

METHODOLOGICAL GUIDELINES ON THE ASSESSMENT OF TRAWL CATCHABILITY OF
KRILL BY MEANS OF STATISTICAL MODELLING

Z.I.Kizner
(U.S.S.R.)

Abstract

This paper offers an approach to the assessment of the relative effectiveness of krill fishing gear by means of statistical modelling. The Monte-Carlo method, which is described in the works by Metropolis, N., Ulam, S. (1949) and Sobol, I. M. (1978), is used as a basis. The Monte-Carlo method is useful for solving problems related to the quantitative assessment of complex stochastic systems, including the assessment of the effectiveness of trawl nets used in krill fishing. However, on its own the Monte-Carlo method does not provide a complete solution to the set problem. This paper sets out a method of comparative assessment of the effectiveness of trawl nets of various configurations. The algorithm for solving this problem is constructed in such a way that it can be applied without alteration for the assessment of the effectiveness of trawl nets of any configuration and affects only the input information.

The paper formulates axioms describing the ideal situation for the process of entrapment of krill by the net; this permits the rigorous mathematical formulation of the problem and the development of an algorithm for its solution. A detailed description is given of the algorithm for the assessment of the effectiveness of krill trawl nets, which includes a principal module and the module RESOLV (i.e. the resolution of several systems composed of two linear equations and two double inequalities).

The proposed algorithm can be realised by computer in the algorithmic languages ALGOL, FORTRAN or PL-1; for this the utilisation of a rapid-operation computer is recommended.

* * * * *

PRINCIPES METHODOLOGIQUES DIRECTEURS SUR L'EVALUATION DES
POSSIBILITES DE CHALUTAGE DU KRILL AU MOYEN DE MODELES
STATISTIQUES

Z.I.Kizner
(U.R.S.S.)

Résumé

Ce document présente une manière d'aborder l'évaluation de l'efficacité relative des engins de pêche du krill au moyen de modèles statistiques. La méthode Monte-Carlo, décrite dans les ouvrages de Metropolis, N., Ulam, S. (1949) et Sobol, I. M. (1978) a servi de base. La méthode Monte-Carlo est utile pour résoudre les problèmes liés à l'évaluation quantitative de systèmes stochastiques

complexes, y compris l'évaluation des chaluts dans la pêche de krill. Cependant la méthode Monte-Carlo ne constitue pas, à elle seule, une solution complète au problème posé. Ce document présente une méthode pour l'évaluation comparative de l'efficacité des chaluts de diverses configurations. L'algorithme utilisé pour résoudre ce problème est construit de telle sorte qu'il peut être appliqué sans modification aucune pour évaluer l'efficacité des chaluts de toute configuration et n'affecte que les renseignements fournis.

Le document présente la formulation des axiomes décrivant la situation idéale relative au processus par lequel le krill se prend dans le chalut; ceci permet la formulation mathématique rigoureuse du problème et l'élaboration d'un algorithme pour le résoudre. Le document présente une description détaillée de l'algorithme concernant l'évaluation de l'efficacité des chaluts. Cette description comprend un module principal et le module RESOLV (c'est-à-dire la résolution de plusieurs systèmes composés de deux équations linéaires et deux inégalités doubles).

L'algorithme proposé peut être réalisé à l'aide d'un ordinateur en se servant des langues algorithmiques ALGOL, FORTRAN ou PL-1. Pour ce faire, il est recommandé d'utiliser un ordinateur à opération rapide.

* * * * *

PAUTAS METODOLOGICAS SOBRE LA EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE :
EN LA CAPTURA DE KRILL POR MEDIO DE MODELACION ESTADISTICA

Z.I.Kizner
(U.R.S.S.)

Resumen

Este documento ofrece un enfoque para la evaluación de la relativa eficiencia de los aparejos de pesca del krill por medio de modelación estadística. El método Monte-Carlo, que se describe en los trabajos de Metropolis, N., Ulam, S. (1949) y Sobol, I. M. (1978), se usa de base. El método Monte-Carlo es útil para resolver problemas relacionados a la evaluación cuantitativa de sistemas fortuitos complejos, incluyendo la evaluación de la eficiencia de las redes de arrastre empleadas en la pesca de krill. Sin embargo, el método Monte-Carlo por sí mismo, no provee una solución completa al problema planteado. Este documento expone un método de evaluación comparativa de la eficiencia de las redes de arrastre de diversas configuraciones. El algoritmo para resolver este problema se construye de tal manera, que puede ser aplicado sin alteración para la evaluación de la eficiencia de las redes de arrastre de cualquier configuración, y afecta sólo la información de entrada.

El documento formula axiomas que describen la situación ideal del proceso de atrape de krill por la red; ello permite la formulación matemática rigurosa del problema y el desarrollo de un algoritmo para su solución. Se da una descripción detallada del algoritmo para la evaluación de la eficiencia de las redes de arrastre de krill, lo que incluye un módulo principal y el módulo RESOLV (es decir, la resolución de varios sistemas, compuestos de dos ecuaciones lineares y dos desigualdades dobles).

El algoritmo propuesto puede ser realizado por computación en los lenguajes algorítmicos ALGOL, FORTRAN o PL-1; para ello, se recomienda la utilización de un sistema de computación de operación rápida.

* * * * *

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УЛОВИСТОСТИ СЕТНЫХ ПОЛОТЕН ДЛЯ ЛОВА КРИЛЯ

З.И. Кизнер
(СССР)

Резюме

Предлагается подход к определению сравнительной уловистости орудий лова, используемых на промысле криля, методом статистического моделирования. За основу принят метод Монте-Карло, описанный в работах Metropolis, N, Ulam, S (1949), Соболя И. М. (1978). Использование метода Монте-Карло полезно при решении задач, связанных с количественными оценками сложных стохастических систем, в том числе и задачи уловистости сетевого полотна для лова криля. Однако сам по себе метод Монте-Карло не позволяет решить в целом поставленную задачу.

