

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Недоступ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРУДИЙ РЫБОЛОВСТВА

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для
студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
35.03.09 Промышленное рыболовство

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»

2022

Рецензент

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Г. М. Долин

Недоступ, А. А.

Основы проектирования орудий рыболовства: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ для студ. бакалавриата по напр. подгот. 35.03.09 Промышленное рыболовство / А. А. Недоступ. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», - 61 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы проектирования орудий рыболовства» представлены учебно-методические материалы по их выполнению, включающие подробный план выполнения, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к лабораторным работам.

Табл. 10, список лит. - 6 наименований

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 29 июня 2022 г., протокол № 5

УДК 639.2.081.1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Недоступ А.А., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1 Математическая программа Mathcad	7
Лабораторная работа № 2 Расчёт горизонтального раскрытия устья трала	17
Лабораторная работа № 3 Расчёт нагрузок и определение формы пространственной сети.....	21
Лабораторная работа № 4 Расчёт суммарной силы сопротивления грунтропа..	28
Лабораторная работа № 5 Расчёт силовых и геометрических характеристик трала.....	34
Литература.....	52
Приложения.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано для направления подготовки 35.03.09 Промышленное рыболовство (для очной формы обучения) по дисциплине «Основы проектирования орудий рыболовства».

Целью изучения дисциплины является усвоение бакалаврами знаний о теории проектирования орудий промышленного рыболовства, приобретение умений и навыков решения прикладных вопросов для проектирования орудий рыболовства.

В результате изучения дисциплины студент должен:

• знать:

основы системной методологии проектирования орудий рыболовства; стадии и этапы проектирования, входящие в них проектные процедуры и операции: особенности орудий рыболовства как инженерных сооружений; принципы проектирования орудий рыболовства с использованием прототипов; методы обеспечения эффективности проектируемых орудий рыболовства; математические модели надежности работы орудий рыболовства и их использование в целях обоснования проектных характеристик; методы и алгоритмы обоснования проектных характеристик орудий рыболовства;

• уметь:

анализировать параметры, характеризующие орудия рыболовства, их влияние на характеристики всей рыбопромысловой системы, оценивать их значимость; выполнять все необходимые расчеты, связанные с проектированием орудий рыболовства на персональных компьютерах, а также использовать в этих целях существующие профессиональные компьютерные программы;

• владеть:

твердыми навыками в расчете проектных характеристик орудий рыболовства.

Дисциплина «Основы проектирования орудий рыболовства» относится к Блоку образовательной программы бакалавриата по направлению 35.03.09

Промышленное рыболовство модуля по выбору Техника и технология рыболовства. При изучении дисциплины «Основы проектирования орудий рыболовства» используются знания и навыки, полученные студентами при освоении дисциплин образовательных программ бакалавриата по направлению подготовки Промышленное рыболовство (теория вероятностей и математическая статистика, устройство и эксплуатация орудий рыболовства, механика орудий рыболовства).

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется через систему тестирования. Тестовые задания используются для оценки освоения всех тем дисциплины студентами очной формы обучения. Тесты сформированы на основе материалов лекций и вопросов, рассмотренных на лабораторных работах (в течение 10-15 мин, в зависимости от уровня сложности материала) после рассмотрения на лекциях соответствующих тем.

Положительная оценка («отлично», «хорошо» или «удовлетворительно») выставляется программой автоматически, в зависимости от количества правильных ответов.

Градация оценок:

- «отлично» - свыше 85 %
- «хорошо» - более 75 %, но не выше 85 %
- «удовлетворительно» - свыше 65 %, но не более 75 %.

Математические пакеты (в особенности Mathcad - самый популярный пакет из вышеуказанного списка) позволяют специалистам в конкретной научно-технической области очень быстро освоить работу на компьютере и реализовывать на них математические модели.

Выделим основные сферы использования математической программы Mathcad:

- решение алгебраических уравнений и систем;
- решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем;
- решение дифференциальных уравнений в частных производных;
- статистическая обработка данных;

- работа с векторами и матрицами;
- работа с графическим редактором;
- определение функциональных зависимостей;
- использование справочных данных по основным математическим и физико-химическим формулам;
- решая поставленную задачу, пользователь может вводить не только числовые значения переменных, но и дополнять их размерностями;
- использование редактора программирования.

Приведённый перечень задач, решаемых на основе пакета Mathcad, на этом не ограничивается. Кроме того, пакет Mathcad - это полноценное Windows - приложение.

Уравнения Mathcad и диаграммы(графики) являются “переменными”. При изменении любых данных, переменных или уравнений Mathcad повторно проводит вычисления.

Настоящие методические указания направлены на обучение студентов всем приемам работы в Mathcad для решения задач проектирования орудий рыболовства, что позволяет освоить основные вычислительные возможности этой системы.

Методическими указаниями предусматривается выполнение пяти лабораторных работ: «Математическая программа Mathcad», «Расчёт горизонтального раскрытия устья трала», «Расчёт нагрузок и определение формы пространственной сети», «Расчёт суммарной силы сопротивления грунтропа» и «Расчёт силовых и геометрических характеристик трала», имеющих общую структуру: номер и название работы, цель работы, пример, задания и контрольные вопросы для самопроверки.

Каждая лабораторная работа должна выполняться в строго определённом файле (фамилия, имя, отчество студента), в определённой директории (группа) и в папке - (USER) - Личное.

Лабораторная работа № 1

Математическая программа Mathcad

Цель работы: ознакомиться с программным пакетом Mathcad, освоить работу на компьютере в среде Mathcad.

Панели математических операторов Mathcad

Совокупность средств графической оболочки Mathcad называется интерфейсом пользователя. Интерфейс системы разработан так, что пользователь, имеющий элементарные навыки работы с Windows-приложениями, может сразу приступать к работе с Mathcad.

После запуска системы открывается пустой Mathcad-документ – это «лист бумаги», на котором пользователь с помощью клавиатуры и мыши может писать математические выражения в виде, принятом научным миром, т. е. экранная поверхность раздела Mathcad – это пустая анкета, в которую вводятся уравнения, диаграммы (графики) или функции и аннотируются с текстом — где-нибудь на странице.

Рассмотрим структуру окна Mathcad. Первая, самая верхняя строка, или заголовок окна, отражает имя рабочего документа (Без имени – 1). Имя документа необходимо изменить (пример - задание 1). Вторая строка системы открывает доступ к математическим, графическим и символьным операциям Mathcad.

Ниже главного меню находится **наборная панель математических операторов** (рис 1.1) [6].

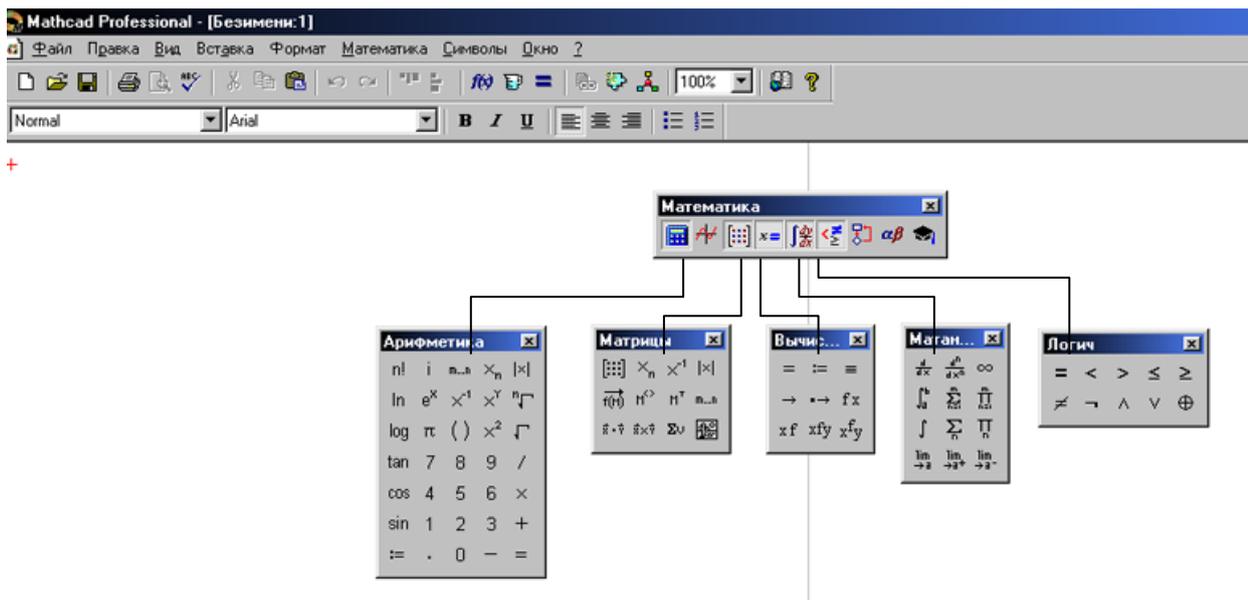


Рис. 1.1. Панель математических операторов Mathcad

Ниже панели математических операторов располагается

Панель Инструментов

Она содержит несколько групп кнопок управления с пиктограммами, каждая из которых дублирует одну из основных операций главного меню.

Ниже приведены их функции [1]:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20



1. Новое окно документа.
2. Открыть документ.
3. Сохранить документ.
4. Печать документа.
5. Просмотреть документ.
6. Проверить орфографию.
7. Вырезать в буфер.
8. Копировать в буфер.

9. Вставить из буфера.
10. Отменить последнюю операцию.
11. Расположить блоки горизонтально.
12. Расположить блоки вертикально (один под другим).
13. Вставить функцию.
14. Вставить размерность.
15. Вычислить.
16. Вставить гипертекстовую ссылку.
17. Вставить компонент.
18. Запуск Math Connex.
19. Ресурс центр.
20. Помощь.

Решение алгебраических систем

Работа с калькулятором  .

Калькулятор выполняет ряд простейших математических операций.

Рассмотрим следующий пример:

А) Задаём значения

$$C := 5.5 \quad D := 4.2 \quad F := 8$$

Б) Производим арифметические действия

$$S := C + \frac{D}{F}$$

В) Получаем ответ

$$S = 6.025$$

Работа с матрицами  .

Для того чтобы задать переменную A в матричном виде, необходимо выполнить следующие действия (рис. 1.2).

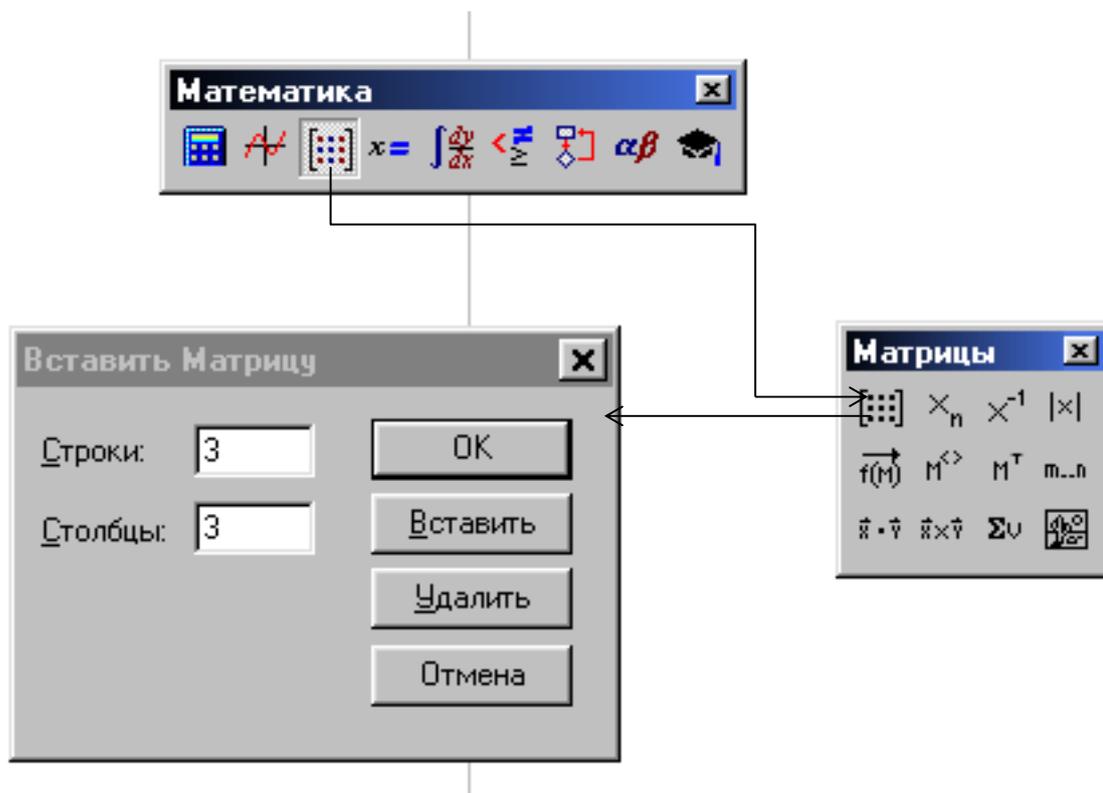


Рис. 1.2. Создание матрицы A

Пример:

$$A := \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

Если необходимо изменить размеры матрицы, то заданное в полях число столбцов и/или строк вставляется (удаляется) правее и ниже отмеченного курсором элемента уже созданной матрицы.

Транспонирование матрицы M^T .

Необходимость транспонирования матрицы обычно связана с экономией рабочего листа, удобством просмотра и др.

Рассмотрим следующий пример. Задаём ряд значений некоторого коэффициента B :

$$B := \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Используя оператор \mathbb{M}^T , располагаем матрицу В на рабочем листе в виде

Переменные с индексом .

В языках программирования векторам и матрицам соответствуют

$$B^T = (1 \ 4 \ 3)$$

массивы, хранящие переменные с индексом. Индекс к имени переменной добавляется либо нажатием на кнопку на панели математических элементов (рис. 1.2), либо на клавишу « [« (открывающаяся квадратная скобка).

А) Ввод индекса .

$$R := \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V := \begin{pmatrix} 7 \\ 6 \\ 9 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} i := 0..last(R) \\ i := 0..last(V) \end{array}$$

$$N_i := R_i \cdot V_i \quad N^T = (7 \ 24 \ 27)$$

$$N_0 = 7 \quad N_1 = 24 \quad N_2 = 27$$

В) Ввод вектора .

$$R := \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix} \quad V := \begin{pmatrix} 7 \\ 6 \\ 9 \end{pmatrix}$$

$$N := \overrightarrow{(R \cdot V)} \quad N^T = (7 \ 24 \ 27)$$

Размерность.

Решение любой задачи в любой программной среде, как правило, начинается с ввода исходных данных. Решая физическую задачу, необходимо задавать размерности этих величин. Для присвоения величине размерности за ней ставится знак умножения и вводится название соответствующей размерности. Можно поступить и по-другому - нажать на панели инструментов кнопку с изображением мерной кружки. После этого на дисплее появится окно со списками физических величин (длина, время, скорость и т. д.), с

соответствующими им размерностями (метр, секунда, метр в секунду и т. д.), одну из которых можно вставить в Mathcad - документ (рис. 1.3).

