

УДК 639.2.065

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛНОТЫ УСТЬЯ ТРАЛА

М. М. Розенштейн

Площадь устья является одним из основных параметров трала, характеризующих его производительность. Определяется площадь устья следующим выражением:

$$F = \alpha l H, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — коэффициент полноты устья трала, характеризующий отношение площади устья к площади прямоугольника, образованного вертикальным и горизонтальным раскрытием трала;

$l$  — горизонтальное раскрытие,  $m$  (расстояние между клячевками или деталями, их заменяющими);

$H$  — вертикальное раскрытие,  $m$ .

При проведении технических испытаний тралов, где определяются их основные характеристики, горизонтальное и вертикальное раскрытие обычно измеряется с помощью соответствующих приборов. Однако коэффициент  $\alpha$  непосредственно измерить не представляется возможным. Поэтому, считая, что  $\alpha$  имеет близкие значения для всех донных тралов, площадь устья принимают равной произведению горизонтального и вертикального раскрытия. Для того чтобы ответить на вопрос, насколько правомерен такой подход в определении величины  $F$  и какая при этом допускается погрешность, необходимо найти метод определения величины  $\alpha$  для различных конструкций тралов.

Кроме того, представляется важным определить характер зависимости  $\alpha$  от скорости траления. Если величина  $\alpha$  не зависит от скорости, то при изучении характера изменения площади устья трала от скорости траления и связанном с этим определении площади устья значением  $\alpha$  можно пренебречь. В этом случае представление площади устья в виде произведения горизонтального и вертикального раскрытия не внесет никаких погрешностей в характер зависимости значения  $F$  от скорости.

Для решения поставленных выше вопросов попытаемся найти аналитическое выражение, связывающее коэффициент полноты устья с другими параметрами донного трала.

Площадь устья  $F$  — это площадь проекции трала на вертикальную плоскость. Она образуется проекциями на вертикальную плоскость

верхней подборы трала, проекциями клячевок и следом горизонтальной плоскости (рис. 1).

Всю площадь проекции  $F$  можно разбить на две ее составляющие  $F_1$  и  $F_2$ . При этом

$$F_1 = l h, \quad (2)$$

где  $h$  — высота клячевки (полагая, что она проектируется на вертикальную плоскость в полную высоту).

$$F_2 = l(H - h) - F', \quad (3)$$

где  $F'$  — площадь, ограниченная проекцией верхней подборы на вертикальную плоскость и осью абсцисс на длине  $\left(-\frac{l}{2}\right) \div \left(+\frac{l}{2}\right)$  (см. рис. 1).

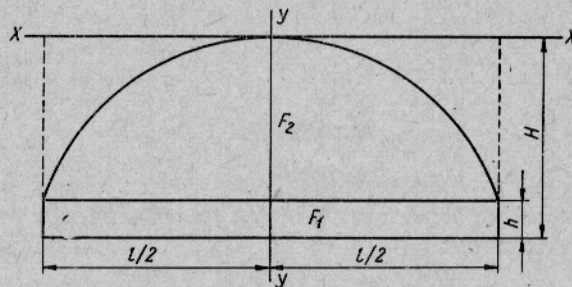


Рис. 1. Площадь устья донного трала.

Так как  $F = F_1 + F_2$ , то, решив выражение (1) относительно  $\alpha$  и заменив  $F$  его значением, будем иметь

$$\alpha = \frac{lH - F'}{lH} = 1 - \frac{F'}{lH}. \quad (4)$$

Площадь  $F'$  можно определить аналитически, если известно аналитическое выражение кривой — вертикальной проекции верхней подборы трала.

В указанной на рис. 1 системе координат при получении в явном виде  $y = f(x)$  площадь  $F'$  найдется как

$$F' = 2 \int_0^{l/2} y dx.$$

Форма проекции верхней подборы на вертикальную плоскость, естественно, зависит от той формы, которую имеет верхняя подбора донного трала в процессе траления. В связи с этим в первую очередь необходимо решить следующие вопросы:

- 1) представляет ли собой верхняя подбора пространственную или плоскую кривую;
- 2) какова форма этой кривой.