В настоящей работе излагается метод сравнительной оценки уловистости сетных полотен различных конфигураций. Алгоритм решения задачи составлен так, что он применим без каких-либо изменений для оценки уловистости сетевого полотна любой конфигурации и отражается лишь на входной информации.

В работе сформулированы аксиомы, описывающие идеализацию процесса захвата рачков сетью, что позволяет дать строгую математическую постановку задачи и разработать алгоритм ее решения.

Подробно описывается алгоритм решения задачи определения уловистости сетных полотен для лова криля, включая головной модуль и модуль RESOLV (решение нескольких систем из двух линейных уравнений и двух двойных неравенств).

Предложенный алгоритм может быть реализован с помощью ЭВМ на алгоритмических языках АЛГОЛ, ФОРТРАН или PL-1, при этом рекомендуется ориентироваться на быстродействующие ЭВМ.

* * * * *

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТОДОМ
СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УЛОВИСТОСТИ СЕТНЫХ ПОЛОТЕН
ДЛЯ ЛОВА КРИЛЯ

Z.I.Kizner,
All-Union Research Institute of Marine Fisheries
and Oceanography (VNIRO)
U.S.S.R., Moscow B-140, Verkhnyaya Krasnoselskaya, 17.

Введение

При создании тралов перед конструкторами встает ряд серьезных проблем: новый трал должен быть уловистым, как можно меньше весить и оказывать возможно меньшее сопротивление при движении в воде. Главная цель разработчика нового орудия лова состоит в том, чтобы из некоторого набора возможных конструкций выбрать оптимальную. Нетрудно понять, что такая задача в общем случае некорректна и потому, строго говоря, бессодержательна.⁺ На самом деле процедура выбора "оптимальной" конструкции может быть сведена к независимой оценке каждого из трех названных выше показателей и последующей обобщающей экспертной оценке.

Определить массу конкретной конструкции нетрудно; для оценки сопротивления тралов также разработаны специальные методы (1,5). Гораздо труднее определить уловистость того или иного вида сетного полотна или орудия лова. Обычно для этой цели создают опытные образцы и проверяют их в реальных условиях или в специальных бассейнах. Создание опытных образцов и их экспериментальная проверка обычно трудоемки и дороги.

В данной работе предлагается экономичный метод сравнительной оценки уловистости крилевых сетей (точнее, - сетного полотна, используемого при создании крилевых сетей) посредством серии экспериментов на ЭВМ.

⁺ В этой связи хочется привести высказывание Е.С.Вентцель (2) о многокритериальных задачах: "Решение, обращающее в максимум один какой-то показатель, как правило, не обращает ни в максимум, ни в минимум другие. Поэтому часто применяется формулировка: достигнуть максимального эффекта при минимальных затратах представляет собой не более, чем фразу и при научном анализе должна быть отброшена".

Метод машинной "игры", называемый также методом статистического моделирования (статистических испытаний), или методом Монте-Карло, был введен в математическую практику в 1949 г. С. Уламом и Дж.Нейманом, хотя первая публикация по этому вопросу принадлежит Метрополису и Уламу (6).

С теорией и возможностями этого метода знакомят, например, монографии С.М.Ермакова, Г.А.Михайлова (3) и И.М.Соболя (4).

Метод Монте-Карло особенно полезен в задачах, связанных с количественными оценками деятельности сложных стохастических систем (например, систем массового обслуживания). К этой категории задач относится и задача оценки уловистости сетного полотна для ловли криля.

Предлагаемая методика была разработана по инициативе сотрудника лаборатории механизации и автоматизации производственных процессов ВНИРО А.Е.Ниточкина, которому принадлежала сама идея использовать ЭВМ для указанной цели.

СУЩЕСТВО ЗАДАЧИ И ЕЕ ФОРМАЛИЗАЦИЯ

Общая характеристика задачи

Конфигурация сетного полотна определяется видом его ячеек. Задача же по существу состоит в том, чтобы посредством серии машинных экспериментов по заданной конфигурации крилевой сети определить ее уловистость как функцию размеров ячеек. Может случиться, что сеть состоит из однородных элементов, каждый из которых в свою очередь представляет собой набор неодинаковых ячеек (или их частей). В этой ситуации речь будет идти о размерах одного такого элемента, а не отдельной ячейки.

Понятно, что метод Монте-Карло не позволяет точно решить задачу. Здесь можно говорить только об оценке уловистости.

Ясно также и то, что при математической формулировке нашей задачи и выработке алгоритма ее решения нельзя обойтись без определенной идеализации процесса захвата криля сетью. Это, безусловно, должно привести к искажению окончательного результата, однако, вполне естественно полагать, что оно носит систематический характер, и, следовательно, полученная оценка уловистости будет тем выше, чем больше истинная уловистость сети.

Итак, излагаемый ниже метод позволяет дать сравнительную оценку уловистости сетных полотен различных конфигураций, и потому алгоритм решения задачи составлен так, что он применим без каких-либо изменений для оценки уловистости сетного полотна любой конфигурации (изменение вида сети⁺ отражается лишь на входной информации).

Дать строгую математическую постановку нашей задачи и разработать алгоритм ее решения можно только после того, как сформулированы гипотезы (аксиомы), описывающие идеализацию процесса захвата криля сеткой. Перечислим основные из них.

1. Кривизна трала считается малой по сравнению с размерами ячей и объектов лова (т.е. рачков), что позволяет рассматривать в каждом машинном эксперименте относительно небольшой плоский участок сетного полотна.

2. Продольный размер любого рачка предполагается существенно большим, чем его поперечный размер, а размеры ячей (по порядку величины) - сравнимы со средней длиной рачков. Это позволяет в численном эксперименте моделировать тело рачка отрезком прямой, который будем в дальнейшем называть иголкой.

3. Средняя плотность тела рачка близка к плотности

⁺ В дальнейшем слова "сеть", "сетка" и "сетное полотно" обозначают одно понятие.