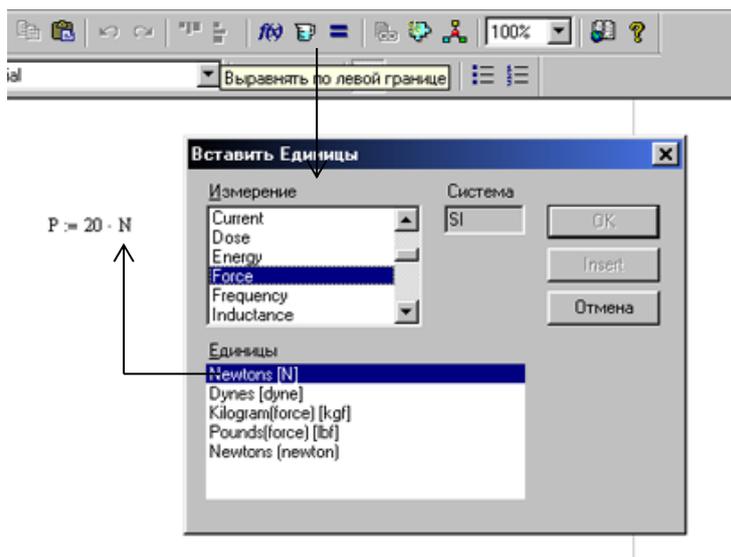


Рис. 1.3. Вставка размерности в среде Mathcad

Построение графиков

Рассмотрим наиболее часто используемый пункт данного подменю - построение графиков. Для построения графиков в Mathcad используются шаблоны (рис. 1.4).

Список шаблонов следующий:

- **X-Y Plot (Декартов график)** - создает шаблон двумерного графика. Содержит метки - заполнители для x и y как конечных точек осей.
- **Polar Plot (Полярный График)** - создает шаблон графика в полярной системе координат.
- **Surface Plot (График Поверхности)** - создает шаблон для построения трехмерного графика.
- **Contour Plot (Карта изолиний)** - создает шаблон для контурного графика трехмерной поверхности.
- **3D Scatter Plot (Точечный график)** - создает шаблон графика в виде точек в трехмерном пространстве.

- **3D Bar Chart (Трехмерная Гистограмма)** - создает объемную гистограмму в виде столбиков в трехмерном пространстве.

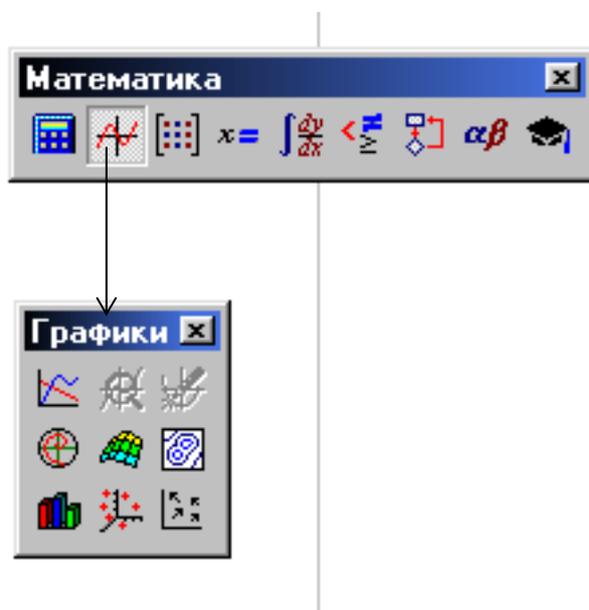


Рис. 1.4. Шаблоны графиков в среде Mathcad

- **Vector Field Plot (Векторное поле)** - создает график векторного поля матрицы на плоскости. Компоненты вектора связаны со значениями x и y .

Графики в системе Mathcad могут иметь различные размеры и расположение. Для наиболее распространенных типов графиков – двумерных - в декартовой и полярной системах координат предусмотрен упрощенный и очень удобный способ построения. Для этого следует вызвать шаблон графика, под осью аргументов ввести имя независимой переменной, а около вертикальной оси описать тип функции. Графики нескольких функций строятся аналогично, просто опишите их у вертикальной оси через запятую. Графики будут построены линиями разного цвета. В дальнейшем тип линии, пределы изменения аргумента и функции и т.д. можно изменять форматированием. Вызов меню форматирования осуществляется двойным щелчком мыши на графике.

Функции.

В среде Mathcad лучше использовать «мастер функций» для ввода необходимой функции (рис. 1.5).

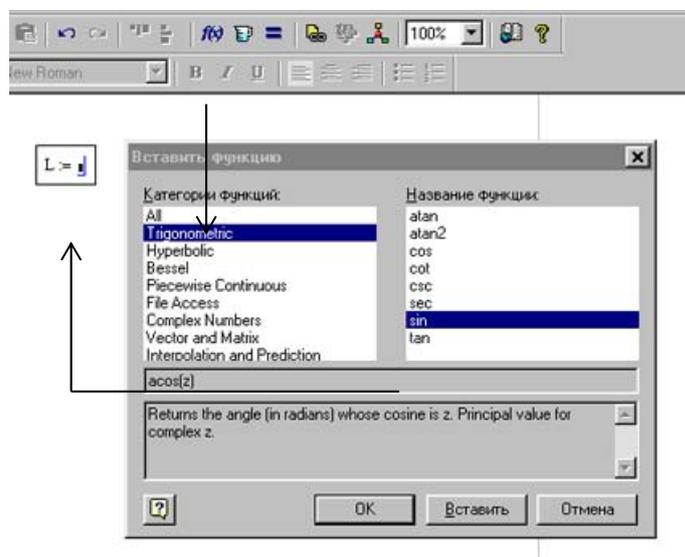


Рис. 1.5. Мастер функций в среде Mathcad

Можно также напечатать название любой встроенной функции непосредственно с помощью клавиатуры.

Обозначение.

В среде Mathcad ввод буквенного обозначения переменной осуществляется следующим образом:

- определяется переменная и после неё вводится точка;
- вводится буквенное обозначение переменной.

Пример:

$F_{\text{НИТОК}}$ $F_{\text{КАНАТОВ}}$ $S_{\text{Подборы}}$ $L_{\text{Досок}}$

Символические операторы .

Исполняя символические действия, нажимая на выражение и выбирая команды в меню «символические операторы», осуществляются: упрощения,

расширения, разложения на множители, интегрирование, решение уравнения, разложение в ряд и т. д.

Вычисление суммы и интегралов

Операторы суммы и интегрирования находятся в инструментальной панели матриц и матанализа.

Пример1:

$$F_{\text{верхняя}} := (0.2 \quad 0.1 \quad 0.05 \quad 0.02 \quad 0.01)^T \cdot \text{m}^2$$

$$\sum F_{\text{верхняя}} = 0.38\text{m}^2$$

Пример2:

$$\int_0^2 (x^2 - x^3 + x - 23) dx = -45.333 \blacksquare$$

Численное решение уравнений.

В системе Mathcad заложено несколько способов решения системы уравнений.

Пример 1- с помощью оператора « root »:

Предполагаем:

$$t := 1$$

Mathcad находит самый близкий корень

$$\text{root}(t^2 - \cosh(t), t) = 1.621 \blacksquare$$

Пример 2 - с помощью операторов « Given » и « find »:

$$G := 20 \cdot N \quad a := 1 \cdot m \quad b := 1 \cdot m \quad \alpha := 30 \cdot \text{deg}$$

$$P := G \quad X := G \quad Y := G$$

Given

$$P \cdot \sin(\alpha) = X$$

$$Y + G = P \cdot \cos(\alpha)$$

$$P \cdot a = G \cdot (a + b) \cdot \cos(\alpha)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ P \end{pmatrix} := \text{find}(X, Y, P)$$

$$X = 17.321N \quad Y = 10N \quad P = 34.641N$$

Ввод текста.

Чтобы создать текстовую область в среде Mathcad, необходимо нажать в пустой области экрана, чтобы позиционировать красный перекрестный курсор, и напечатать кавычку дублера ["]. Только тогда можно начинать печатать, после этого Mathcad обращается от математической области к текстовой.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите структуру окна системы Mathcad.
2. Каково назначение панелей инструментов Mathcad?
3. Опишите основные пункты Главного меню Mathcad.
4. Как вставить размерность плотности материала в среде Mathcad?
5. Какие шаблоны построения графиков используются в Mathcad?

Лабораторная работа № 2

Расчёт горизонтального раскрытия устья трала

Цель работы: освоение операций с матрицами и поиск корней уравнений в среде Mathcad.

Объяснение задачи. При проектировании орудий рыболовства встречаются задачи, в которых искомая проектная характеристика находится решением системы уравнений, одно из которых задано табличными данными. Примером таких задач является определение горизонтального раскрытия устья трала по заданному расстоянию между траловыми досками.

Задание. Варианты заданий приведены в табл.2.1.

Пример. Определить горизонтальное раскрытие устья трала, если известны расстояние между траловыми досками, длина голых концов, длина кабелей, рис. 2.1.

Дано:

$L_{\text{д}} := 160 \cdot \text{m}$ - расстояние между траловыми досками;

$L_{\text{к}} := 50 \cdot \text{m}$ - длина кабеля;

$L_{\text{т.к.}} := 50 \cdot \text{m}$ - длина голых концов;

$S_{\text{в.п.}} := 120 \cdot \text{m}$ - длина верхней подборы.

Решение

1. Введем возможные табличные значения α и $L_{\text{н}}/S_{\text{в.п.}} = L/S = A$,

где α - угол, образованный касательной к нити в рассматриваемой точке и горизонталью;

$L_{\text{н}}$ - горизонтальное раскрытие устья трала (см. табл. П. 4) .

$\alpha := (0 \ 31 \ 42 \ 50 \ 56 \ 61 \ 65 \ 69 \ 72 \ 74 \ 77 \ 79 \ 81 \ 83 \ 84 \ 86 \ 87 \ 88 \ 89)^{\text{T}} \cdot \text{deg}$

$A := (1 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.75 \ 0.7 \ 0.65 \ 0.6 \ 0.55 \ 0.5 \ 0.45 \ 0.4 \ 0.35 \ 0.3 \ 0.25 \ 0.2 \ 0.15 \ 0.1)^{\text{T}}$

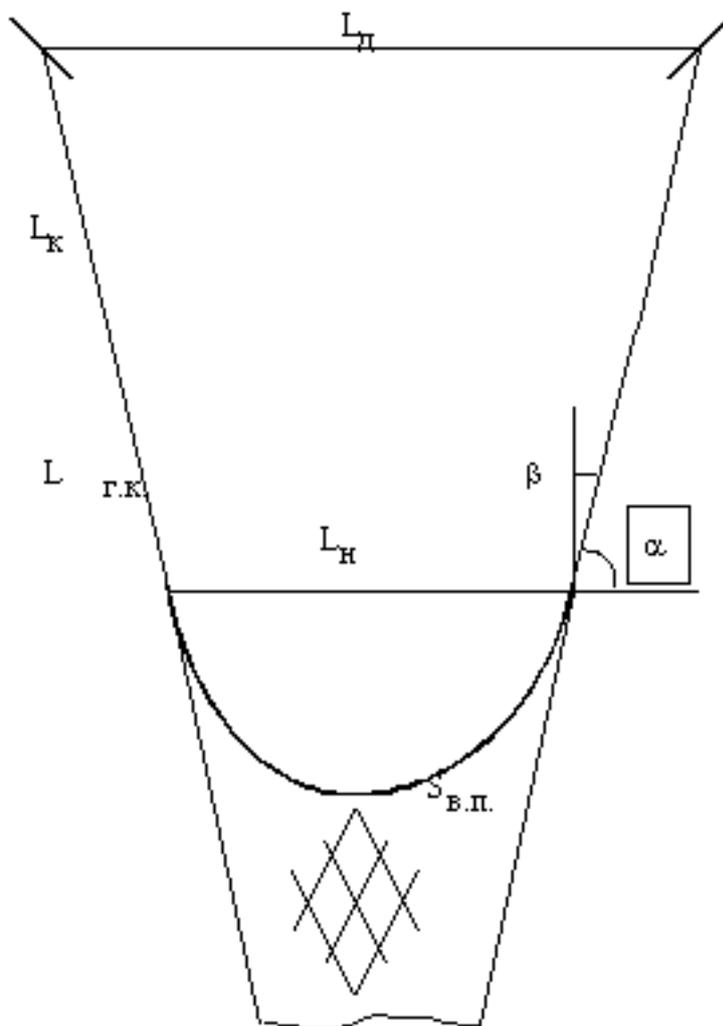


Рис. 2.1. Схема соединения: таловые доски, голые концы, кабели, верхняя подбора и таловая оболочка

2. Определим возможные значения угла между вертикалью и касательной в верхней точке верхней подбора (рис. 2.1):

$$\beta := \frac{\pi}{2} - \alpha$$

$\beta^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	deg	
	0	90	59	48	40	34	29	25	21	18	16	13	11	9	7	6	4	3	2	1	

3. Определим возможные значения горизонтального раскрытия устья трала L_H :

$$L_H := S_{в.п.} \cdot A$$

$$L_H^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	120	114	108	102	96	90	84	78	72	66	60	54	48	42	36

m

4. Найдём возможные значения расстояния между траловыми досками $L_{д1}$ для возможных значений горизонтального раскрытия устья трала L_H :

$$L_{д1} := 2 \cdot \sin(\beta) \cdot (L_K + L_{т.к.}) + L_H$$

$$L_{д1}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	320	285.433	256.629	230.558	207.839	186.962	168.524	149.674

m

5. Построим график $L_H = f(L_{Д1})$ и $L_D = 160$ м, рис.2.2:

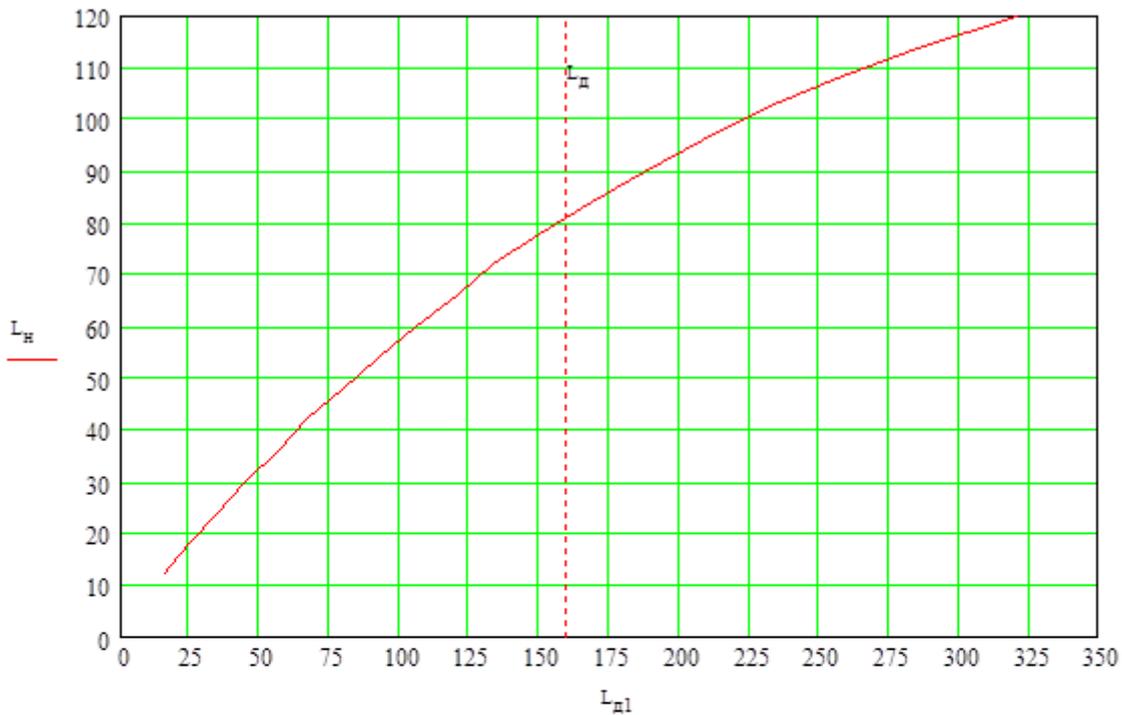


Рис. 2.2. График зависимости $L_H = f(L_{Д1})$

Снимаем с графика приближённое значение горизонтального раскрытия устья трала - точка пересечения кривой $L_H = f(L_{Д1})$ и $L_D = 160$ м.