Для решения этих вопросов целесообразно несколько схематизировать задачу, заменив физическую картину движения в воде верхней подборы трала с оснасткой некоторой находящейся в равновесии системой, состоящей из гибкой нити, закрепленной в двух точках и нагруженной тремя группами сил. Первая группа сил возникает в результате

действия составляющей  $r_1$ , собственного сопротивления подборы в потоке воды  $R_1$  (рис. 2). Как известно, эти силы равномерно распределены по хорде подборы, и если бы только эта группа сил была приложена к подборе трала, то последняя под их действием должна была бы принять форму параболы, расположенной в одной плоскости.

Вторая группа сил представляет собой составляющие  $r_2$  реакции сетного полотна  $R_2$ , приложенные к верхней подборе трала и возникающие в результате сопротивления сетного полотна в воде. При проектировании и последующем изготовлении трала стремятся к тому, чтобы реакция сетного полотна равномерно распределялась по подборе. Это достигается соответствующим расчетом цикла кройки и посадки сетного полотна [1]. В практике эксплуатации тралов известны, однако, случаи перегрузки сетного полотна в районе гужа, с чем связана постановка различных подкрепляющих «косынок» из более толстой дели. Для выяснения причин возникновения этих перегрузок необходимо в каждом конкретном случае рассмотреть конструкцию трала, его расчет и технологию постройки.

Тогда, видимо, перегрузка дели в большинстве случаев будет объясняться наличием ошибок в расчете или постройке трала.

В общем же случае следует, по-видимому, считать, что стремление конструкторов достигает цели и в реальных условиях реакция сетного полотна равномерно распределяется по длине верхней подборе трала. Тогда под действием только этой системы равномерно распределенных сил верхняя подборка должна принять форму цепной линии, также расположенной в одной плоскости.

Третья группа сил  $r_3$  представляет собой реакции в точках крепления кухтылей на верхней подборе.

В практике эксплуатации донных тралов применяются различные схемы распределения кухтылей по верхней подборе трала, но наиболее часто встречающимися являются две схемы. Первая — равномерное распределение кухтылей по длине верхней подборе. В этом случае в результате действия равномерно распределенных реакций по длине подборе последняя должна принять форму цепной линии. Вторая схема обеспечивает постепенное увеличение плавучести по мере приближения к центру подборе. Для такой схемы распределение реакций должно быть близко к равномерному распределению по хорде, и подборка должна принять форму параболы.

Кроме того, возможны, конечно, и некоторые другие, совершенно отличные от описанных схемы оснастки верхней подборе трала.

Как крайний случай, может быть рассмотрена такая оснастка, для которой реакции представляются дискретно приложенными в нескольких точках силами. Под действием этих сил верхняя подборка может существенно изменить свою форму и даже представить собой простран-

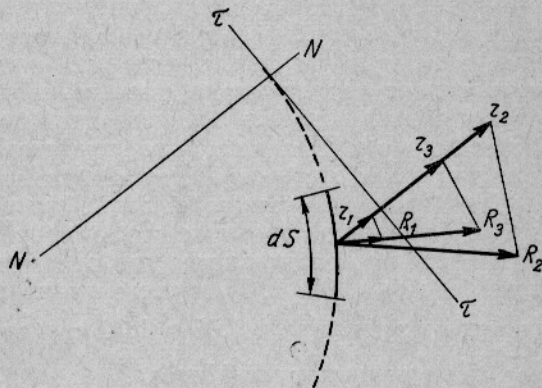


Рис. 2. Схема сил, действующих на элемент верхней подборе трала в процессе траления.

ственную кривую. Однако для донного трала (в отличие от придонного или разноглубинного) такие схемы не являются типичными.

Из анализа действия на подбору перечисленных трех групп сил можно заключить, что первая группа сил не может явиться определяющей для формы подбора, поскольку силы сопротивления подбора значительно меньше сил сопротивления сетного полотна и кухтылей трала. Следовательно, форма верхней подбора трала определяется совместным действием двух последних групп сил.

Тогда из сказанного можно сделать следующий основной вывод: в процессе буксировки трала верхняя подбора его представляет собой плоскую кривую, близкую к цепной линии, если плавучесть распределена равномерно по длине подбора, или к параболе, если плавучесть распределена неравномерно, постепенно увеличиваясь к гужу.

Естественно, что проекция верхней подбора на вертикальную плоскость также в этом случае будет представлять собой цепную линию или параболу, только с соответствующими им другими параметрами.