морской воды, поэтому криль находится по существу во взвешенном состоянии. На этом основании тело рачка моделируется отрезком, который случайным образом расположен в пространстве и находится в покое до момента соприкосновения с сетью, движущейся на него поступательно. Ввиду относительности движения можно также говорить о падении иголки на наклонную сетку, при котором иголка движется поступательно (без вращения) в направлении, параллельном оси фактического движения сетки.

4. Предполагается, что каждая иголка-рачок либо проходит сквозь сетку, либо, будучи задержана ею, спускается ниже, в глубь орудия лова, освобождая таким образом экспериментальную часть сетки. Это означает, что в нашем эксперименте чистый участок сети последовательно встречается с одиночными иголками.

5. Сеть считается составленной из совершенно одинаковых элементов (каждый из которых представляет собой либо ячейку, либо набор разнородных ячеек или частей этих ячеек), называемых ниже бипериодом сети. Иначе говоря, сеть представляется как некая система отрезков нитей, периодическая в двух направлениях. Это позволяет "бросать иголку" так, чтобы ее центр проектировался всегда в один и тот же бипериод.

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ЭТАПЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Постановка задачи

Заданы размеры бипериода сетного полотна T_X и T_Z по продольной и поперечной осям x и z соответственно и все отрезки нити, составляющие бипериод (координатами начал и концов этих отрезков); задана также длина иголки D и угол α , составляемый плоскостью сетки с плоскостью, перпендикулярной оси движения ("горизонтальной плоскостью") (рис. 1).

Нужно произвести некоторое заранее не известное число N экспериментов по бросанию иголки на сетку, в каждом из которых иголка либо проходит сквозь сетку, либо задерживается ею, подсчитать число NS "удачных" экспериментов, при которых иголка задерживается сетью, и определить таким образом величину

$$U = \frac{NS}{N} \cdot 100 ,$$

представляющую собой оценку уловистости сетки в процентах. Число N должно быть таким, чтобы оценка U , определенная по результатам $N - 1$ экспериментов, отличалась от следующей, N -й оценки не более, чем на заданную величину ER .

Изменяя с заданным шагом периоды TX и TZ , повторить описанную выше серию экспериментов и определить таким путем зависимость уловистости от периодов сетки (в определенных интервалах их значений).

Последовательность действий в одном эксперименте

1. Бипериод сетки задается набором координат начал и концов составляющих его нитей (на плоскости сетки C в координатах x и z , см. рис. 1); задаются также x - и z - периоды TX и TZ (размеры бипериода по осям x и z соответственно).

2. Иголка представляется 4-мя случайными числами: ξ, η, ψ, φ , (см.рис. 1). Величины ξ, η и ψ равномерно распределены в интервалах $0 \leq \xi \leq TX, 0 \leq \eta \leq TZ \cdot \cos \alpha, 0 \leq \psi \leq \pi$. Возможные значения φ заключены в интервале $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$, причем на этот раз не сам угол φ , а величина $\sin \varphi$ равномерно распределена в интервале $0 \leq \sin \varphi \leq 1$. Перечисленные условия означают, что как всевозможные положения центра тяжести иголки, так и всевозможные ее направления в пространстве равновероятны.

3. Проектируем на плоскость Π иголку, затем - бипериод

сетки. Определяем числа N_1 и N_2 — размеры прямоугольного куска сетки (вычисленные в периодах TX и TZ как единицах измерения длины), достаточные для того, чтобы проекция иголки на плоскость Π поместилась на проекции такого куска сетки (состоящего из $N_1 \times N_2$ бипериодов).

4. Выясняем, пересекается ли проекция иголки с проекциями отрезков нити, составляющих выбранный кусок сети (решая серию систем двух линейных уравнений и двух двойных неравенств). Если пересечений нет, то заключаем, что иголка прошла сквозь сеть. Такой эксперимент считаем неудачным. В противном случае запоминаем все точки пересечения.

5. Находим тот конец иголки, который первым пересекается с плоскостью сетки и определяем ту точку пересечения проекций, которая соответствует фактической точке пересечения иголки с некоторой нитью сетки (см. рис. 2а), а если иголка падает плашмя и таких точек несколько, то ближнюю к найденному первому концу иголки.

6. Найденная точка пересечения иголки с нитью есть точка, вокруг которой иголка будет поворачиваться под воздействием надвигающейся сети. Если центр тяжести иголки совпал с этой точкой или оказался между ней и найденным первым концом иголки, то он уже прошел через плоскость сетки, и, следовательно, иголка не задержится нитью, а значит, и этот эксперимент неудачен. В противном случае иголка опрокидывается на плоскость сетки (см. рис. 2а).

7. Находим координаты опрокинувшейся на плоскость S иголки и отыскиваем точки пересечения собственно иголки с нитями сетки методом, описанным в п. 4. При этом предполагается, что при опрокидывании иголка ведет себя как твердое тело с закрепленной точкой, т.е. поворачивается вокруг точки, найденной в п. 6, оставаясь все время в одной и той же "вертикаль-

ной" плоскости (определяемой первоначальным положением иголки и ее проекцией на плоскость Π).

8. Если иголка пересекается с некоторой нитью в точке, расположенной между найденным в п. 5 первым своим концом и точкой, вокруг которой осуществляется поворот, то это значит, что произошло защемление (см. рис. 2б), и, следовательно, иголка захвачена сеткой. Если существует точка пересечения между центром иголки и ее вторым концом, то иголка обычным образом опирается по меньшей мере на две нити и также удерживается сеткой (см. рис. 2в). Только в этих двух случаях эксперимент считается удачным. Во всех прочих случаях иголка, опрокинувшись на плоскость, продолжает поворачиваться и в конце концов "проваливается" сквозь сетку; естественно, такой эксперимент относится к категории неудачных.