Приближённое значение горизонтального раскрытия устья трала $L_H = 81,0$ м.

6. Определим точное значение горизонтального раскрытия устья трала L_H интерполированием:

$x := 1$ $ii := 0..last(L_{Д1})$ $xx_{ii} := ii$

$L_H := linterp(xx, L_H, root(linterp(xx, L_{Д1}, x) - L_D \cdot m, x))$

$L_H = 81.3$ м

Ответ: горизонтальное раскрытие устья трала равно 81,3 м.

Таблица 2.1

№ п/п	Длина верхней подборы трала $S_{ВП}$, м	Длина кабеля L_K , м	Длина голого конца $L_{ГК}$, м	Расстояние между траловыми досками L_D , м
1	100	55	40	120
2	65	30	25	80
3	34	25	20	50
4	78	40	30	100
5	125	60	50	150
6	150	62	50	200

7	80	40	30	110
8	60	40	30	70
9	45	30	20	65
10	58	35	20	85
11	51	32	20	90
12	98	50	50	120
13	110	50	50	170
14	48	30	30	96
15	59	35	30	87
16	87	40	35	118
17	102	55	40	143
18	134	60	50	184
19	108	50	45	140
20	125	52	48	170

Вопросы для самопроверки

1. Объясните назначение оператора «матрица» в среде Mathcad.
2. Опишите входные данные, используемые для расчёта горизонтального раскрытия устья трала.
3. Опишите построение графика $L_H = f(L_{д1})$ в системе Mathcad.
4. Объясните назначение функции root в среде Mathcad?

Лабораторная работа 3

Расчёт нагрузок и определение формы пространственной сети

Цель работы: освоение метода численного интегрирования в среде Mathcad.

Объяснение задачи. При проектировании орудий рыболовства встречаются задачи, в которых искомые проектные характеристики находятся решением дифференциальных уравнений равновесия гибкой нити. Примером таких задач являются определение нагрузок и определение формы пространственной сети по заданным конструктивным и силовым характеристикам сети.

Задание. Варианты заданий приведены в табл. 3.1.

Пример. Рассчитать нагрузки и определить форму ставной донной сети, если известно, (рис. 3.1):

Дано:

Высота сети	$S := 15 \cdot \text{m}$
Диаметр нитки сети	$d := 0.95 \cdot \text{mm}$
Шаг ячеи сети	$a := 46 \cdot \text{mm}$
Посадочный коэффициент по длине сети	$U_x := 0.5$
Посадочный коэффициент по высоте сети	$U_y := 0.87$
Вес 1 м^2 в воде сети	$q := 0.05 \cdot \text{N}$
Скорость течения	$V := 0.1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$
Сила плавучести оснастки верхней подборы сети на 1 м её длины	$Q := 4.1 \cdot \text{N}$
	$T_0 := Q$
Шаг интегрирования	$h := 0.31$
Температура воды	$T_p := 10^\circ$
Солёность воды	$S_0 := 10$

Решение

1. Вычисляем значение относительной площади сети :

$$Fo := \frac{d}{a} \cdot \frac{1}{U_x \cdot U_y} \quad Fo = 0.047$$

2. Определяем по табл. П. 1- П. 2 значения плотности воды и кинематического коэффициента вязкости :

$$\rho := 1026 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$\nu := 1.34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

3. Определим число Re для сети:

$$Re := \frac{d \cdot V}{\nu} \quad Re = 70.896$$

4. Определим значения гидродинамических коэффициентов:

$$c_1 := 3 \cdot \left(2 \cdot \frac{Fo}{Re} \right)^{0.07} \quad c_1 = 1.888$$

$$c_2 := 0.1 \cdot Re^{0.14} \quad c_2 = 0.182$$

5. Вычисляем гидродинамические силы k_1 и k_2 , приходящиеся на 1 м^2 сети:

$$F_T := 1 \cdot \text{м}^2$$

$$k_1 := c_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_T \cdot Fo \quad k_1 = 0.46\text{N}$$

$$k_2 := c_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_T \cdot Fo \quad k_2 = 0.044\text{N}$$

6. Определяем значения безразмерных сил:

$$\psi := \frac{k_2}{k_1} \quad \psi = 0.096$$

$$\zeta := \frac{q}{k_1} \quad \zeta = 0.109$$

7. Вводим начальные условия для интегрирования системы дифференциальных уравнений равновесия гибкой нити (полоски сети) [7]:

$$\tau_0 := 1.0$$

$$\alpha_0 := 90 \cdot \text{deg}$$

$$\xi_0 := 0.0$$

$$\eta_0 := 0.0$$

$$\sigma_0 := 0.0$$

8. Выполним вычисления для нулевого шага:

$$v := \cos(\alpha_0)$$

$$b := \sin(\alpha_0)$$

$$f(\alpha_0, \tau_0) := \frac{1}{\tau_0} \cdot \left[-\zeta \cdot v - \left[\psi + (1 - \psi) \cdot b + U_x^2 \cdot \sqrt{(b^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot v^2 \right] \cdot b \right]$$

$$f(\alpha_0, \tau_0) = -1$$

$$g(\alpha_0) := -\zeta \cdot b + \left[\psi + (1 - \psi) \cdot b + U_x^2 \cdot \sqrt{(b^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot b^2 \right] \cdot v$$

$$g(\alpha_0) = -0.109$$

$$j(\alpha_0) := \cos(\alpha_0)$$

$$j(\alpha_0) = 0$$

$$t(\alpha_0) := \sin(\alpha_0)$$

$$t(\alpha_0) = 1$$

9. Выполним вычисления для первого шага

$$\sigma_1 := \sigma_0 + h$$

$$\sigma_1 = 0.31$$

Длина участка полосы сети:

$$S_1 := \left(\sigma_1 \cdot \frac{T_0}{k_1} \right) \cdot m$$

$$S_1 = 2.764m$$

$$\alpha_{01} := \alpha_0 + h \cdot f(\alpha_0, \tau_0)$$

$$\alpha_{01} = 1.261$$

$$\tau_{01} := \tau_0 + h \cdot g(\alpha_0)$$

$$\tau_{01} = 0.966$$

$$s := \cos(\alpha_{01})$$

$$l := \sin(\alpha_{01})$$

$$f(\alpha_{01}, \tau_{01}) := \frac{1}{\tau_{01}} \cdot \left[-\zeta \cdot s - \left[\psi + (1 - \psi) \cdot l + U_x^2 \cdot \sqrt{(l^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot s^2 \right] \cdot l \right]$$

$$f(\alpha_{01}, \tau_{01}) = -1$$

$$g(\alpha_{01}) := -\zeta \cdot l + \left[\psi + (1 - \psi) \cdot l + U_x^2 \cdot \sqrt{(l^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot l^2 \right] \cdot s$$

$$g(\alpha_{01}) = 0.257$$

$$j(\alpha_{01}) := \cos(\alpha_{01})$$

$$j(\alpha_{01}) = 0.305$$

$$t(\alpha_{01}) := \sin(\alpha_{01})$$

$$t(\alpha_{01}) = 0.952$$

$$\alpha_1 := \alpha_0 + h \cdot \left(\frac{f(\alpha_0, \tau_0) + f(\alpha_{01}, \tau_{01})}{2} \right)$$

$$\alpha_1 = 72.535 \text{deg}$$

$$\tau_1 := \tau_0 + h \cdot \left(\frac{g(\alpha_0) + g(\alpha_{01})}{2} \right)$$

$$\tau_1 = 1.08$$

$$\xi_1 := \xi_0 + h \cdot \left(\frac{j(\alpha_0) + j(\alpha_{01})}{2} \right)$$

$$\xi_1 = 0.047$$

$$\eta_1 := \eta_0 + h \cdot \left(\frac{t(\alpha_0) + t(\alpha_{01})}{2} \right)$$

$$\eta_1 = 0.303$$

Тогда, с учётом безразмерных характеристик:

$$T_1 := \tau_1 \cdot T_0$$

$$T_1 = 4.427N$$

$$x_1 := \xi_1 \cdot \frac{T_0}{k_1} \cdot m \quad x_1 = 0.422m$$

$$y_1 := \eta_1 \cdot \frac{T_0}{k_1} \cdot m \quad y_1 = 2.698m$$

$$S_1 = 2.764m$$

10. Аналогичным образом выполняем расчёты на последующих n шагах численного интегрирования дифференциальных уравнений, [7]. Для этого составляем матрицы силовых и геометрических характеристик донной сети, последовательно подставляя полученные данные в пункт 3, до достижения высоты сетной полоски, равной S .

$$S := \begin{pmatrix} 0 \\ 2.764 \\ 5.528 \\ 8.292 \\ 11.056 \\ 13.82 \\ 15.05 \end{pmatrix} \cdot m \quad \alpha := \begin{pmatrix} 90 \\ 72.535 \\ 59.324 \\ 49.611 \\ 42.239 \\ 36.473 \\ 32.913 \end{pmatrix} \cdot \text{deg} \quad T := \begin{pmatrix} 4.1 \\ 4.427 \\ 5.025 \\ 5.692 \\ 6.355 \\ 6.993 \\ 7.441 \end{pmatrix} \cdot N \quad x := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.422 \\ 1.594 \\ 3.246 \\ 5.198 \\ 7.355 \\ 9.003 \end{pmatrix} \cdot m$$

$$\xi := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.047 \\ 0.179 \\ 0.364 \\ 0.583 \\ 0.825 \\ 1.01 \end{pmatrix} \quad \eta := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.303 \\ 0.58 \\ 0.826 \\ 1.044 \\ 1.237 \\ 1.363 \end{pmatrix} \quad \tau := \begin{pmatrix} 1.0 \\ 1.08 \\ 1.226 \\ 1.388 \\ 1.55 \\ 1.706 \\ 1.815 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.31 \\ 0.62 \\ 0.93 \\ 1.24 \\ 1.55 \\ 1.688 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 0 \\ 2.698 \\ 5.174 \\ 7.368 \\ 9.308 \\ 11.029 \\ 12.157 \end{pmatrix} \cdot m$$

11. Для того, чтобы изобразить на графике форму ставной донной сети необходимо выполнить ряд преобразований:

$$y1 := \overrightarrow{(y_6 - y)} \quad y1^T = (12.157 \quad 9.459 \quad 6.983 \quad 4.789 \quad 2.849 \quad 1.128 \quad 0) m$$

$$x1 := \overrightarrow{(x_6 - x)} \quad x1^T = (9.003 \quad 8.581 \quad 7.409 \quad 5.757 \quad 3.805 \quad 1.648 \quad 0) m$$

Высота сети (расчётная): $S_6 = 15.05m$

Высота сети (заданная): $S_c := 15 \cdot m$

Относительная ошибка расчётных данных в точке крепления сети ко дну

$$\delta := \left(\frac{S_6 - S_c}{S_c} \right) \quad \delta = 0.333\%$$

12. Определяем форму ставной донной сети (рис. 3.2)

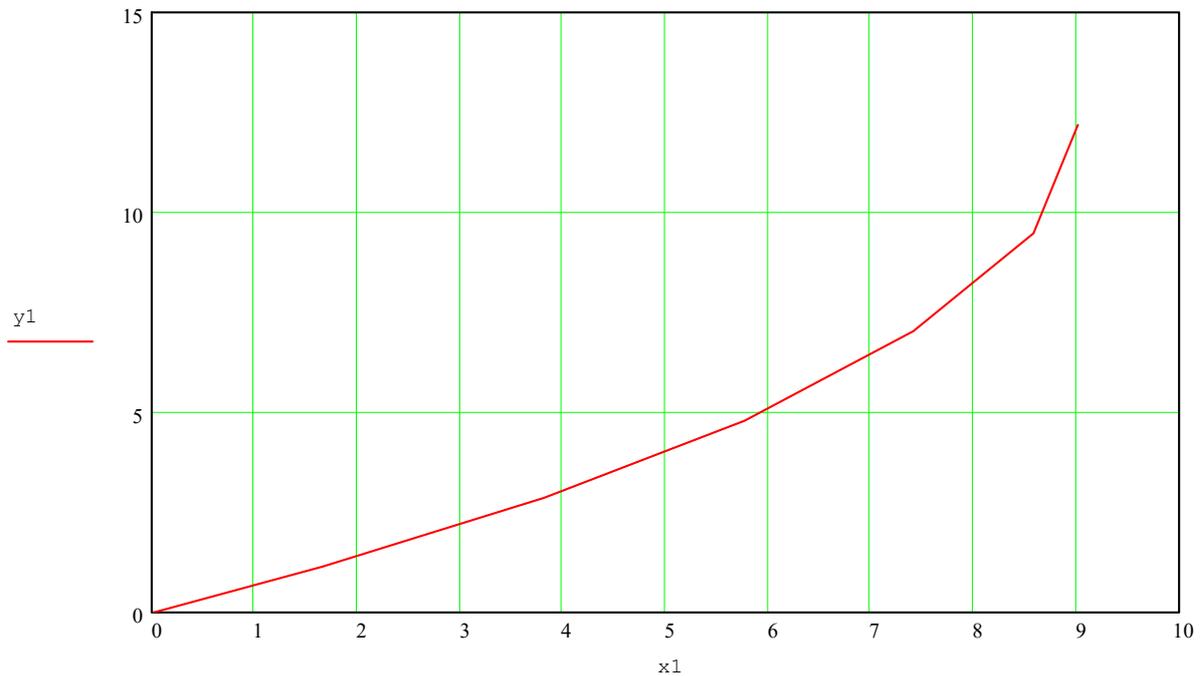


Рис. 3.2. Графическое изображение формы ставной донной сети

Примечание. Схема сил, действующих на полоску донной сети, отличается от схемы сил, приложенных к полоске разноглубинной сети, направлением силы - q [7]. Тогда расчётные уравнения для разноглубинной сети примут вид:

$$f(\alpha_0, \tau_0) := \frac{1}{\tau_0} \cdot \left[\zeta \cdot v - \left[\psi + (1 - \psi) \cdot b + U_x^2 \cdot \sqrt{(b^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot v^2 \right] \cdot b \right]$$

$$g(\alpha_0) := \zeta \cdot b + \left[\psi + (1 - \psi) \cdot b + U_x^2 \cdot \sqrt{(b^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot b^2 \right] \cdot v$$

$$f(\alpha_{01}, \tau_{01}) := \frac{1}{\tau_{01}} \cdot \left[\zeta \cdot s - \left[\psi + (1 - \psi) \cdot 1 + U_x^2 \cdot \sqrt{(1^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot s^2 \right] \cdot 1 \right]$$

$$g(\alpha_{01}) := \zeta \cdot 1 + \left[\psi + (1 - \psi) \cdot 1 + U_x^2 \cdot \sqrt{(1^2 \cdot U_x^2 + U_y^2)} \cdot 1^2 \right] \cdot s$$

Вопросы для самопроверки

1. Опишите входные данные, используемые для расчёта геометрических и силовых характеристик пространственной сети в среде Mathcad.
2. От какого задаваемого параметра зависит точность в определении характеристик сети?
3. Приведите другой пример применения метода численного интегрирования в расчётах орудий рыболовства.