Для проверки нашего вывода был привлечен материал продувок моделей тралов в аэродинамической трубе, выполненных сотрудниками Ленинградского политехнического института и Мурманской экспериментальной базы в 1950 г. Продувкам подвергались модели трала 34 м, выполненные в масштабе 1:15 и 1:30 с различным отношением  $\frac{d}{a}$ , и модель 35-метрового трала Михова.

Мы использовали материалы продувок модели трала 34 м, выполненной в масштабе 1:15, и трала Михова 35 м.

Анализ экспериментальных данных показывает, что для обеих моделей различных скоростей траления, параметров трала, величин загрузок верхней подбора трала и большинства способов распределения плавучести верхняя подбора трала представляет собой плоскую кривую (рис. 3). Исключение составляют те случаи, когда плавучесть распределена по верхней подборе дискретно в нескольких точках.

Для определения формы проекции верхней подбора на вертикальную плоскость экспериментальные данные были обработаны соответствующим образом, в результате чего были получены координаты проекций верхней подбора на вертикальную плоскость ( $x$  и  $y$ ). Пользуясь значениями координат, построим кривые, соответствующие проекциям подбора (см. рис. 4).

Аналитические выражения для кривых искали в виде цепной линии ( $y = p \operatorname{ch} \frac{x}{p} - p$ ) и параболы ( $y = \frac{x^2}{2p}$ ). Параметр  $p$  для цепной линии находили из уравнения

$$p = \frac{S^2}{2y_k} - \frac{y_k}{2},$$

где  $S$  — длина кривой, мм;

$y_k$  — значение максимальной ординаты, мм.

Параметр  $p$  для параболы определяли из уравнения

$$p = \frac{2x_k^2}{y_k},$$

где  $x_k$  — значение максимальной абсциссы, мм.

Полученные результаты представлены в виде соответствующих кривых на рис. 4.

Из анализа полученных данных следует, что проекция верхней подбора на вертикальную плоскость весьма близка по форме цепной линии

и параболе, причем при более равномерном распределении плавучести по верхней подборе проекция ближе по форме к цепной линии, при неравномерном распределении — к параболе.

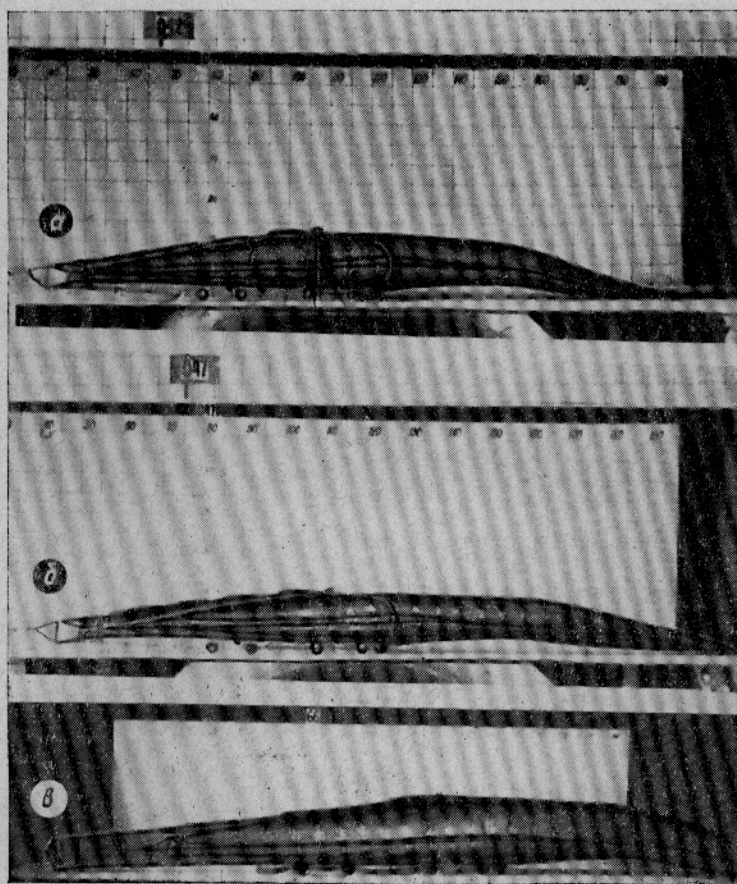


Рис. 3. Фотография модели трала, продуваемого в аэродинамической трубе.