Входная информация

1. Константы. D - длина иголки (см),

α - угол между плоскостью сетки и горизонтальной плоскостью Π (в рад),

TX_0, TZ_0 и TX_1, TZ_1 - начальные и конечные периоды сетки по осям X и Z ,

NP - число отрезков нити в одном бипериоде,

NDX и NDZ - число изменений периода по осям X и Z ,

NM - максимально допустимое число экспериментов,

ER - погрешность вычислений уловистости (в %).

2. Массивы - координаты концов нитей, составляющих главный бипериод (в мм):

$X_1(i)$ и $Z_1(i)$ - X -координата и Z -координата начала i -го отрезка нити,

$X_2(i)$ и $Z_2(i)$ - X -координата и Z -координата конца i -го отрезка нити (здесь $i = 1, \dots, NP$).

Замечание о способах задания главного бипериода. Нужно

иметь в виду, что один и тот же вид сети может быть представлен как совокупность однотипных бипериодов по-разному.

Например, сеть, показанную на рис. 3, удобно задать в виде набора бипериодов одним из четырех способов (рис. 4). В данном случае $P = 4$. Если в качестве бипериода сетки, показанной на рис. 3, взять ее элемент, изображенный на рис. 4, а его размеры соответствуют показанным на рис. 5а (цифрами 1, 2, 3, 4 показан порядок пересчета отрезков нити), то массивы $X_1(i)$, $X_2(i)$, $Z_1(i)$, $Z_2(i)$ представляют собой координаты точек 0, А, В, С, Д, взятых в определенном порядке и повторенных нужное число раз (таблица, вариант 1). Пример массивов $X_1(i)$, $X_2(i)$, $Z_1(i)$, $Z_2(i)$, соответствующих случаю, показанному на рис. 5б, приведен в таблице (вариант 2).

Выходная информация

Результатами расчетов служат таблицы значений уловистости сетки U , ошибки E определения U и количества экспериментов N (потребовавшихся для определения данного значения U) в зависимости от размеров TX , TZ . На печать следует также выдать все входные величины и текущие значения TX и TZ .

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Головной модуль

1. Ввести и распечатать все входные константы и массивы (см. раздел "Входная информация").

$$2. \quad NX = (TX_1 - TX_0)/NDX, \quad NZ = (TZ_1 - TZ_0)/NDZ.$$

3. Начало цикла по LX от 1 до $NDX + 1$, шаг 1.

4. "Растяжение сетки в направлении оси x :"

$$TX = TX_0 + NX \cdot (LX - 1), \quad EX = TX/TX_0,$$
$$x_1(i) = x_1(i) \cdot EX, \quad x_2(i) = x_2(i) \cdot EX$$

для всех $i = 1, \dots, NP$.

5. Начало цикла по LZ от 1 до $NDZ + 1$, шаг 1.

6. "Растяжение" сетки по оси z :

$$TZ = TZ_0 + NZ \cdot (LZ - 1), \quad EZ = TZ/TZ_0,$$
$$z_1(i) = z_1(i) \cdot EZ, \quad z_2(i) = z_2(i) \cdot EZ \quad (\text{для всех } i = 1, \dots, NP).$$

7. $NF = 0$ (NF - счетчик числа неудачных экспериментов),
 $W_1 = 0$ (см. п. 29).

8. Начало цикла по j от 1 до NM , шаг 1 (повторение эксперимента по бросанию иголки).

9. Произвести четыре случайных числа ξ, η, ψ и $\beta = \sin \psi$, каждое из которых является реализацией равномерно распределенной случайной величины: ξ - в интервале от 0 до TX , η - от 0 до $TZ \cdot \cos \alpha$, ψ - от 0 до 2π , β - от 0 до 1.

Эти числа независимы, т.е. для их реализации нужно использовать четыре различных датчика псевдослучайных равномерно распределенных чисел.

10. Определение проекций концов иголки на плоскость Π , перпендикулярную оси движения:

$$\xi_1 = \xi - \frac{D}{2} \cdot \cos \psi \cdot \cos \psi, \quad \xi_2 = \xi + \frac{D}{2} \cdot \cos \psi \cdot \cos \psi,$$
$$\eta_1 = \eta - \frac{D}{2} \cdot \cos \psi \cdot \sin \psi, \quad \eta_2 = \eta + \frac{D}{2} \cdot \cos \psi \cdot \sin \psi,$$

где $\cos \psi = \sqrt{1 - \beta^2}$ (напомним, что $\sin \psi = \beta$ - см. п. 9).

11. Проверка на случай, когда иголка падает почти отвесно:

если $|\xi_2 - \xi_1| < 10^{-6}$ и $|\eta_2 - \eta_1| < 10^{-6}$, то перейти к п. 29, иначе - продолжить.

12. Проекция сетки на плоскость Π с координатами x, y :

$$TY = TZ \cdot \cos \alpha,$$

$$y_1(i) = z_1(i) \cdot \cos \alpha, \quad y_2(i) = z_2(i) \cdot \cos \alpha \quad (\text{для}$$

всех $i = 1, \dots, NP$).

13. С заготовленными величинами $NP, TX, TY, \xi_1, \xi_2,$

η_1, η_2 и массивами $x_1(i), x_2(i), y_1(i), y_2(i)$ (где $i = 1, \dots, NP$) войти в модуль *RESOLV*. На выходе из него имеем число K - количество точек пересечения проекции иголки с проекцией сетки на плоскость Π , также массивы $X(M)$ и $Y(M)$, (где $M = 1, \dots, K$) координат точек пересечения.

14. Если $K = 0$ (т.е. нет пересечений), то перейти к п. 29, иначе - продолжить.

15. Определение того конца иголки, который первым пересекается с плоскостью сетки (пункты 15 и 16):

если $\psi \geq \pi$, то перейти к п. 17, иначе - продолжить.

$$16. V = D \cdot b, \quad V_1 = (\eta_2 - \eta_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Если $V > V_1$, то первым оказался конец иголки с координатами ξ_1 и η_1 . В этом случае перейти к п. 17, иначе - к п. 18.