Таблица 3.1

№ п/п	Сеть	Сеть $T \times n$	Шаг ячеек сети a , мм	Посадочный коэффициент Ux	Высота сети S , м	Вес в воде 1 м^2 сети q	Скорость течения V , м/с	Сила плавучести на 1 м^2 Q , Н	Шаг интегрирования h
1	донная	29 x 4	20	0,5	10	0,04	0,15	3,0	0,2
2	разноглубин.	29 x 6	30	0,45	12	0,04	0,1	3,5	0,3
3	донная	29 x 12	40	0,4	8	0,03	0,2	3,2	0,2
4	донная	29 x 15	50	0,55	5	0,05	0,05	4,0	0,1
5	донная	29 x 18	40	0,6	12	0,05	0,1	4,2	0,3
6	донная	29 x 48	30	0,5	15	0,03	0,14	3,3	0,3
7	донная	93,5 x 4	46	0,5	10	0,04	0,04	3,6	0,25
8	разноглубин.	93,5 x 6	50	0,46	9	0,06	0,02	4,2	0,2
9	разноглубин.	93,5 x 9	40	0,48	6	0,05	0,11	4,5	0,2
10	разноглубин.	93,5 x 12	36	0,52	4	0,045	0,12	4,6	0,15
11	разноглубин.	93,5 x 15	60	0,6	2	0,05	0,1	4,3	0,1
12	донная	93,5 x 18	60	0,53	10	0,06	0,15	4,2	0,25
13	донная	93,5 x 24	55	0,5	8	0,07	0,2	5,2	0,2
14	донная	29 x 6	50	0,5	15	0,05	0,12	3,1	0,3
15	разноглубин.	29 x 4	44	0,5	12	0,03	0,07	3,0	0,25
16	разноглубин.	29 x 9	60	0,52	10	0,04	0,03	2,9	0,24
17	донная	29 x 18	60	0,45	5	0,05	0,05	3,0	0,1
18	донная	93,5 x 15	46	0,4	8	0,04	0,1	4,0	0,14
19	донная	93,5 x 18	34	0,45	4	0,05	0,14	3,5	0,05
20	разноглубин.	93,5 x 9	44	0,5	9	0,03	0,15	4,0	0,2

Примечание. Сеть изготовлена из капроновой дели.

Лабораторная работа 4

Расчёт суммарной силы сопротивления грунтропа

Цель работы: освоение операций с индексированными величинами в среде Mathcad.

Объяснение задачи. При проектировании орудий рыболовства встречаются задачи, в которых искомые проектные характеристики находятся при помощи операций с индексированными величинами. Примером таких задач является определение суммарной силы сопротивления грунтропа.

Задание. Варианты заданий приведены в табл. 4.1.

Пример. Определить суммарную силу сопротивления тяжелого грунтропа.

Дано:

Длина нижней подборы

$$s := 30 \cdot \text{m}$$

Горизонтальное раскрытие между крыльями

$$L := 14 \cdot \text{m}$$

Характеристики грунтропа

Количество бобинцев

$$N_{\text{б}} := 5$$

Диаметр бобинцев

$$D_{\text{б}} := 0.5 \cdot \text{m}$$

Количество катушек

$$N_{\text{к}} := 108$$

Длина катушки

$$L_{\text{к}} := 0.2 \cdot \text{m}$$

Диаметр катушки

$$d := 0.2 \cdot \text{m}$$

Длина резиновой прокладки

$$L_{\text{п}} := 0.05 \cdot \text{m}$$

Кинематическая вязкость воды

$$\nu := 1.6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

Плотность воды

$$\rho := 1040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Скорость траления

$$v := 1.5 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Коэффициент трения грунтропа

$$f_{\text{т}} := 0.61$$

Вес грунтропа в воде

$$G := 1500 \cdot \text{N}$$

Бобинцы равноудалены друг от друга по нижней подборе.

Сопротивлением резиновых прокладок и перекачиванием через препятствие бобинцев - пренебречь [4].

Решение

1. Площадь сопротивления бобинца

$$F_{\text{б}} := \pi \cdot \frac{D_{\text{б}}^2}{4}$$

$$F_{\text{б}} = 0.196\text{m}^2$$

Площадь сопротивления катушки

$$F_{\text{к}} := L_{\text{к}} \cdot d$$

$$F_{\text{к}} = 0.04\text{m}^2$$

2. Число Рейнольдса для бобинца

$$\text{Re}_{\text{б}} := \frac{D_{\text{б}} \cdot v}{\nu}$$

$$\text{Re}_{\text{б}} = 4.688 \times 10^5$$

3. Определяем коэффициент сопротивления из [9]:

$$C_{\text{x}} := 0.2$$

Увеличим значение гидродинамического коэффициента сопротивления на 10%, так как экран влияет на C_{x}

$$C_{\text{xб}} := 1.1 \cdot C_{\text{x}}$$

$$C_{\text{xб}} = 0.22$$

Сопротивление бобинцев

$$R_{\text{xб}} := C_{\text{xб}} \cdot \rho \cdot \frac{v^2 \cdot F_{\text{б}} \cdot N_{\text{б}}}{2}$$

$$R_{\text{xб}} = 252.702\text{N}$$

4. Определим угол наклона крыла к горизонтальной плоскости α из табл. П. 4:

$$\frac{L}{s} = 0.467, \text{ тогда}$$

$$\alpha := 78 \cdot \text{deg}, \quad f := 0.405 \cdot s \quad - \text{ стрелка прогиба}$$

$$f = 12.15\text{m}$$

5. Определим параметр цепной линии

$$p := \frac{L}{2 \cdot \ln\left(\frac{1 + \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}\right)}$$

$$p = 3.107\text{m}$$

6. Число Рейнольдса для катушки

$$\text{Re}_{\text{к}} := \frac{d \cdot v}{\nu}$$

$$\text{Re}_{\text{к}} = 1.875 \times 10^5$$

7. Определяем коэффициент сопротивления бесконечного удлинения [9]:

$$C_{\text{xк.б.уд.}} := 1.16$$

Увеличим значение гидродинамического коэффициента сопротивления на 10%, так как экран влияет на C_{x}

$$C_{\text{xк.б.уд.}} := 1.27$$

8. Бобинцы равноудалены друг от друга на расстоянии

$$l := \frac{s}{N_{\text{б}} - 1} \quad l = 7.5 \text{ m}$$

На эту длину помещается определённое количество катушек:

$$n_{\text{к}} := \frac{l - D_{\text{б}} - L_{\text{п}}}{L_{\text{к}} + L_{\text{п}}} \quad n_{\text{к}} = 27.8$$

Округляем количество катушек до целого значения в сторону уменьшения:

$$n_{\text{к}} := 27$$

В таком случае катушки занимают четыре секции. Так как секции симметричны, то в дальнейшем будем рассматривать левые секции.

Проверка:

$$4 \cdot n_{\text{к}} = 108 \quad \text{-общее количество катушек.}$$

9. Определяем длины от нижней точки (середина нижней подборы) до середины каждой катушки (первая секция):

$$i := 0.. 26$$

$$s1_i := \frac{D_{\text{б}}}{2} + L_{\text{п}} + \left(\frac{L_{\text{к}}}{2} \right) + L_{\text{п}} \cdot i + L_{\text{к}} \cdot i$$

$$s1^{\text{T}} =$$

0.4	0.65	0.9	1.15	1.4	1.65	1.9	2.15	2.4	2.65	2.9	3.15	3.4	3.65	3.9	m
-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	---

Тогда углы наклона осей катушек к горизонтальной плоскости:

$$\alpha1_i := \text{atan} \left(\frac{s1_i}{p} \right)$$

$$\alpha1^{\text{T}} =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	5.199	8.411	11.57	14.66	17.665	20.573	23.374	26.062	28.632	deg

Определяем длины от начала второй секции до последней катушки (вторая секция):

$$j := 0.. 26$$

$$s2_j := l + \frac{D_{\text{б}}}{2} + L_{\text{п}} + \left(\frac{L_{\text{к}}}{2} \right) + L_{\text{п}} \cdot j + L_{\text{к}} \cdot j$$

$$s2^{\text{T}} =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	7.9	8.15	8.4	8.65	8.9	9.15	9.4	9.65	9.9	10.15	m

Тогда углы наклона осей катушек к горизонтальной плоскости:

$$\alpha2_j := \text{atan} \left(\frac{s2_j}{p} \right)$$

$$\alpha_2^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 60.905 & 61.658 & 62.375 & 63.059 & 63.713 & 64.338 & 64.936 & 65.508 & 66.056 & 66.582 \end{array} \text{ deg}$$

10. Определяем удлинение катушек

$$\lambda := \frac{L_k}{d} \qquad \lambda = 1$$

Определяем значение поправочного коэффициента в зависимости от удлинения, [9]:

$$k := 0.53$$

11. Определяем значения гидродинамического коэффициента сопротивления с учётом его фактического удлинения

$$C_{x_{к.к.уд.}} := C_{x_{к.б.уд.}} \cdot k \qquad C_{x_{к.к.уд.}} = 0.673$$

12. Находим гидродинамические коэффициенты лобового сопротивления в зависимости от угла атаки катушек β для двух секций:

$$\beta_{1_i} := 90 \cdot \text{deg} - \alpha_{1_i}$$

$$\beta_{2_j} := 90 \cdot \text{deg} - \alpha_{2_j}$$

$$\beta_1^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 84.801 & 81.589 & 78.43 & 75.34 & 72.335 & 69.427 & 66.626 & 63.938 & 61.368 & 58.918 \end{array} \text{ deg}$$

$$\beta_2^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 29.095 & 28.342 & 27.625 & 26.941 & 26.287 & 25.662 & 25.064 & 24.492 & 23.944 & 23.418 \end{array} \text{ deg}$$

$$C_{x1_{к_i}} := C_{x_{к.к.уд.}} \cdot \sin(\beta_{1_i})^3$$

$$C_{x2_{к_j}} := C_{x_{к.к.уд.}} \cdot \sin(\beta_{2_j})^3$$

$$C_{x1_{к}}^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0.665 & 0.652 & 0.633 & 0.609 & 0.582 & 0.552 & 0.521 & 0.488 & 0.455 & 0.423 \end{array}$$

$$C_{x2_{к}}^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0.122 & 0.113 & 0.104 & 0.097 & 0.09 & 0.083 & 0.077 & 0.072 & 0.067 & 0.063 \end{array} \blacksquare$$

13. Находим гидродинамическое сопротивление катушек для двух секций:

$$R_{x1_{k_i}} := C_{x1_{k_i}} \cdot \left(\rho \cdot \frac{V^2 \cdot F_K \cdot N_{\sigma}}{2} \right)$$

$$R_{x1_k}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	155.569	152.478	148.098	142.618	136.259	129.252	121.823	114.18

N

$$R_{x2_{k_j}} := C_{x2_{k_j}} \cdot \left(\rho \cdot \frac{V^2 \cdot F_K \cdot N_{\sigma}}{2} \right)$$

$$R_{x2_k}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	18.108	16.852	15.702	14.648	13.681	12.792	11.975	11.222	10.528

N

14. Определяем суммарное сопротивление катушек:

$$R_{x_K} := 2 \sum R_{x1_k} + 2 \sum R_{x2_k} \quad R_{x_K} = 4.83 \times 10^3 \text{ N}$$

15. Определяем силу сопротивления грунта

$$R_{x_{\Gamma}} := f_{\Gamma} \cdot G \quad R_{x_{\Gamma}} = 915 \text{ N}$$

16. Определяем суммарное сопротивление грунтропа:

$$R_x := R_{x_{\sigma}} + R_{x_K} + R_{x_{\Gamma}} \quad R_x = 5.997 \times 10^3 \text{ N}$$

Ответ: $R_x = 5.997 \times 10^3 \text{ N}$

Вопросы для самопроверки

1. Сколько значений в индексе имеет переменная величина?
2. В каких случаях используются переменные с индексами в расчёте элементов орудий рыболовства?
3. От каких характеристик грунтропа зависит количество индексируемых величин?
4. Опишите входные данные, используемые для расчёта грунтодинамического сопротивления грунтропа.