Проведенная математическая оценка сходимости полученных результатов для всех серий кривых также показала хорошее соответствие экспериментальных кривых теоретическим.

Так, например, для серии кривых на рис. 4, а были получены следующие результаты: среднее квадратичное отклонение ординаты проекции от средней ординаты цепной линии составило  $\sigma_{\text{ср}}=0,26$ , среднее квадратичное отклонение ординаты проекции от средней ординаты параболы составило  $\sigma_{\text{ср}}=0,3$ .

Полученные данные позволяют оценить величину коэффициента полноты устья трала  $\alpha$ .

Если принять, что проекция верхней подборки трала на вертикальную плоскость представляет собой цепную линию, то величина  $F'$  может быть найдена согласно выражению

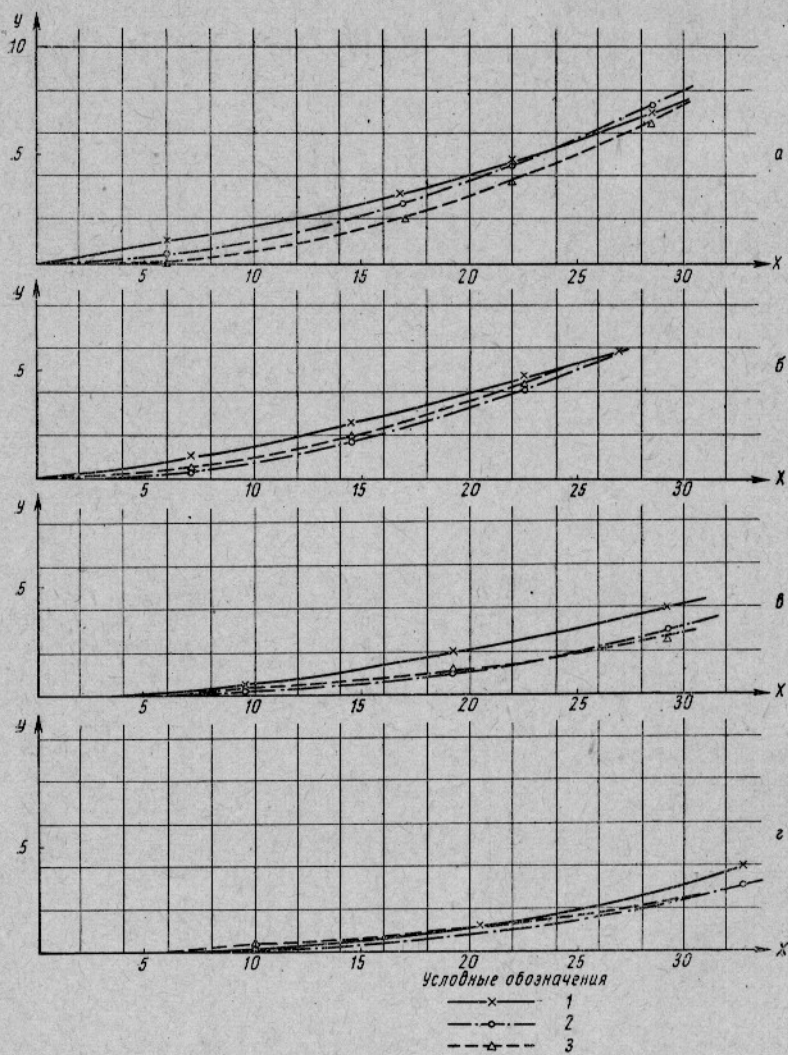


Рис. 4. Форма вертикальной проекции верхней подборы модели траля 35 м:

1 — форма проекции по данным опыта; 2 — теоретическая форма проекции, соответствующая цепной линии; 3 — теоретическая форма проекции, соответствующая параболе:

а — скорость продувки 17,3 м/сек, плавучесть распределена равномерно по подборе; б — скорость продувки 24,0 м/сек, распределение плавучести неравномерное с увеличением в средней части; в — скорость продувки 24,3 м/сек, плавучесть распределена равномерно по подборе; г — скорость продувки 11,4 м/сек, плавучесть распределена равномерно по подборе.

$$F' = 2 \int_0^{l/2} y dx = 2 \int_0^{l/2} \left( p \operatorname{ch} \frac{x}{p} - p \right) dx = 2 \left| p^2 \operatorname{sh} \frac{x}{p} - px \right|_0^{l/2}$$

Окончательно имеем

$$F' = 2p^2 \left( \operatorname{sh} \frac{l}{2p} - \frac{l}{2p} \right), \quad (5)$$

где  $p$  — параметр цепной линии, определяемый из соотношения.

$$p = \frac{S_1^2}{8m} - \frac{m}{2} = \frac{S_1^2 - 4m^2}{8m}, \quad (6)$$

где  $m = H - h$ ;  $S_1 = 2S$ .