17. (Первым оказался конец иголки с индексом 1).

Положить $PRIS = 0$ и просмотреть значения переменной

$$R = \sqrt{(\xi_1 - X(M))^2 + (\eta_1 - Y(M))^2}$$

при всех $M = 1, \dots, K$; выбрать такое значение M (обозначаемое через MM), при котором R достигает минимума, положить:

$$XR = X(MM), \quad ZR = Y(MM)/\cos \alpha,$$

$$D_1 = \min_{1 \leq M \leq K} (R) = \sqrt{(\xi_1 - X(MM))^2 + (\eta_1 - Y(MM))^2}.$$

Полученные здесь величины XR и ZR - это координаты точки на плоскости C , вокруг которой будет поворачиваться иголка. Перейти к п. 19.

18. (Первым оказался конец иголки с индексом 2). Положить $PRIS = 1$ и просмотреть значения переменной

$$R = \sqrt{(\xi_2 - X(M))^2 + (\eta_2 - Y(M))^2}$$

при всех $M = 1, \dots, K$; выбрать такое значение $M = MM$, при котором R достигает минимума, положить:

$$XR = X(MM), \quad ZR = Y(MM)/\cos \alpha,$$

$$D_1 = \min_{1 \leq M \leq K} (R) = \sqrt{(\xi_1 - X(MM))^2 + (\eta_1 - Y(MM))^2}$$

(Смысл величин XR и ZR тот же, что и в п. 17).

19. Проверка положения "центра тяжести" иголки (если он прошел через плоскость сетки, то иголка пройдет сквозь сетку).

Если $D_1 \geq \frac{D}{2} \cdot \cos \varphi$, то перейти к п. 29 (как и в п. 10, здесь $\cos \varphi = \sqrt{1 - \sigma^2}$), иначе - продолжить.

20. Опрокидывание иголки на плоскость сетки (вращение вокруг точки соприкосновения (XR, ZR) , найденной в п.п. 17, 18, и определение координат концов иголки на плоскости C):

$$\xi_1 = \eta_1 / \cos \alpha, \quad \xi_2 = \eta_2 / \cos \alpha,$$

$$F = D / \sqrt{(\xi_2 - \xi_1)^2 + (\xi_2 - \xi_1)^2};$$

$$\xi_1 = ZR + (\xi_1 - ZR) \cdot F, \quad \xi_2 = ZR + (\xi_2 - ZR) \cdot F,$$

$$\eta_1 = XR + (\xi_1 - XR) \cdot F, \quad \eta_2 = XR + (\xi_2 - XR) \cdot F.$$

21. Сетка на плоскости С с координатами x, z :

$$TY = TZ, Y_1(i) = Z_1(i), Y_2(i) = Z_2(i) \text{ (для всех } i = 1, \dots, NP).$$

22. С заготовленными величинами $NP, TX, TY, \xi_1, \xi_2,$

η_1, η_2 и массивами $x_1(i), x_2(i), y_1(i), y_2(i)$ (где $i = 1, \dots, NP$) войти в модуль *RESOLV*. На выходе из него имеем число K - количество точек пересечения иголки с сеткой (на плоскости С) и массивы их координат (в осях x и z): $X(M), Y(M)$, где $M = 1, \dots, K$.

23. Начало цикла по M от 1 до K , шаг 1 (просмотр всех точек пересечения иголки с нитями сетки).

$$D_2 = \sqrt{(\xi_1 - X(M))^2 + (\eta_1 - Y(M))^2},$$

$$D_3 = \sqrt{(\xi_1 - XR)^2 + (\eta_1 - ZR)^2},$$

$$D_4 = \sqrt{(\xi_2 - X(M))^2 + (\eta_2 - Y(M))^2}.$$

25. Если $PRIS \neq 0$, то перейти к п. 27, иначе - продолжить.

26. Если $D_2 < D_3$ или $D_4 < D/2$ (т.е. имеет место защемление или обычная опора иголки), то перейти к п. 30, иначе - к п. 28.

27. Если $D_2 < D/2$ или $D_4 < D_3$ (смысл тот же, что в п. 26), то перейти к п. 30, иначе - продолжить.

28. Продолжение цикла по M (т.е. $M = M + 1$, перейти к п. 24) или конец его (если $M = K$).

29. Иголka не удерживается сеткой (т.е. данный экспери-

мент оказался неудачным).

$$\begin{aligned}NF &= NF + 1, \\W &= NF/j, \\PE &= 100 \cdot (W - W_1)/W, \quad W_1 = W.\end{aligned}$$

Если $PE \leq ER$, то перейти к п. 31, иначе - продолжить.

30. Продолжение цикла по j (т.е. продолжение серии экспериментов: $j = j + 1$, перейти к п. 9) или конец его (если $j = NM$).

31. Определение выходных величин для текущих размеров бипериода:

$$\begin{aligned}U(LX, LZ) &= (1 - W) \cdot 100 - \text{уловистость сети (в \%)}, \\E(LX, LZ) &= PE - \text{ошибка расчета величины } U(LX, \\LZ) &\text{ (в \%)}, \\N(LX, LZ) &= j - \text{число экспериментов серии}.\end{aligned}$$

32. Продолжение цикла по LZ (т.е. $LZ = LZ + 1$, перейти к п. 6) или конец его (если $LZ = NDZ + 1$).

33. Продолжение цикла по LX (т.е. $LX = LX + 1$, перейти к п. 4) или конец его (если $LX = NDX + 1$).

34. Печать таблицы значений $U(LX, LZ)$, $E(LX, LZ)$, $N(LX, LZ)$.

35. Конец.

Модуль RESOLV

Модуль RESOLV (решение нескольких систем из двух линейных уравнений и двух двойных неравенств). Входными величинами для данного модуля служат константы NP , TX , TY , ξ_1 , ξ_2 , η_1 , η_2 и массивы $x_1(i)$, $x_2(i)$, $y_1(i)$, $y_2(i)$, где $i = 1, \dots, NP$. Они заготавливаются в головном модуле.