Таблица 4.1

№ п/п	Температура воды $t, ^\circ\text{C}$	Солёность воды, ‰	Скорость течения $V, \text{уз.}$	Длина нижней подборы $S, \text{м}$	Горизонтальное раскрытие между крыльями $L, \text{м}$	Количество бобинцев N_b	Диаметр бобинца, $D_b, \text{мм}$	Количество катушек, N_k	Длина катушки $L_k, \text{м}$	Диаметр катушки $d_k, \text{мм}$	Материал бобинцев	Грунт	Вес Грунтропа в воде $G, \text{Н}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	5	10	2,2	20	8	5	300	50	300	90	сталь	м.,	1500
2	10	10	2,4	24	9	6	300	60	200	100	-//-	песок гр.,	1200
3	15	15	2,6	26	10	7	400	64	75	75	-//-	песок гр.,	1300
4	20	20	2,8	28	11	8	300	66	200	100	-//-	песок гр.,	1500
5	5	25	3,0	30	12	9	400	50	300	90	-//-	песок гр.,	1250
6	10	30	3,2	32	12	3	400	70	300	90	-//-	песок м.,	1300
7	15	35	3,4	34	14	4	500	40	300	90	-//-	песок гр.,	1000
8	20	40	3,6	36	14	5	600	40	300	90	-//-	песок гр.,	1500
9	5	5	3,8	38	18	6	300	68	200	100	-//-	м.,	1500
10	10	5	4,0	40	17	7	600	40	200	100	-//-	песок гр.,	1400

11	15	15	3,8	38	16	6	400	50	300	90	-//-	песок гр.,	1300
12	20	15	3,6	36	15	5	400	48	300	90	-//-	песок м.,	1500
13	5	25	3,4	34	10	7	500	40	300	90	-//-	песок м.,	1600
14	10	20	3,2	32	11	4	500	50	75	75	-//-	песок гр.,	1200
15	15	35	3,0	30	8	3	600	60	75	75	-//-	песок м.,	1300
16	20	35	2,8	28	10	5	300	70	75	75	-//-	песок гр.,	1200
17	5	15	2,6	26	9	4	300	64	200	100	-//-	песок м.,	1300
18	10	15	2,4	24	8	5	300	60	300	90	-//-	песок гр.,	1100
19	15	5	2,2	22	7	3	400	50	75	75	-//-	песок м.,	1000
20	25	20	4,0	20	6	5	300	40	200	100	-//-	песок м.,	1200

Примечание. Бобинцы равноудалены друг от друга по длине нижней подборы. Сопротивлением перекачиванию через препятствие пренебречь.

Лабораторная работа 5

Расчёт силовых и геометрических характеристик трала

Цель работы: применение комплекса операций в среде Mathcad для решения задач проектирования орудий рыболовства.

Объяснение задачи. При проектировании орудий рыболовства встречаются задачи, в которых искомые проектные характеристики находятся при помощи комплекса вычислительных операций. Примером таких задач является определение силы сопротивления канатно-сетной части трала и раскрытия устья трала.

Задание. Варианты заданий приведены в табл. 5.1.

Пример 1. Рассчитать силу сопротивления трала, а также определить раскрытия устья трала при различных скоростях его буксировки.

Дано:

Характеристики канатно-сетной части трала

Трал - симметричный, разноглубинный

Длина верхней подборы $l_B := 58 \cdot m$

Количество пластей $I := 4$

Характеристики канатной части, позиция 1

Длина канатных элементов $l_K := 6 \cdot m$

Длина гужа $l_T := 10 \cdot m$

Диаметр канатных элементов $d_K := 8.0 \cdot mm$

Количество канатных элементов $N_K := 116$

Характеристики сетной части, позиция 2

Шаг ячее сетных пластин $a_c := (1200 \ 800 \ 400 \ 200 \ 100 \ 64 \ 30 \ 16)^T \cdot mm$

Диаметр нитки сетных пластин $d_c := (5.0 \ 4.0 \ 3.1 \ 3.1 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.2 \ 1.5)^T \cdot mm$

Количество ячее по верхней кромке сетной пластины $n1_c := (29 \ 40 \ 40 \ 62 \ 84 \ 126 \ 190 \ 260)^T$

Количество ячеек по нижней
кромке сетной пластины
Количество ячеек по высоте
сетной пластины

$$n2_c := (21 \ 20 \ 30 \ 42 \ 60 \ 86 \ 122 \ 259)^T$$

$$m_c := (6 \ 15 \ 15 \ 40 \ 60 \ 120 \ 240 \ 200)^T$$

Характеристики района испытаний трала

Кинематическая вязкость воды

$$\nu := 1.06 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

Плотность воды

$$\rho := 1040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Скорость траления

$$V := (2.1 \ 2.2 \ 2.3 \ 2.4 \ 2.5 \ 2.6)^T \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Характеристики оснастки трала

Площадь гидродинамического щитка

$$F_{\text{щ}} := 3.2 \cdot \text{m}^2$$

Угол атаки гидродинамического щитка

$$\alpha_{\text{щ}} := 60 \cdot \text{deg}$$

Масса загрузки нижней подборы (сталь)

$$M_{\text{ц}} := 200 \cdot \text{kg}$$

Масса груза-углубителя (сталь)

$$M_{\text{т}} := 400 \cdot \text{kg}$$

Площадь траловой доски

$$F_{\text{д}} := 4.0 \cdot \text{m}^2$$

Угол атаки траловой доски

$$\alpha_{\text{д}} := 17.5 \cdot \text{deg}$$

Решение

Силу сопротивления трала будем определять методом, который изложен в [5].

1. Определим площадь ниток и канатов, из которых изготовлен трала.

Площадь канатов

$$F_{\text{к}} := l \cdot l_{\text{к}} \cdot d_{\text{к}} \cdot N_{\text{к}}$$

$$F_{\text{к}} = 22.272 \text{m}^2$$

Площадь ниток сетной части

$$F_{\text{н}} := l \cdot 2 \cdot a_{\text{с}} \cdot m_{\text{с}} \cdot d_{\text{с}} \cdot (n1_{\text{с}} + n2_{\text{с}}) \quad F_{\text{н}}^T = (14.4 \ 23.04 \ 10.416 \ 20.634 \ 17.28 \ 32.563 \ 39.537 \ 19.93) \text{m}^2$$

Суммарная площадь нитки и канатов трала

$$F_{\text{кн}} := F_{\text{к}} + \sum F_{\text{н}}$$

$$F_{\text{кн}} = 200.07 \text{m}^2$$

2. Определим значения циклов кройки сетных пластин траля.

Цикл кройки канатной части

$$C_K := \frac{5}{1}$$

Циклы кройки сетных частей

$$C_c := \left[\frac{m_c - \frac{(n1_c - n2_c)}{2}}{(n1_c - n2_c)} \right] \quad C_c^T = (0.25 \ 0.25 \ 1 \ 1.5 \ 2 \ 2.5 \ 3.029 \ 199.5)$$

3. Определим значения посадочных коэффициентов в поперечном сечении сетных пластин траля

Посадочный коэффициент в канатной части

$$U_{X_K} := \frac{l_r}{4 \cdot l_K}$$

$$U_{X_K} = 0.417$$

Посадочные коэффициенты в сетной части

$$t1 := \frac{n2_{c_0}}{n1_{c_1}} \quad t2 := t1 \cdot \frac{n2_{c_1}}{n1_{c_2}} \quad t3 := t2 \cdot \frac{n2_{c_2}}{n1_{c_3}} \quad t4 := t3 \cdot \frac{n2_{c_3}}{n1_{c_4}} \quad t5 := t4 \cdot \frac{n2_{c_4}}{n1_{c_5}} \quad t6 := t5 \cdot \frac{n2_{c_5}}{n1_{c_6}}$$

$$t7 := t6 \cdot \frac{n2_{c_6}}{n1_{c_7}}$$

$$U_{X_c} := (U_{X_K} \ U_{X_K} \cdot t1 \ U_{X_K} \cdot t2 \ U_{X_K} \cdot t3 \ U_{X_K} \cdot t4 \ U_{X_K} \cdot t5 \ U_{X_K} \cdot t6 \ U_{X_K} \cdot t7)^T$$

$$U_{X_c}^T = (0.417 \ 0.219 \ 0.109 \ 0.053 \ 0.026 \ 0.013 \ 5.704 \times 10^{-3} \ 2.676 \times 10^{-3})$$

4. Определяем средние взвешенные характеристики канатно-сетной части траля [8].

Среднее взвешенное значение шага ячеи

$$a_{CB} := \frac{l_K \cdot F_K + \sum (a_c \cdot F_H)}{F_{KH}}$$

$$a_{CB} = 0.914m$$

Среднее взвешенное значение диаметра ниток и канатов

$$d_{CB} := \frac{d_K \cdot F_K + \sum (d_c \cdot F_H)}{F_{KH}}$$

$$d_{CB} = 3.399 \times 10^{-3} m$$

Среднее взвешенное значение цикла кройки

$$C_{CB} := \frac{C_K \cdot F_K + \sum (C_c \cdot F_H)}{F_{KH}}$$

$$C_{CB} = 21.861$$

Среднее взвешенное значение посадочного коэффициента

$$U_{\text{св}} := \frac{U_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}} + \sum (\overrightarrow{U_{\text{с}} \cdot F_{\text{н}}})}{F_{\text{кн}}} \quad U_{\text{св}} = 0.118$$

Среднее взвешенное значение относительной площади канатно-сетной части трала (сплошности)

$$F_{\text{о св}} := \frac{d_{\text{св}}}{a_{\text{св}}} \cdot \frac{1}{U_{\text{св}} \cdot \sqrt{1 - U_{\text{св}}^2}} \quad F_{\text{о св}} = 0.032$$

5. Определяем значение комплекса Р [7]:

$$P := \frac{I \cdot U_{\text{св}}^2}{2 \cdot \pi \cdot (C_{\text{св}} - 0.5)} \quad P = 4.181 \times 10^{-4}$$

6. Определяем значения сил, создаваемых гидродинамическим щитком трала.

Коэффициент силы сопротивления щитка [7] - $C_{\text{х щ}} := 1.0$

Сила сопротивления гидродинамического щитка

$$R_{\text{х щ}} := \left(\overrightarrow{C_{\text{х щ}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_{\text{щ}}} \right)$$

$$R_{\text{х щ}}^T = (7.338 \times 10^3 \quad 8.054 \times 10^3 \quad 8.803 \times 10^3 \quad 9.585 \times 10^3 \quad 1.04 \times 10^4 \quad 1.125 \times 10^4) \text{ N}$$

Коэффициент подъёмной силы щитка [7] - $C_{\text{у щ}} := 0.5$

Подъёмная сила гидродинамического щитка

$$R_{\text{у щ}} := \left(\overrightarrow{C_{\text{у щ}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_{\text{щ}}} \right)$$

$$R_{\text{у щ}}^T = (3.669 \times 10^3 \quad 4.027 \times 10^3 \quad 4.401 \times 10^3 \quad 4.792 \times 10^3 \quad 5.2 \times 10^3 \quad 5.624 \times 10^3) \text{ N}$$

7. Определяем значение силы, создаваемой загрузкой нижней подборы трала.

Силой сопротивления загрузки нижней подборы пренебрегаем.

Для стали объёмный вес [9] -

$$\gamma_{\text{с}} := 74000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Для воды объёмный вес [9] -

$$\gamma_{\text{в}} := 9940 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Вес загрузки нижней подборы в воде

$$P_{\text{ц}} := M_{\text{ц}} \cdot g \cdot \left(\frac{\gamma_{\text{с}} - \gamma_{\text{в}}}{\gamma_{\text{с}}} \right) \quad P_{\text{ц}} = 1.698 \times 10^3 \text{ N}$$

8. Определяем значение силы создаваемой грузом-углубителем трала.

Силой сопротивления груза-углубителя пренебрегаем.

Вес груза-углубителя в воде

$$P_T := M_T \cdot g \cdot \left(\frac{\gamma_c - \gamma_B}{\gamma_c} \right) \quad P_T = 3.396 \times 10^3 \text{ N}$$

9. Определяем значения сил создаваемых траловой доской.

Коэффициент силы сопротивления
(см. табл. П. 5) -

$$C_{X_D} := 0.34$$

Сила сопротивления траловой доски

$$R_{X_D} := \left(C_{X_D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_D \right)$$

$$R_{X_D}^T = (3.119 \times 10^3 \quad 3.423 \times 10^3 \quad 3.741 \times 10^3 \quad 4.073 \times 10^3 \quad 4.42 \times 10^3 \quad 4.781 \times 10^3) \text{ N}$$

Коэффициент распорной силы
(см. табл. П. 5) -

$$C_{Y_D} := 1.15$$

Распорная сила траловой доски

$$R_{Y_D} := \left(C_{Y_D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_D \right)$$

$$R_{Y_D}^T = (1.055 \times 10^4 \quad 1.158 \times 10^4 \quad 1.265 \times 10^4 \quad 1.378 \times 10^4 \quad 1.495 \times 10^4 \quad 1.617 \times 10^4) \text{ N}$$

10. Определяем значения гидродинамического коэффициента сопротивления методом последовательных приближений.

Задаём значения безразмерных характеристик (последовательно изменяем до совпадения с заданными силами):

Значения безразмерной распорной
силы траловой доски -

$$\tau := (0.134 \quad 0.1345 \quad 0.135 \quad .1355 \quad .136 \quad .137)^T$$

Значения безразмерной подъёмной
силы оснастки верхней подборки -

$$\xi := (4.8 \quad 4.82 \quad 4.83 \quad 4.84 \quad 4.844 \quad 4.85)^T \cdot 10^{-2}$$

Значения безразмерной заглубляющей
силы оснастки нижней подборки -

$$\zeta := (2.2 \quad 2.05 \quad 1.9 \quad 1.7 \quad 1.6 \quad 1.48)^T \cdot 10^{-2}$$

Значения безразмерной заглубляющей
силы грузов-углубителей -

$$\psi := (0.09 \quad 0.08 \quad 0.07 \quad 0.065 \quad 0.06 \quad 0.055)^T$$

$$\chi := \overrightarrow{(\psi + \zeta)}$$

$$\chi^T = (0.112 \quad 0.101 \quad 0.089 \quad 0.082 \quad 0.076 \quad 0.07)$$

$$\eta := \begin{pmatrix} \tau \\ \chi \end{pmatrix}$$

$$\eta^T = (1.196 \ 1.338 \ 1.517 \ 1.652 \ 1.789 \ 1.963)$$

Определим параметры:

$$A1 := \exp \left[\overrightarrow{1.861 + 1.863 \cdot \tau - 2.345 \cdot (\tau^2)} \right]$$

$$A1^T = (7.913 \ 7.918 \ 7.923 \ 7.928 \ 7.933 \ 7.942)$$

$$A2 := \overrightarrow{(7.027 + 15.696 \cdot \xi - 26.16 \cdot \xi^2)}$$

$$A2^T = (7.72 \ 7.723 \ 7.724 \ 7.725 \ 7.726 \ 7.727)$$

$$A3 := \overrightarrow{(\sin(8.73 \cdot \chi)^2 \cdot \cos(11.93 \cdot \chi)^2 \cdot 25 - .6)}$$

$$A3^T = (0.329 \ 1.352 \ 2.319 \ 2.758 \ 3.002 \ 3.108)$$

$$A := \frac{A1}{2} + \frac{A2}{2}$$

$$A^T = (7.817 \ 7.82 \ 7.824 \ 7.827 \ 7.829 \ 7.835)$$

Определяем значения среднего взвешенного фактического угла атаки меридиана канатно-сетной оболочки трала [5]:

$$\alpha := \overrightarrow{\left[A + 110 \cdot \exp(-6.74 \cdot Fo_{св}) \cdot (P - .02) \right]}$$

$$\alpha^T = (6.076 \ 6.08 \ 6.083 \ 6.086 \ 6.089 \ 6.094)$$

Значения гидродинамического коэффициента сопротивления трала:

$$C_x := \overrightarrow{(\alpha \cdot .04 - .09)}$$

$$C_x^T = (0.153 \ 0.153 \ 0.153 \ 0.153 \ 0.154 \ 0.154)$$

Значения силы сопротивления трала

$$R_x := \overrightarrow{\left(C_x \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot F_{KH} \right)}$$

$$R_x^T = (7.021 \times 10^4 \ 7.714 \times 10^4 \ 8.438 \times 10^4 \ 9.195 \times 10^4 \ 9.984 \times 10^4 \ 1.081 \times 10^5) N$$

