means for the selective trawl pollock fishery systems.....	42
SHIP POWER PLANTS, EQUIPMENT AND SYSTEMS, SHIP NAVIGATION FACILITIES, SHIP ELECTRICAL FACILITIES	51
<i>Kiryuha V.V., Gorbenko U.M., Yablokova V.S.</i> Method of quadripole diagnosis features based on the least squares method.....	51
<i>Kornienko I.A.</i> Modelation of electrical dc drive in the matlab program.....	55
<i>Matafonova E.P.</i> Features work ship electric when fishing on light.....	59
<i>Molochkov V.Ya., Molochkova I.D.</i> Structural models of dynamic processes in research ship's technical gears.....	64
<i>Plotkina V.A., Starodubtcev P.A.</i> Methods and means of boundary layer marine applications.....	76
TECHNOLOGY AND QUALITY CONTROL OF FOOD PRODUCTS	86
<i>Baharev S.A., Karasev A.V., Karasev V.V.</i> To a question of drying of fish in acoustic fields.....	86
<i>Fedoseeva E.V.</i> Determination of optimum parameters of technological operations in the production of preserved food of salmon milt.....	98
TECHNOLOGICAL AND TRANSPORTATION EQUIPMENT OF FISHERIES	103
<i>Burkhanov S.B., Kucherenko L.V.</i> Ways to streamline management of production and economic activity of fishing fleet JSC «TURNIF».....	103
<i>Grigoreva S.P., Iurchenko L.K., Pishchulina I.V.</i> The mechanics-mathematical modeling of the movement of the flat and the drum sieve with the particle of the classified product.....	112
<i>Deryabin A.A., Proskura D.Y., Fedorova A.I., Ugryumova S.D.</i> Design features of vibration transportation and technological machines.....	117
<i>Kiryuha V.V.</i> Optimizing the choice of refrigerant for air conditioning from the environment in mind.....	122

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Статья должна соответствовать научным требованиям, быть интересной достаточно широкому кругу российской научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы и содержать очевидный элемент создания нового знания.

За точность воспроизведения имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Объем статьи (включая список литературы, таблицы и надписи к рисункам) должен быть не более 12 страниц; текст – в формате А4; наименование шрифта – Times New Roman; размер (кегель) шрифта – 12 пунктов; все поля должны быть 2 см, отступ (абзац) – 1 см, межстрочный интервал – одинарный.

Текст статьи набирать без принудительных переносов, слова внутри абзаца разделять только одним пробелом, не использовать пробелы для выравнивания. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Границы таблиц и рисунков должны соответствовать параметрам полей текста. Математические уравнения и химические формулы должны набираться в редакторе формул Equation (MathType) или в Редакторе MS Word, одним объектом, а не состоять из частей, сами формулы должны быть 12-14 кегля.

Формулы и уравнения печатаются с новой строки и нумеруются в круглых скобках в конце строки.

Рисунки должны быть представлены в формате *.jpg или *.bmp. Подрисовочная подпись должна состоять из номера и названия (Рис. 1. ...). В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Графики, диаграммы и т.п. рекомендуется выполнять в программах MS Excel или MS Graph. Таблицы должны иметь заголовки и порядковые номера. В тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую таблицу.

Допускаются смысловые выделения – полужирным шрифтом.

Статья должна включать следующие данные:

1. Индекс УДК (на первой странице в левом верхнем углу).

2. Инициалы и фамилии всех авторов, через запятую.

3. Полное название учреждения (место работы), город, почтовый адрес и индекс.

Если авторов несколько и они работают в разных учреждениях, возле названия каждого учреждения и фамилии автора ставится соответствующий надстрочный символ.

4. Над фамилиями авторов справа указывается один из следующих разделов сборника:

- **Ихтиология. Экология.**

- **Промышленное рыболовство. Акустика.**

- **Судовые энергетические установки, устройства и системы, технические средства судовождения, электрооборудование судов.**

- **Технология и управление качеством пищевых продуктов.**

- **Технологическое и транспортное оборудование рыбохозяйственной отрасли.**

5. Заголовок. Название статьи должно быть кратким (не более 10 слов). Заголовки набирают полужирными заглавными буквами. В заглавии не допускается употребление сокращений, кроме общепризнанных.

6. Аннотацию (не более 700 печатных знаков) набирают курсивом.

7. Ключевые слова (не более 9).

8. Текст статьи обязательно должен содержать следующие разделы (возможно выделение данных разделов в тексте):

Введение

Объекты и методы исследований

Результаты и их обсуждение

Выводы

9. Список литературы оформляется согласно ГОСТ 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Список литературы приводится в порядке цитирования работ в тексте в квадратных скобках [1, 2, 3].

На английском языке необходимо предоставить следующую информацию (после ключевых слов на русском языке):

- инициалы и фамилии авторов;
- заглавие статьи;
- текст аннотации;
- ключевые слова (Key words);
- подписи к рисункам и названия таблиц (приводятся в тексте по смыслу).

Сведения об авторах приводятся в конце статьи (после списка литературы) и включают в себя: Фамилия, имя, отчество (полностью), научная степень, звание, должность, e-mail.

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MS Word 3 на CD диске, флэш-носителе или отправляется на электронный адрес редакции (nauch-tr@dgtru.ru). Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – Петров А.А.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько файлов.

2. Распечатанный экземпляр статьи, строго соответствующий электронной версии.

3. Сопроводительное письмо на имя главного редактора сборника (ректора ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз» Кима Г.Н.) на бланке направляющей организации о возможности опубликовать научную статью в сборнике, с подписью руководителя учреждения (заверенной печатью), в котором выполнена работа, или его заместителя (сотрудникам Дальрыбвтуза не требуется сопроводительное письмо).

4. Экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати с гербовой печатью организации.

5. Заявка (Ф.И.О., город, учреждение, название статьи, название рубрики, контактные (рабочий, сотовый) телефоны, дата подачи статьи).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Пример оформления статьи

УДК 123

Ихтиология. Экология

А.А. Иванов¹, И.Б. Петров²

¹ Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4.

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Аннотация.

Ключевые слова: гидробионты.

Данные на английском языке.

Текст статьи (по ширине страницы) [1, 2, 3].

Список литературы

Сведения об авторах: Иванов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: ivanova@mail.ru;

Петров Игорь Борисович, кандидат биологических наук, профессор, научный сотрудник, e-mail: petrov@mail.ru.

Адрес: 690087, Россия, Владивосток, ул. Луговая, 52б, каб. 412б
Тел./факс: (4232) 44-11-76
e-mail: nauch-tr@dgtru.ru
сайт: <http://nauch-tr.dgtru.ru>

Научное издание

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Сборник научных статей

Том 32

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-45533 от 16 июня 2011 г.

Редактор Т.В. Ломакина
Технический редактор И.Н. Горланова
Художественный редактор А.А. Устьянцева
Макет, обложка О.В. Нечипорук
Мастер печати Н.В. Сауцкая

Подписано в печать 26.09.2014. Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 15,34. Уч.-изд. л. 11,20. Заказ 0538. Тираж 400 экз.
Отпечатано: Издательско-полиграфический комплекс Дальневосточного
государственного технического рыбохозяйственного университета
690091, г. Владивосток, ул. Светланская, 25