Выходные величины модуля - константа K - число точек пересечения и массивы координат этих точек $X(M)$ и $Y(M)$, $M = 1, \dots, K$ (см. пп. 13 и 22 головного модуля).

1. $K = 0$, $X(M) = 0$, $Y(M) = 0$ при $M = 1, \dots, 100$ (предполагается, что количество точек пересечения иголки с нитями сетки или проекции иголки с проекциями нитей на плоскость Π не превышает 100).

2. Коэффициенты уравнения иголки $A_1x + B_1y = C_1$ в плоскости S или ее проекции в плоскости Π :

$$A_1 = \eta_1 - \eta_2 \quad B_1 = \xi_2 - \xi_1 \quad C_1 = \xi_1(\eta_1 - \eta_2) + \eta_1(\xi_2 - \xi_1).$$

3. Определение размеров N_1 и N_2 прямоугольного куска сетки или ее проекции (в периодах), достаточного для того, чтобы на нем поместилась иголка или ее проекция.

$$\xi_{11} = \min(\xi_1, \xi_2), \quad \xi_{22} = \max(\xi_1, \xi_2),$$

$$\eta_{11} = \min(\eta_1, \eta_2), \quad \eta_{22} = \max(\eta_1, \eta_2),$$

$$i_1 = \lfloor \xi_{11}/TX \rfloor, \quad i_2 = \lfloor \xi_{22}/TX \rfloor, \quad j_1 = \lfloor \eta_{11}/TY \rfloor, \quad j_2 = \lfloor \eta_{22}/TY \rfloor,$$

где скобки $\lfloor \quad \rfloor$ обозначают целую часть числа ^{x)}.

$$N_1 = i_2 - i_1 + 1, \quad N_2 = j_2 - j_1 + 1.$$

4. Начало цикла по MX от 1 до N_1 , шаг 1 (перебор всех периодов по оси x).

$$5. M_1 = MX + i_1 - 1$$

x) В некоторых алгоритмических языках имеется оператор взятия целой части от модуля числа с присвоением результату знака исходного числа. При пользовании этим оператором для определения истинной целой части отрицательного числа необходимо от результата отнимать единицу.

6. Начало цикла по MY от 1 до N_2 , шаг 1 (перебор всех периодов по оси y).

$$7. M_2 = MY + j_1 - 1.$$

8. Начало цикла по i_1 от 1 до NP (перебор всех отрезков нити в пределах одного бипериода).

$$9. P_1 = X_1(i) + TX \cdot M_1, \quad P_2 = X_2(i) + TX \cdot M_1,$$

$$Q_1 = Y_1(i) + TY \cdot M_2, \quad Q_2 = Y_2(i) + TY \cdot M_2.$$

10. Коэффициенты уравнения i -го отрезка нити $A_2x + B_2y = C_2$ в плоскости C или его проекции в плоскости Π :

$$A_2 = Q_1 - Q_2, \quad B_2 = P_2 - P_1, \quad C_2 = P_1 \cdot (Q_1 - Q_2) + Q_2 \cdot (P_2 - P_1).$$

$$11. DET = A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1.$$

Если $DET < 10^{-6}$, то перейти к п. 15, иначе - продолжить.

12. Корень системы - координаты точки пересечения прямых, на которых лежат иголка и отрезок нити или их проекции:

$$XC = (C_1 \cdot B_2 - C_2 \cdot B_1) / DET,$$

$$YC = (C_2 \cdot A_1 - C_1 \cdot A_2) / DET.$$

13. Проверка пересечения собственно иголки и отрезка нити или их проекций.

$$13.1. X_{11} = \min(X_1, X_2), \quad X_{22} = \max(X_1, X_2),$$

$$Y_{11} = \min(Y_1, Y_2), \quad Y_{22} = \max(Y_1, Y_2).$$

13.2. Если $\xi_{11} \neq \xi_{22}$, то перейти к п. 13.4, иначе - продолжить.

13.3. Если $\eta_{11} < YC < \eta_{22}$, то перейти к п. 13.5, иначе - к п. 15.

13.4. Если $\xi_{11} < XC < \xi_{22}$, то перейти к п. 13.5, иначе - к п. 15.

13.5. Если $X_{11} \neq X_{22}$, то перейти к п. 13.7, иначе - продолжить.

13.6. Если $Y_{11} < YC < Y_{22}$, то перейти к п. 14, иначе - к п. 15.

13.7. Если $X_{11} < XC < X_{22}$, то перейти к п. 14, иначе - к п. 15.

14. $K = K + 1$,
 $X(K) = XC$, $Y(K) = YC$.

15. Продолжение цикла по i (т.е. $i = i + 1$, перейти к п. 9) или конец его (если $i = NP$).

16. Продолжение цикла по MY (т.е. $MY = MY + 1$, перейти к п. 7) или конец его (если $MY = N_2$).

17. Продолжение цикла по MX (т.е. $MX = MX + 1$, перейти к п. 5) или конец его (если $MX = N_1$).

Заключение

Предложенный в руководстве алгоритм может быть реализован с помощью ЭВМ второго или третьего поколения на алгоритмических языках АЛГОЛ, ФОРТРАН или PL - 1. Следует только иметь в виду, что многократная имитация процесса захвата криля сетью, осуществляемая алгоритмом, требует больших затрат машинного времени, и потому имеет смысл ориентироваться на быстродействующие ЭВМ.

С указанным обстоятельством связано задание двух казалось бы заменяющих друг друга входных величин NM и ER

(см. раздел "Входная информация", п. 1). Это сделано для того, чтобы иметь возможность прекратить счет после проведения заданного (предельного) числа экспериментов, даже если требуемая точность определения уловистости U не достигнута, ведь чем выше точность расчета, тем большее число экспериментов необходимо. Зная свой ресурс машинного времени и расход времени на один эксперимент, исследователь без труда определит величину NM .