Определяем значения сил, создаваемых оснасткой трала:

$$R_{yd} := \overrightarrow{\left[\tau \cdot (R_x + R_{x_{III}}) \right]} \quad R_{yw} := \overrightarrow{\left[\xi \cdot (R_x + R_{x_{III}}) \right]} \quad G_{II} := \overrightarrow{\left[\zeta \cdot (R_x + R_{x_{III}}) \right]} \quad G_I := \overrightarrow{\left[\psi \cdot \frac{(R_x + R_{x_{III}})}{2} \right]}$$

Сравниваем полученные значения с заданными, они не должны отличаться более чем на 5 %:

$$R_{yd}^T = (1.039 \times 10^4 \ 1.146 \times 10^4 \ 1.258 \times 10^4 \ 1.376 \times 10^4 \ 1.499 \times 10^4 \ 1.636 \times 10^4) \text{ kg ms}^{-2}$$

$$R_{y_{д}}^T = (1.055 \times 10^4 \ 1.158 \times 10^4 \ 1.265 \times 10^4 \ 1.378 \times 10^4 \ 1.495 \times 10^4 \ 1.617 \times 10^4) \text{ kg ms}^{-2}$$

$$\delta_{R_{yd}} := \overrightarrow{\left(\frac{R_{y_{д}} - R_{yd}}{R_{y_{д}}} \right)}$$

$$\delta_{R_{yd}}^T = (1.486 \ 1.03 \ 0.589 \ 0.148 \ -0.284 \ -1.146) \%$$

$$R_{yw}^T = (3.723 \times 10^3 \ 4.106 \times 10^3 \ 4.501 \times 10^3 \ 4.914 \times 10^3 \ 5.34 \times 10^3 \ 5.79 \times 10^3) N$$

$$R_{y_{III}}^T = (3.669 \times 10^3 \ 4.027 \times 10^3 \ 4.401 \times 10^3 \ 4.792 \times 10^3 \ 5.2 \times 10^3 \ 5.624 \times 10^3) \text{ kg ms}^{-2}$$

$$\delta_{R_{yw}} := \left(\frac{\overrightarrow{R_{y_{III}} - R_{yw}}}{R_{y_{III}}} \right) \quad \delta_{R_{yw}}^T = (-1.455 \quad -1.969 \quad -2.255 \quad -2.541 \quad -2.691 \quad -2.946) \%$$

$$P_{II} = 1.698 \times 10^3 \text{ N}$$

$$G_{II}^T = (1.706 \times 10^3 \quad 1.746 \times 10^3 \quad 1.77 \times 10^3 \quad 1.726 \times 10^3 \quad 1.764 \times 10^3 \quad 1.767 \times 10^3) \text{ N}$$

$$\delta_{G_{II}} := \left(\frac{\overrightarrow{P_{II} - G_{II}}}{P_{II}} \right) \quad \delta_{G_{II}}^T = (-0.487 \quad -2.857 \quad -4.271 \quad -1.658 \quad -3.884 \quad -4.062) \%$$

$$P_{I} = 3.396 \times 10^3 \text{ N}$$

$$G_{I}^T = (3.49 \times 10^3 \quad 3.408 \times 10^3 \quad 3.261 \times 10^3 \quad 3.3 \times 10^3 \quad 3.307 \times 10^3 \quad 3.283 \times 10^3) \text{ N}$$

$$\delta_{G_{I}} := \left(\frac{\overrightarrow{P_{I} - G_{I}}}{P_{I}} \right) \quad \delta_{G_{I}}^T = (-2.771 \quad -0.349 \quad 3.961 \quad 2.827 \quad 2.609 \quad 3.32) \%$$

Определяем значения суммарных сил сопротивления трала:

$$R_{x_{\text{сум}}} := \left(\overrightarrow{R_x + R_{x_{III}}} \right) \\ R_{x_{\text{сум}}}^T = (7.755 \times 10^4 \quad 8.519 \times 10^4 \quad 9.318 \times 10^4 \quad 1.015 \times 10^5 \quad 1.102 \times 10^5 \quad 1.194 \times 10^5) \text{ N}$$

11. Определяем значения раскрытия устья трала [3].

Определяем значения безразмерного показателя горизонтального раскрытия устья трала:

$$f1 := \left[\frac{\overrightarrow{4.5 + \sqrt{4.5^2 - 4 \cdot 0.78 \cdot (A - 4.26)}}}{2 \cdot 0.78} \right] \quad f1^T = (4.824 \quad 4.823 \quad 4.822 \quad 4.821 \quad 4.82 \quad 4.818)$$

$$f2 := \left[\frac{\overrightarrow{4.5 - \sqrt{4.5^2 - 4 \cdot 0.78 \cdot (A - 4.26)}}}{2 \cdot 0.78} \right] \quad f2^T = (0.945 \quad 0.946 \quad 0.948 \quad 0.949 \quad 0.949 \quad 0.951)$$

Выбираем значения безразмерного показателя $f1$.

Определяем значения вертикального раскрытия устья трала:

$$H_{\text{вер}} := \left[\frac{\overrightarrow{\sqrt{f1 \cdot F_{KH}}}}{3.86 \cdot \left(\frac{\tau}{\xi + \chi} \right) - 2.573 \cdot \left(\frac{\tau}{\xi + \chi} \right)^2} \right] \\ H_{\text{вер}}^T = (21.755 \quad 22.406 \quad 23.749 \quad 25.192 \quad 27.113 \quad 30.456) \text{ m}$$

12. Строим графики $R_{x_{\text{сум}}} = f(V)$ и $H_{\text{вер}} = f(V)$:

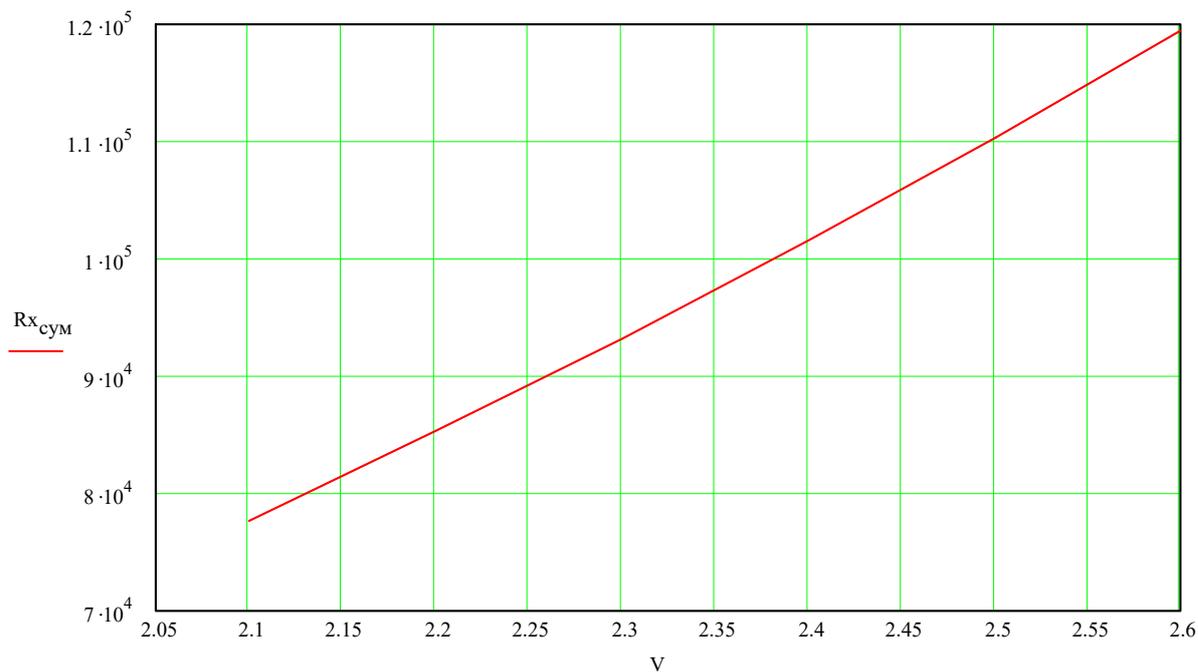


Рис. 5.1. График зависимости силы сопротивления траловой оболочки с оснасткой $R_{x_{\text{сум}}}$ от скорости траления V

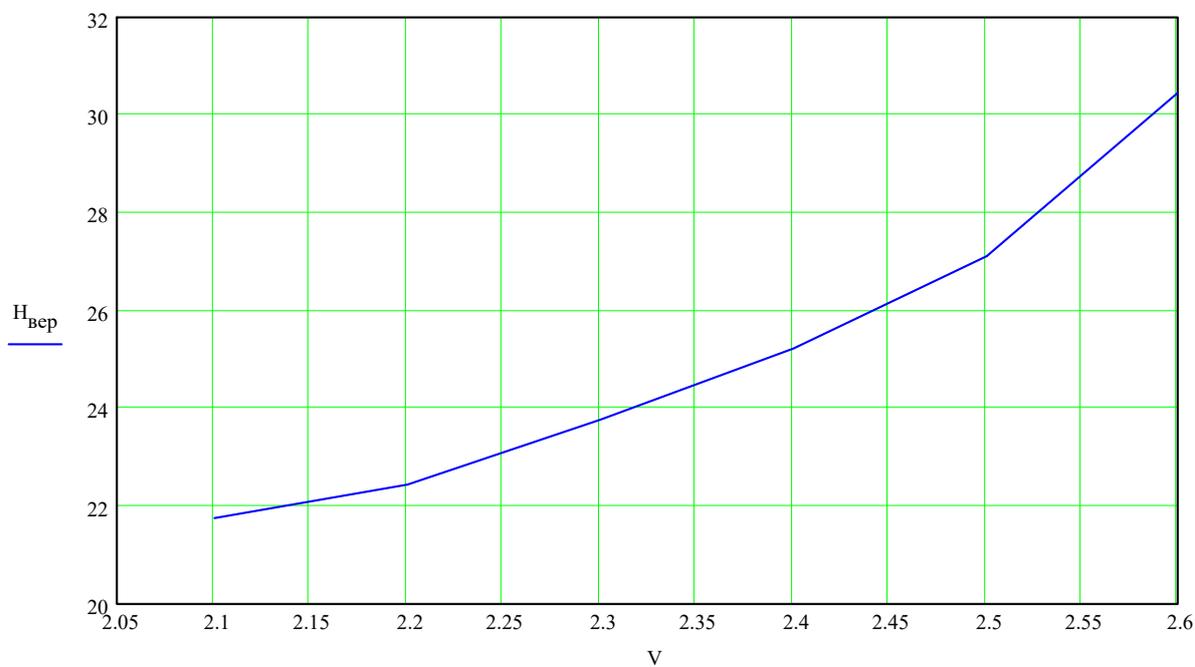


Рис. 5.2. График зависимости вертикального раскрытия устья $H_{\text{вер}}$ трала 58 / 168 от скорости траления V

Пример 2. Рассчитать силу сопротивления 28-метрового донного трала, а также определить раскрытия устья трала при различных скоростях его буксировки.

Дано:

Характеристики трала

Трал - донный

Длина верхней подборы

$$l_B := 28 \cdot \text{m}$$

Количество пластей

$$I := 2$$

Характеристики крыловых частей, позиция 1

Шаг ячеи в крыловых частях

$$a_K := 120 \cdot \text{mm}$$

Длина гужа - верх

$$l_{ГВ} := 8 \cdot \text{m}$$

Длина гужа - низ

$$l_{ГН} := 4 \cdot \text{m}$$

Диаметр нитки в крыловых частях

$$d_K := 3.1 \cdot \text{mm}$$

Количество ячеи по верхней кромке в крыловых частях

$$n1_K := 5$$

Количество ячеи по нижней кромке в нижней крыловой части

$$n2_K := 40$$

Количество ячеи по высоте нижней крыловой части

$$m_K := 40$$

Характеристики сетной части, позиция 2

Шаг ячеи сетных пластин

$$a_c := (100 \ 80 \ 60 \ 40 \ 30 \ 30 \ 24)^T \cdot \text{mm}$$

Диаметр нитки сетных пластин

$$d_c := (3.1 \ 3.1 \ 3.1 \ 3.1 \ 3.1 \ 3.1 \ 3.1)^T \cdot \text{mm}$$

Количество ячеи по верхней кромке сетной пластины

$$n1_c := (140 \ 160 \ 160 \ 160 \ 140 \ 112 \ 110)^T$$

Количество ячеи по нижней кромке сетной пластины

$$n2_c := (130 \ 140 \ 140 \ 130 \ 110 \ 100 \ 109)^T$$

Количество ячеи по высоте сетной пластины

$$m_c := (14 \ 16 \ 18 \ 20 \ 40 \ 60 \ 100)^T$$

Характеристики сетной пластины по верхней пласти, позиция 3

Шаг ячеи сетной пластины

$$a_M := 120 \cdot \text{mm}$$

Диаметр нитки сетной пластины

$$d_M := 3.1 \cdot \text{mm}$$

Количество ячеи по верхней кромке сетной пластины

$$n1_M := 80$$

Количество ячеек по нижней
кромке сетной пластины
Количество ячеек по высоте
сетной пластины

$$n2_M := 40$$

$$m_M := 10$$

Характеристики района промысла

Кинематическая вязкость воды

$$\nu := 1.06 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

Плотность воды

$$\rho := 1040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Скорость траления

$$V := (1.5 \ 1.6 \ 1.7 \ 1.8 \ 1.9 \ 2.0)^T \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Характеристики оснастки трала

Площадь гидродинамического щитка

$$F_{\text{щ}} := 2.4 \cdot \text{m}^2$$

Угол атаки гидродинамического щитка

$$\alpha_{\text{щ}} := 60 \cdot \text{deg}$$

Площадь траловой доски

$$F_{\text{д}} := 3.0 \cdot \text{m}^2$$

Угол атаки траловой доски

$$\alpha_{\text{д}} := 20 \cdot \text{deg}$$

Сопrotивление грунтропа - (см. лаб. раб. - 4)

$$R_T := \overrightarrow{(267 \cdot V^2)} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$R_T^T = (600.75 \ 683.52 \ 771.63 \ 865.08 \ 963.87 \ 1.068 \times 10^3) \text{ N}$$

Грунтодинамическим сопротивлением траловых досок пренебречь.

Решение

Силу сопротивления трала будем определять методом, который изложен в [5].

1. Определим площадь ниток, из которых изготовлен трала.