Список рекомендуемой литературы

Баранов, Ф.И. Теория и расчет орудий рыболовства. Москва, Пищепромиздат, 1948, с. 435.

Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. Москва, "Наука", 1980, с. 209.

Ермаков, С.М., Г.А.Михайлов. Курс статистического моделирования. Москва, "Наука", 1976, с. 320.

Соболь, И.М. Метод Монте-Карло. Москва, "Наука", 1978, с. 64.

Фридман, А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. Москва, "Пищевая промышленность", 1969, с. 568.

Metropolis, N., Ulam, S. The Monte Carlo method. J. Amer. Statist. Assoc., v. 44, No. 247, 1949, p. 335-341.

Таблица 1 Примеры массивов $X_1(i)$, $X_2(i)$, $Z_1(i)$ и $Z_2(i)$ для двух вариантов изображения сети с помощью бипериодов (Рис. 5 а, б)

Координаты	Вариант 1				Вариант 2			
	OA	AB	AC	AD	AB	BC	CD	DA
X_1	0	7	7	7	7	0	7	14
Z_1	0	15	15	15	0	15	20	15
X_2	7	0	14	14	0	7	14	7
Z_2	15	20	20	0	15	20	15	0

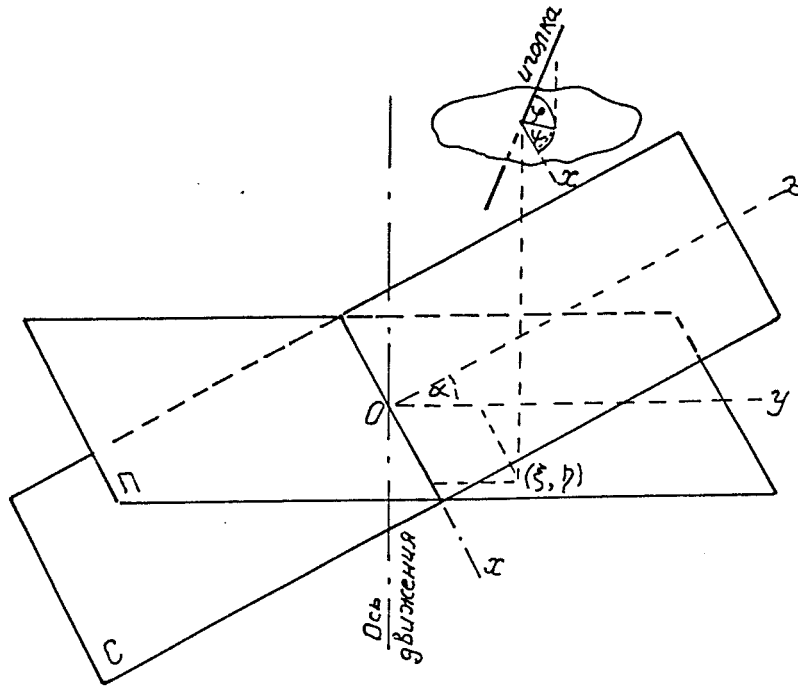


Рис.1 Основные обозначения

- С - плоскость сетки с координатами X и Z ,
- П - плоскость, перпендикулярная оси движения с координатами X и Y ,
- α - угол между плоскостями С и П, т.е. между осями Z и Y ,
- φ - угол между иглой и плоскостью П с координатными осями,
- ψ - угол между проекцией иглы на плоскость П и осью,
- ξ, η - координаты проекции центра иглы / центра тяжести рачка / на плоскости П, в осях X и Y .

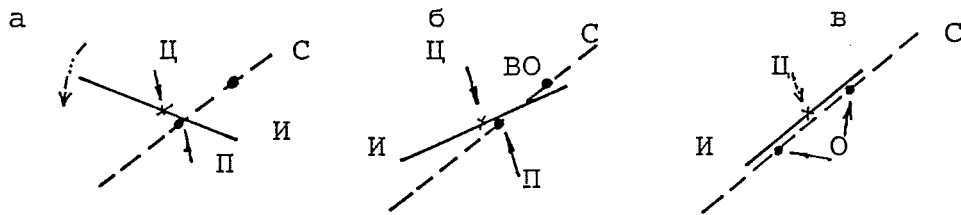


Рис.2 Варианты взаимодействия иглы и сетки

- а - поворот, б - защемление, в - простая опора,
- И - иглолка, С - плоскость сетки, Ц - центр иглолки, П - точка поворота, ВО - верхняя опора, О - опоры.

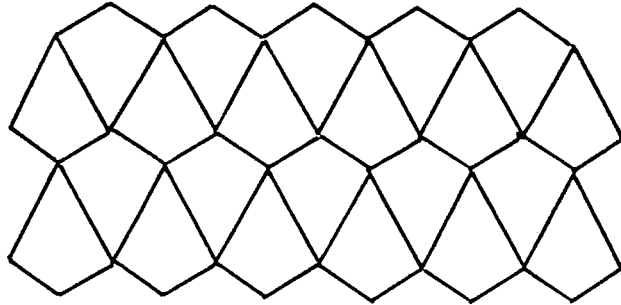


Рис.3 Схематическое изображение сетного полотна

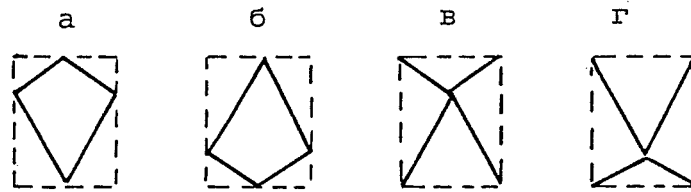


Рис.4 Бипериоды сетки / см. рис.3 /

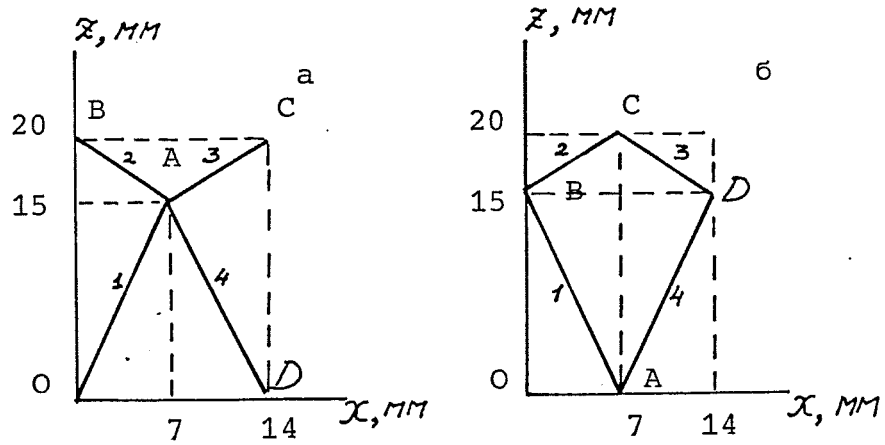


Рис.5 Размеры элементов бипериодов

List of Tables

Table 1 Examples of arrays $X_1(i)$, $X_2(i)$, $Z_1(i)$ and $Z_2(i)$ for two methods of representing a net using biperiods (Fig. 5 a,6).

List of Figures

Fig.1 Legend:

- C - net plane with coordinates x and z;
- Π - plane perpendicular to the axis of motion with coordinates x and y;
- α - angle between the planes C and Π , i.e. between the axes z and y;
- φ - angle between the needle and plane Π with reference axes;
- ψ - angle between the projection of the needle onto the plane Π and the axis;
- ξ, η - coordinates of the projection of the needle centre (centre of gravity of crustacean) onto plane Π with axes x and y.

Fig.2 Possible needle-net interactions:

- a - turn, б - jamming, B - simple support,
- N - needle, C - net plane, Ц - needle centre,
- П - turning point, BO - upper support, O - supports.

Fig. 3 Schematic representation of net

Fig. 4 Net biperiods (see Fig. 3)

Fig. 5 Size of biperiod elements

Liste des tableaux

Tableau 1 Exemples de tableaux $X_1(i)$, $X_2(i)$, $Z_1(i)$ et $Z_2(i)$ pour deux méthodes de représentation d'un filet utilisant des bipériodes (Fig. 5a, b).

Liste des Figures

- Fig. 1 Légende
- C - Plan de filet avec coordonnées x et z;
 - Π - Plan perpendiculaire à l'axe de mouvement avec coordonnées x et y;
 - α - Angle entre les plans C et Π , c'est-à-dire entre les axes z et y;
 - γ - Angle entre l'aiguille et le plan Π avec axes de référence;
 - φ - Angle entre la projection de l'aiguille sur le plan Π et l'axe;
 - ξ, η - Coordonnées de la projection du centre de l'aiguille (centre de gravité des crustacés) sur le plan Π avec axes x et y;
- Fig. 2 Possibilités d'interactions entre l'aiguille et le filet:
a - tour, σ - blocage, B - simple support,
 κ - aiguille, C - plan de filet, Π - centre de l'aiguille
 Π - pivot, BO - support supérieur, O - supports.
- Fig. 3 Représentation schématique du filet
- Fig. 4 Bipériodes du filet (voir Fig. 3)
- Fig. 5 Taille des éléments bipériodes

Lista de Tablas

Tabla 1 Ejemplos de ordenamientos $x_1(i)$, $x_2(i)$, $z_1(i)$ y $z_2(i)$ para dos métodos de representar una red usando biperiodos (Fig. 5 a, δ).

Lista de Figuras

Fig. 1 Leyenda

- C - plano de la red con coordenadas x y z;
- Π - plano perpendicular al eje de movimiento con coordenadas x e y;
- α - ángulo entre los planos C y Π , es decir entre los ejes z e y;
- γ - ángulo entre la aguja y el plano Π con ejes de referencia;
- θ - ángulo entre la proyección de la aguja sobre el plano Π y el eje;
- ξ, η - coordenadas de la proyección del centro de la aguja (centro de gravedad de crustáceo) sobre el plano Π con los ejes x e y.

Fig. 2 Posibles interacciones aguja-red:

- a - llave, δ - obturación, B - soporte simple,
- \mathcal{H} - aguja, C - plano de la red, Π - centro de la aguja,
- Π - punto de retorno, BO - soporte superior, O - soportes.

Fig. 3 Representación esquemática de la red

Fig. 4 Biperiodos de la red (véase Fig. 3)

Fig. 5 Tamaño de los elementos de biperiodo

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1 Примеры массивов $X_1(i)$, $X_2(i)$, $Z_1(i)$ и $Z_2(i)$ для двух вариантов изображения сети с помощью бипериодов (Рис. 5 а, б)

СПИСОК РИСУНКОВ

Рис. 1 Основные обозначения

- С - плоскость сетки с координатами x и z ,
- П - плоскость, перпендикулярная оси движения с координатами x и y ,
- α - угол между плоскостями С и П, т.е. между осями z и y ,
- φ - угол между иглой и плоскостью П с координатными осями,
- ψ - угол между проекцией иглы на плоскость П и осью,
- ξ, η - координаты проекции центра иглы (центра тяжести рачка) на плоскости П, в осях x и y .

Рис. 2 Варианты взаимодействия иглы и сетки:

- а - поворот, б - защемление, в - простая опора,
- И - игла, С - плоскость сетки, Ц - центр иглы,
- П - точка поворота, ВО - верхняя опора, О - опоры.

Рис. 3 Схематическое изображение сетного полотна

Рис. 4 Бипериоды сетки (см. Рис. 3)

Рис. 5 Размеры элементов бипериодов.