Площадь ниток в крыльях

$$F_K := 2 \cdot I \cdot 2 \cdot a_K \cdot m_K \cdot d_K \cdot (n1_K + n2_K)$$

$$F_K = 5.357 \text{ m}^2$$

Площадь ниток сетной части

$$F_H := \overrightarrow{I \cdot 2 \cdot a_C \cdot m_C \cdot d_C \cdot (n1_C + n2_C)}$$

$$F_H^T = (4.687 \ 4.762 \ 4.018 \ 2.877 \ 3.72 \ 4.732 \ 6.517) \text{ m}^2$$

Площадь ниток сетной пластины

$$F_M := 2 \cdot a_M \cdot m_M \cdot d_M \cdot (n1_M + n2_M) \quad F_M = 0.893m^2$$

Суммарная площадь ниток и канатов троса

$$F_{KHM} := F_K + \sum F_H + F_M \quad F_{KHM} = 37.562m^2$$

2. Определим значения циклов кройки сетных пластин троса.

Цикл кройки крыльев определяем по чертежу:

$$C_K := \frac{1}{2}$$

Циклы кройки сетных частей

$$C_C := \left[\frac{m_C - \frac{(n1_C - n2_C)}{2}}{(n1_C - n2_C)} \right] \quad C_C^T = (0.9 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.167 \ 0.833 \ 4.5 \ 99.5)$$

3. Определим значения посадочных коэффициентов в поперечном сечении сетных пластин троса

Посадочный коэффициент по гужу троса

$$U_{X_K} := \frac{l_{ГВ}}{2 \cdot a_M \cdot n1_M} \quad U_{X_K} = 0.417$$

Посадочные коэффициенты в сетной части

$$t1 := \frac{n2_{C_0}}{n1_{C_1}} \quad t2 := t1 \cdot \frac{n2_{C_1}}{n1_{C_2}} \quad t3 := t2 \cdot \frac{n2_{C_2}}{n1_{C_3}} \quad t4 := t3 \cdot \frac{n2_{C_3}}{n1_{C_4}} \quad t5 := t4 \cdot \frac{n2_{C_4}}{n1_{C_5}} \quad t6 := t5 \cdot \frac{n2_{C_5}}{n1_{C_6}}$$

$$U_{X_C} := (U_{X_K} \ U_{X_K} \cdot t1 \ U_{X_K} \cdot t2 \ U_{X_K} \cdot t3 \ U_{X_K} \cdot t4 \ U_{X_K} \cdot t5 \ U_{X_K} \cdot t6)^T$$

$$U_{X_C}^T = (0.417 \ 0.339 \ 0.296 \ 0.259 \ 0.241 \ 0.236 \ 0.215)$$

4. Определяем средние взвешенные характеристики сетной части троса [8].

Среднее взвешенное значение шага ячеи

$$a_{CB} := \frac{(a_K \cdot F_K) + \sum (a_C \cdot F_H) + (a_M \cdot F_M)}{F_{KHM}} \quad a_{CB} = 0.063m$$

Среднее взвешенное значение диаметра ниток

$$d_{CB} := \frac{(d_K \cdot F_K) + \sum (d_C \cdot F_H) + (d_M \cdot F_M)}{F_{KHM}} \quad d_{CB} = 3.1 \times 10^{-3} m$$

Среднее взвешенное значение цикла кройки

$$C_{CB} := \frac{[C_K \cdot (F_K + F_M)] + \sum \overrightarrow{(C_C \cdot F_H)}}{F_{KHM}} \quad C_{CB} = 18.203$$

Среднее взвешенное значение посадочного коэффициента

$$U_{X_{CB}} := \frac{(U_{X_K} \cdot F_K) + \sum \overrightarrow{(U_{X_C} \cdot F_H)} + (U_{X_M} \cdot F_M)}{F_{KHM}} \quad U_{X_{CB}} = 0.307$$

Среднее взвешенное значение относительной площади сетной части траля (сплошности)

$$F_{o_{CB}} := \frac{d_{CB}}{a_{CB}} \cdot \frac{1}{U_{X_{CB}} \cdot \sqrt{1 - U_{X_{CB}}^2}} \quad F_{o_{CB}} = 0.169$$

5. Определяем значение комплекса P [7]:

$$P := \frac{I \cdot U_{X_{CB}}^2}{2 \cdot \pi \cdot (C_{CB} - 0.5)} \quad P = 1.691 \times 10^{-3}$$

6. Определяем значения сил создаваемых гидродинамическим щитком.

Коэффициент силы сопротивления щитка [7] - $C_{X_{Щ}} := 1.0$

Сила сопротивления гидродинамического щитка

$$R_{X_{Щ}} := \left(\overrightarrow{C_{X_{Щ}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_{Щ}} \right) \quad R_{X_{Щ}}^T = (2.808 \ 3.195 \ 3.607 \ 4.044 \ 4.505 \ 4.992) 10^3 \cdot N$$

Коэффициент подъёмной силы щитка [7] - $C_{Y_{Щ}} := 0.5$

Подъёмная сила гидродинамического щитка

$$R_{Y_{Щ}} := \left(\overrightarrow{C_{Y_{Щ}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_{Щ}} \right) \quad R_{Y_{Щ}}^T = (1.404 \ 1.597 \ 1.803 \ 2.022 \ 2.253 \ 2.496) 10^3 \cdot N$$

7. Определяем значения сил создаваемых траловой доской.

Коэффициент силы сопротивления траловой доски
(см. табл. П. 6) -

$$C_{X_{Д1}} := 0.2$$

Значение гидродинамического коэффициента силы сопротивления траловой доски с учётом в лияния экрана, соответствует

$$C_{X_{Д}} := 1.3 \cdot C_{X_{Д1}} \quad C_{X_{Д}} = 0.26$$

Сила сопротивления траловой доски

$$R_{X_{Д}} := \left(\overrightarrow{C_{X_{Д}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_{Д}} \right) \quad R_{X_{Д}}^T = (0.913 \ 1.038 \ 1.172 \ 1.314 \ 1.464 \ 1.622) 10^3 \cdot N$$

Коэффициент распорной силы траловой доски
(см. табл. П. 6) -

$$C_{y_{д1}} := 0.6$$

Значение гидродинамического коэффициента распорной силы траловой доски, с учётом в линиях экрана, соответствует

$$C_{y_{д}} := 1.35 \cdot C_{y_{д1}}$$

$$C_{y_{д}} = 0.81$$

Распорная сила траловой доски

$$R_{y_{д}} := \left(C_{y_{д}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot F_{д} \right)$$

$$R_{y_{д}}^T = (2.843 \ 3.235 \ 3.652 \ 4.094 \ 4.562 \ 5.054) 10^3 \cdot N$$

8. Определяем значения гидродинамического коэффициента сопротивления методом последовательных приближений.

Задаём значения безразмерных характеристик (последовательно изменяем до совпадения с заданными силами):

Значения безразмерной распорной силы траловой доски -

$$\tau := (0.215 \ 0.217 \ 0.219 \ .22 \ .221 \ .222)^T$$

Значения безразмерной подъёмной силы оснастки верхней подборы -

$$\xi := (10.6 \ 10.7 \ 10.8 \ 10.9 \ 10.95 \ 10.99)^T \cdot 10^{-2}$$

Значения отношений безразмерных сил -

$$\left(\begin{array}{c} \tau \\ \xi \end{array} \right)^T = (2.028 \ 2.028 \ 2.028 \ 2.018 \ 2.018 \ 2.02)$$

Определим параметры:

$$A1 := \exp \left[1.861 + 1.863 \cdot \tau - 2.345 \cdot (\tau^2) \right]$$

$$A1^T = (8.612 \ 8.627 \ 8.641 \ 8.648 \ 8.655 \ 8.663)$$

$$A2 := (7.027 + 15.696 \cdot \xi - 26.16 \cdot \xi^2)$$

$$A2^T = (8.397 \ 8.407 \ 8.417 \ 8.427 \ 8.432 \ 8.436)$$

$$A := \frac{A1}{2} + \frac{A2}{2}$$

$$A^T = (8.504 \ 8.517 \ 8.529 \ 8.538 \ 8.544 \ 8.549)$$

Определяем значения среднего взвешенного фактического угла атаки меридиана сетной оболочки трала [5]:

$$\alpha := \left[A + 110 \cdot \exp(-6.74 \cdot Fo_{св}) \cdot (P - .02) \right]$$

$$\alpha^T = (7.858 \ 7.87 \ 7.883 \ 7.891 \ 7.897 \ 7.903)$$

Значения гидродинамического коэффициента сопротивления трала:

$$C_x := (\alpha \cdot .04 - .09)$$

$$C_x^T = (0.224 \ 0.225 \ 0.225 \ 0.226 \ 0.226 \ 0.226)$$

Значения силы сопротивления сетной оболочки трала:

$$R_x := \left(C_x \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot F_{кнм} \right)$$

$$R_x^T = (9.858 \ 11.241 \ 12.718 \ 14.28 \ 15.928 \ 17.666) 10^3 \cdot N$$

Значения суммарной силы сопротивления трала:

$$R_{x_{\text{сум}}} := \overrightarrow{(R_x + R_{\Gamma} + R_{x_{\text{ш}}})} \quad R_{x_{\text{сум}}}^T = (13.267 \ 15.12 \ 17.097 \ 19.189 \ 21.397 \ 23.726) \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

Определяем значения сил, создаваемых оснасткой трала:

$$R_{y_d} := \overrightarrow{(\tau \cdot R_{x_{\text{сум}}})} \quad R_{y_w} := \overrightarrow{(\xi \cdot R_{x_{\text{сум}}})}$$

Сравниваем полученные значения с заданными, они не должны отличаться более чем на 5 %:

$$R_{y_d}^T = (2.852 \ 3.281 \ 3.744 \ 4.222 \ 4.729 \ 5.267) \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$R_{y_{\text{д}}}^T = (2.843 \ 3.235 \ 3.652 \ 4.094 \ 4.562 \ 5.054) \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$\delta_{R_{y_d}} := \overrightarrow{\left(\frac{R_{y_{\text{д}}} - R_{y_d}}{R_{y_{\text{д}}}} \right)} \quad \delta_{R_{y_d}}^T = (-0.328 \ -1.428 \ -2.529 \ -3.115 \ -3.666 \ -4.212) \%$$

$$R_{y_w}^T = (1.406 \ 1.618 \ 1.846 \ 2.092 \ 2.343 \ 2.608) \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$R_{y_{\text{ш}}}^T = (1.404 \ 1.597 \ 1.803 \ 2.022 \ 2.253 \ 2.496) \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$\delta_{R_{y_w}} := \overrightarrow{\left(\frac{R_{y_{\text{ш}}} - R_{y_w}}{R_{y_{\text{ш}}}} \right)} \quad \delta_{R_{y_w}}^T = (-0.165 \ -1.276 \ -2.389 \ -3.454 \ -4.012 \ -4.469) \%$$

9. Определяем значения раскрытия устья трала [3].

Определяем значения безразмерного показателя горизонтального раскрытия устья трала:

$$f_1 := \overrightarrow{\left[\frac{4.5 + \sqrt{4.5^2 - 4 \cdot 0.78 \cdot (A - 4.26)}}{2 \cdot 0.78} \right]} \quad f_1^T = (4.582 \ 4.577 \ 4.572 \ 4.569 \ 4.567 \ 4.564)$$

$$f_2 := \overrightarrow{\left[\frac{4.5 - \sqrt{4.5^2 - 4 \cdot 0.78 \cdot (A - 4.26)}}{2 \cdot 0.78} \right]} \quad f_2^T = (1.188 \ 1.192 \ 1.197 \ 1.2 \ 1.203 \ 1.205)$$

Выбираем значения безразмерного показателя f_1 .

Определяем значения горизонтального раскрытия устья трала:

$$L_{\text{Гор}} := \overrightarrow{(\sqrt{f_1 \cdot F_{\text{КНМ}}})} \quad L_{\text{Гор}}^T = (13.118 \ 13.112 \ 13.105 \ 13.1 \ 13.097 \ 13.094) \text{ m}$$

10. Строим графики $R_{x_{\text{сум}}} = f(V)$ и $L_{\text{гор}} = f(V)$:

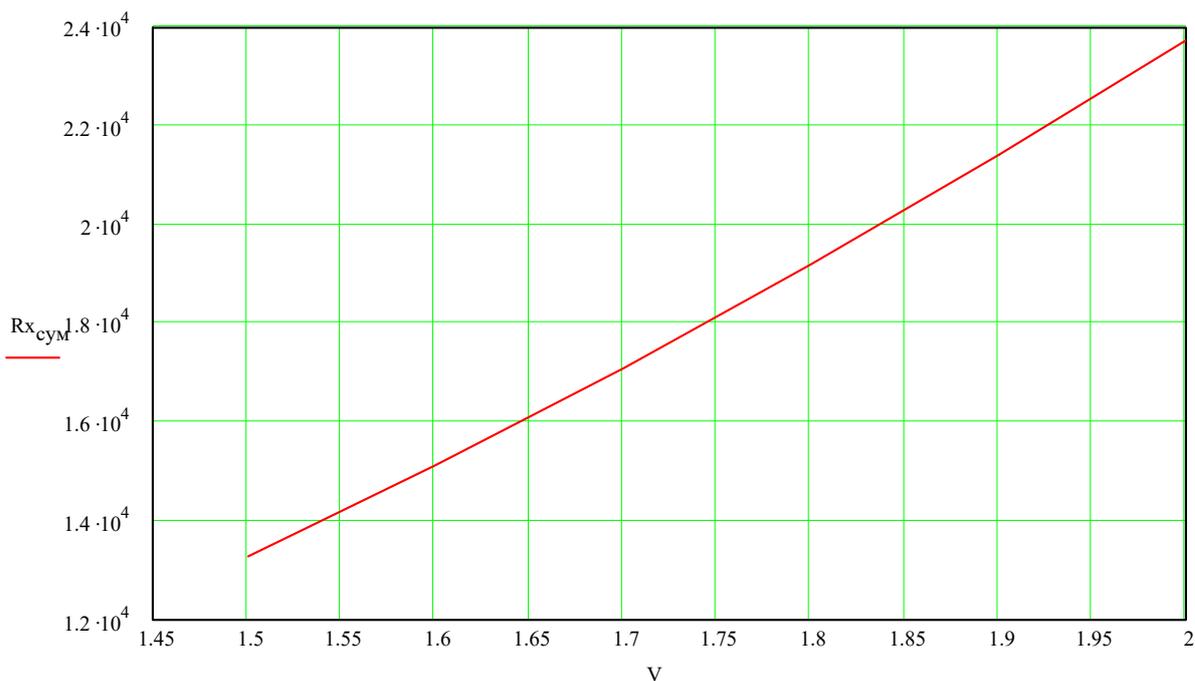


Рис. 5.3. График зависимости силы сопротивления траловой оболочки 28-метрового трала с оснасткой $R_{x_{\text{сум}}}$ от скорости траления V

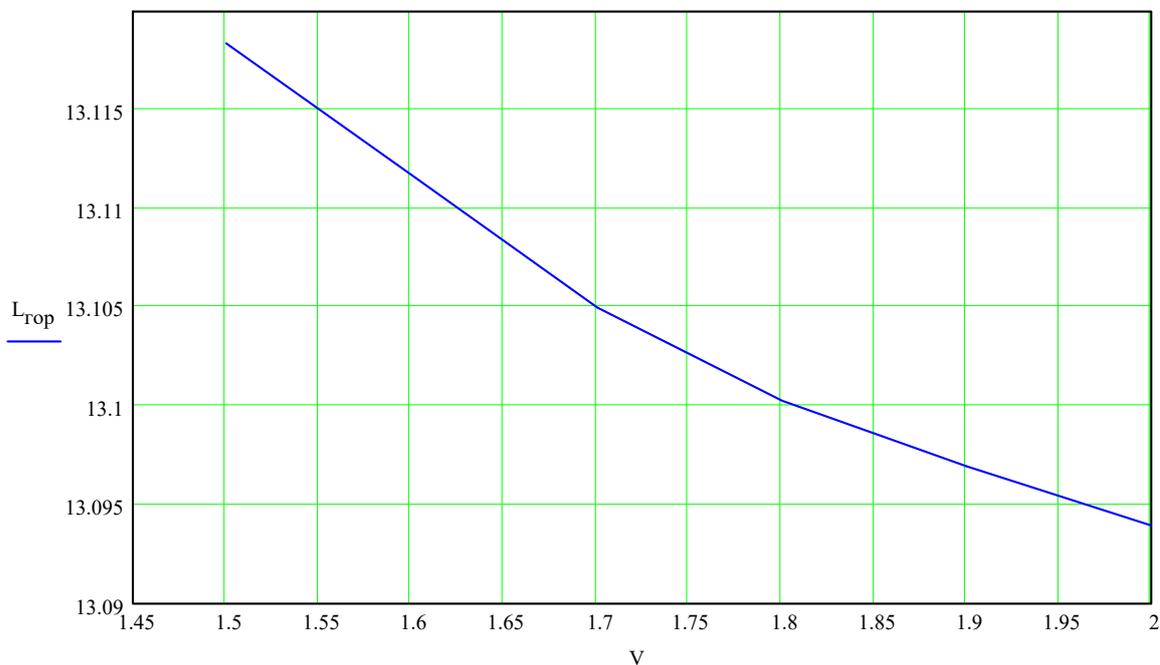


Рис. 5.4. График зависимости горизонтального раскрытия устья $L_{\text{гор}}$ 28-метрового трала от скорости траления V

Таблица 5.1

№	Рисунок модели	Кол-во пластей	Температура воды,	Солёность воды,	Скорость траления,	Характеристики оснастки				
						п/п	трала	I	$t, ^\circ\text{C}$	‰
1	1	4	5	10	1,0 ÷ 1,5	0,005	0,15	0,6	0,013	17
2	1	4	10	15	1,4 ÷ 1,7	- // -	0,1	0,4	0,013	20
3	1	4	15	20	1,7 ÷ 1,9	- // -	0,25	0,8	0,022	5
4	1	4	20	20	1,0 ÷ 1,5	- // -	0,17	0,35	0,013	10
5	1	4	5	25	1,1 ÷ 1,6	- // -	0,1	0,6	0,022	15
6	1	4	5	5	1,4 ÷ 1,8	- // -	0,15	0,84	0,013	17
7	2	6	10	10	1,0 ÷ 1,5	- // -	0,2	0,45	0,022	5
8	2	6	20	10	1,3 ÷ 1,7	- // -	0,25	0,35	0,013	20
9	2	4	15	30	1,7 ÷ 1,9	- // -	0,15	0,4	0,022	17
10	2	4	5	35	2,0 ÷ 2,2	- // -	0,1	0,3	0,013	20
11	2	4	20	15	1,0 ÷ 1,5	- // -	0,15	0,6	0,013	5
12	2	4	5	5	1,4 ÷ 1,7	- // -	0,25	0,9	0,022	10
13	3	2	10	5	1,7 ÷ 2,0	- // -	0,2	нет	0,013	15
14	3	2	5	20	2,0 ÷ 2,5	- // -	0,16	- // -	0,022	17
15	3	2	15	10	1,0 ÷ 1,5	- // -	0,18	- // -	0,013	17
16	3	2	15	40	1,4 ÷ 1,7	- // -	0,15	- // -	0,013	20
17	3	2	5	30	1,7 ÷ 1,9	- // -	0,25	- // -	0,022	5
18	3	2	10	35	1,9 ÷ 2,3	- // -	0,2	- // -	0,022	10
19	1	4	5	10	1,0 ÷ 1,5	- // -	0,1	0,45	0,013	15
20	2	4	20	15	1,1 ÷ 1,6	- // -	0,15	0,42	0,013	17

Продолжение таблицы 5.1

№ п/ п	Характеристики канатной части модели			Характеристики сетной части модели																			
	d_K мм	l_K , мм	l_Γ , мм	$a1_C$ мм	$a2_{CM}$ м	$a3_C$ мм	$a4_C$ мм	$d1_C$ мм	$d2_C$ мм	$d3_C$ мм	$d4_C$ мм	$n1_{1C}$ яч	$n1_{2C}$ яч	$n1_{3C}$ яч	$n1_{4C}$ яч	$n21_C$ яч	$n22_C$ яч	$n23_C$ яч	$n24_C$ яч	$m1_C$ яч	$m2_C$ яч	$m3_C$ яч	$m4_C$ яч
1	1,6	100	120	90	60	40	20	1,4	1,1	1,1	0,9	5	5	5	10	4	4	5	10	5,5	5,5	5	20
2	1,6	200	300	100	80	60	40	1,6	1,4	1,1	0,9	10	7	7	6	6	6	5	6	8	6,5	7	15
3	1,6	150	160	100	70	40	30	1,4	1,1	0,9	0,9	5	6	6	5	5	5	4	5	5	4,5	7	18
4	1,4	110	170	80	40	20	10	1,4	1,1	0,9	0,9	5	8	12	20	4	6	10	20	5,5	7	7	40
5	1,4	80	120	80	60	30	16	1,1	1,1	0,9	0,9	5	5	5	8	4	4	4	8	5,5	5,5	5,5	20
6	1,4	90	110	70	40	30	20	1,1	1,1	1,1	0,9	5	5	5	5	4	4	4	5	6,5	6,5	5,5	20
7	1,7	450	320	150	100	50	30	1,4	1,4	1,1	0,9	9	8	7	6	7	6	5	6	5	5	7	20
8	1,7	300	180	100	80	60	40	1,4	1,1	1,1	1,1	9	7	6	5	6	5	4	5	4,5	5	5	10
9	1,9	200	200	100	60	50	30	1,4	1,1	1,1	0,9	6	6	6	6	5	5	5	6	7,5	5,5	6,5	20
10	1,9	330	200	110	70	50	26	1,4	1,1	1,1	0,9	9	9	7	10	8	6	5	10	6,5	8,5	7	25
11	1,7	240	180	80	60	40	20	1,4	1,1	1,1	0,9	9	8	8	5	7	7	4	5	7	8,5	14	20
12	1,4	400	300	200	100	80	50	1,4	1,4	1,4	1,1	6	10	7	6	5	6	5	6	8,5	16	13	10
13	1,1	40	160	40	30	20	16	1,1	0,9	0,9	0,9	14	11	14	13	12	9	12	13	7	10	17	40
14	1,4	50	170	50	40	30	20	1,1	1,1	0,9	0,9	14	11	14	13	12	9	12	13	5	10	15	30
15	1,1	44	150	44	40	34	16	1,1	1,1	1,1	0,9	16	13	10	7	14	11	8	7	7	8	13	40
16	1,4	55	170	50	46	32	16	1,1	1,1	1,1	0,9	16	15	12	8	14	13	10	8	7	10	11	36
17	1,4	65	150	60	50	38	20	1,1	1,1	0,9	0,9	14	11	8	7	10	9	6	7	16	7	8	30
18	1,4	60	140	50	44	28	16	1,1	1,1	0,9	0,9	16	11	8	7	12	9	6	7	16	8	9	34
19	1,6	120	180	80	60	40	30	1,4	1,1	1,1	0,9	5	5	5	5	4	4	4	5	6,5	5,5	7,5	24
20	1,7	600	400	200	150	100	60	1,7	1,4	1,4	1,4	9	8	7	6	7	6	5	6	5	5	7	10

Примечание. При расчёте среднего взвешенного значения посадочного коэффициента обратите внимание на соединение сетной части с канатной.

Вопросы для самопроверки

5. Опишите входные данные, используемые в расчёте силовых и геометрических характеристик трала.
6. Опишите метод последовательного приближения в определении безразмерных сил траловой оболочки.
7. С каких соображений выбираются значения безразмерного показателя горизонтального раскрытия устья трала?
8. Как необходимо разбить диапазон скорости траления трала, чтобы точность в определении вертикального раскрытия не выходила за рамки 10 %?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Значения плотности ρ (кг/м³) для морской воды

Температура воды t°, C	Солёность воды $^{\circ}/_{\infty}$							
	5	10	15	20	25	30	35	40
5	1024	1027	1031	1036	1040	1043	1047	1050
10	1023	1026	1030	1035	1039	1042	1046	1049
15	1022	1025	1029	1034	1038	1041	1045	1048
20	1021	1024	1028	1033	1037	1040	1044	1047
25	1020	1023	1027	1032	1036	1039	1043	1046
30	1019	1022	1026	1031	1035	1038	1042	1045

Таблица П.2

Значения кинематического коэффициента вязкости
 $\nu \cdot 10^{-6}$ (м² · с⁻¹) для морской воды

Температура воды t°, C	Солёность воды $^{\circ}/_{\infty}$							
	5	10	15	20	25	30	35	40
0	1,82	1,83	1,85	1,86	1,87	1,88	1,89	1,91
1	1,74	1,76	1,77	1,78	1,79	1,81	1,82	1,83
2	1,68	1,70	1,71	1,73	1,74	1,75	1,76	1,78
3	1,63	1,65	1,66	1,67	1,68	1,70	1,71	1,72
5	1,54	1,55	1,57	1,58	1,59	1,60	1,62	1,63
10	1,33	1,34	1,35	1,36	1,38	1,39	1,40	1,41

15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24
20	1,02	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,10
25	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
30	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88

Таблица П.3

Значения коэффициента трения для некоторых пар тел в воде

Материал	Коэффициент трения	
	гравий с песком	мелкий песок
Чугун, железо	0,47	0,61
Дерево (ель)	0,51	0,73
Камень (гранит)	0,54	0,70
Свинец	0,44	0,53
Мешки с песком	0,63	0,76
Канат растительный	0,70	0,80

Таблица П.4

Основные элементы цепной линии и параболы

Элементы цепной линии					Элементы параболы				
$\frac{L}{S}$	$\frac{f}{S}$	$\frac{L}{f}$	$tg\alpha$	α	$\frac{L}{S}$	$\frac{f}{S}$	$\frac{L}{f}$	$tg\alpha$	α

1,00	0,00	-	0,00	0	1,00	0,00	-	0,00	0
0,95	0,14	7	0,59	31	0,95	0,14	6,8	0,59	31
0,90	0,19	5	0,89	42	0,90	0,19	4,7	0,85	39
0,85	0,24	3,5	1,18	50	0,85	0,24	3,5	1,14	48
0,80	0,27	3,0	1,47	56	0,80	0,27	3,0	1,33	54
0,75	0,29	2,6	1,80	61	0,75	0,30	2,5	1,60	58
0,70	0,32	2,2	2,16	65	0,70	0,33	2,1	1,90	61
0,65	0,34	1,9	2,58	69	0,65	0,35	1,8	2,20	65
0,60	0,36	1,7	3,06	72	0,60	0,37	1,6	2,50	68
0,55	0,38	1,5	3,6	74	0,55	0,39	1,4	2,86	70
0,50	0,40	1,3	4,3	77	0,50	0,41	1,2	3,33	73
0,45	0,41	1,1	5,2	79	0,45	0,42	1,1	3,8	75
0,40	0,43	0,93	6,4	81	0,40	0,44	0,91	4,4	77
0,35	0,44	0,80	7,9	83	0,35	0,45	0,78	5,2	79
0,30	0,45	0,67	10	84	0,30	0,46	0,65	6,2	81
0,25	0,46	0,54	13	86	0,25	0,47	0,53	7,6	82
0,20	0,47	0,42	18	87	0,20	0,48	0,42	9,6	84
0,15	0,48	0,31	26	88					
0,10	0,49	0,20	45	89					
0,05	0,50	0,10	107	-					

Таблица П.5

Значения гидродинамических характеристик траловых
досок конструкции Зюберкрюба ($\lambda = 2$)

Угол атаки таловой доски, град.	Гидродинамический коэффициент	Гидродинамический коэффициент	Гидродинамическое качество
5	0,14	0,42	3,0
10	0,20	0,74	3,7
15	0,29	1,02	3,5
17,5	0,34	1,15	3,4
20	0,40	1,25	3,1
22,5	0,46	1,33	2,9
25	0,50	1,35	2,7
30	0,56	1,33	2,4
35	0,60	1,26	2,1
37,5	0,70	1,12	1,6
40	0,89	0,95	1,2

Значения гидродинамических характеристик прямоугольных
V-образных траловых досок ($\lambda = 0,6$)

Угол атаки таловой доски, град.	Гидродинамический коэффициент	Гидродинамический коэффициент	Гидродинамическое качество
5	0,06	0,11	1,8
10	0,07	0,21	3,0
15	0,12	0,40	3,3
17,5	0,18	0,51	3,2
20	0,20	0,60	3,0
22,5	0,25	0,62	2,5
25	0,30	0,70	2,3
30	0,50	0,80	1,6
35	0,60	0,85	1,4
37,5	0,70	0,90	1,3
40	0,83	0,93	1,1

Литература

1. Войниканис-Мирский, В. П. Рыболовные материалы, сетные и такелажные работы / В. П. Войниканис-Мирский/ – Москва: Агропромиздат, 1985. – 183 с.
2. Кондратьев, В. П. Проходимость донных тралов/ В. П. Кондратьев, С. Ф. Лисовский. – Москва: Пищ. пром-сть, 1978. - 111 с.
3. Очков, В. Ф. Mathcad 7 Pro / В. Ф. Очков. – Москва: Компьютер пресс, 1998. - 380 с.
4. Фридман, А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства/ А. Л. Фридман. - Москва: Лёгк. и пищ. пром-сть, 1981.
5. Розенштейн, М. М. Механика орудий рыболовства. Гриф УМО/ М. М. Розенштейн, А. А. Недоступ. – Москва: Моркнига, 2011. - 528 с.
6. Альбом тралов.

Локальный электронный методический материал

Александр Алексеевич Недоступ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРУДИЙ РЫБОЛОВСТВА

Редактор Г.А. Смирнова

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 3,75

Издательство федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Калининградский государственный технический университет».

236022, Калининград, Советский проспект, 1