Таким образом, подставив в выражение (4) значение  $F'$ , получим

$$\alpha = 1 - \frac{2p^2 \left( \operatorname{sh} \frac{l}{2p} - \frac{l}{2p} \right)}{lH}. \quad (7)$$

Из выражений (6) и (7) следует, что коэффициент полноты устья трала является функцией четырех переменных: горизонтального раскрытия  $l$ , вертикального раскрытия  $H$ , длины проекции  $S$ , отношения  $h$  к вертикальному раскрытию  $\left( \frac{h}{H} \right)$ , т. е.  $\alpha = f(l, H, S, \frac{h}{H})$ .

Найдя указанные под знаком функции величины путем соответствующего эксперимента, можно определить значение коэффициента полноты устья трала и проследить его изменение при различных скоростях траления.

Для этого мы использовали результаты экспериментальных работ, проведенных нами с тралами и их моделями в 1962—1964 гг. Расчет значений  $\alpha$  приведен в таблице для широкого диапазона скоростей работы трала 32/22,5 м, щиткового трала 17,7 м, модели трала 32/22,5 м, выполненной в масштабе 1:3,86, и модели трала 26,6 м, выполненной в том же масштабе.

Из анализа выражений (7) и таблицы вытекает, что если проекции верхней подборы на вертикальную плоскость представляют собой цепную линию, то коэффициент  $\alpha$  для различных тралов может меняться от 0,7 до 1. При малых значениях вертикального раскрытия  $\alpha \rightarrow 1$  при  $H \rightarrow h$ . При больших значениях вертикального раскрытия и при  $h \rightarrow 0$   $\alpha$  приближается к 0,7.

Материал таблицы позволяет также сделать вывод, что значение  $\alpha$  мало изменяется при изменении скорости траления. Так, для донных бесщитковых тралов максимальное изменение не превышает 3% от значения  $\alpha$ . Исключением является изменение  $\alpha$  при повышении скорости траления (в диапазоне малых скоростей) у щитковых тралов (в таблице — трал 17,7 м), где с ростом скорости  $\alpha$  уменьшается на 15% и более. Это объясняется тем, что в диапазоне 2,8—3,5 узла вертикальное раскрытие трала 17,7 м резко растет за счет роста подъемной силы щитка.

Если принять, что проекция верхней подборы трала на вертикальную плоскость представляет собой параболу, то будем иметь следующее.

Трал или модель	$v$ , узлы	$l$ , м	$H$ , м	$m$ , м	$\frac{l}{m}$	$\frac{l}{S}$	$S$ , м	$P$	$2\rho^2$	$\frac{l}{2\rho}$	$\text{sh} \frac{l}{2\rho}$	$lH$	$\frac{h}{H}$	$\alpha$
Трал 32/22,5 м, доски овальные площадью 2,5 м <sup>2</sup>	2,8	31,7	8,1	7,1	4,46	0,886	35,8	19,05	726	0,832	0,93	256,8	0,123	0,72
	3,3	31,7	7,4	6,4	4,95	0,898	35,3	21,1	890	0,75	0,82	234,6	0,135	0,73
	3,8	32,7	6,7	5,7	5,55	0,913	34,8	23,7	1124	0,67	0,72	212,4	0,149	0,74
Щитковый трал 17,7 м, доски прямоугольные 2,2×1,1 м	2,7	33	5,0	4,0	8,25	0,980	34,0	34,2	2340	0,485	0,5	165,0	0,200	0,86
	3,5	32	7,1	6,1	5,25	0,906	35,3	22,5	1025	0,71	0,77	227,0	0,141	0,73
	3,9	31,5	6,2	5,2	6,07	0,926	34,0	25,2	1270	0,62	0,66	195,0	0,161	0,74
Модель трала 32/22,5 м, выполненная в масштабе 1:3,86, доски прямоугольные площадью 0,24 м <sup>2</sup>	0,83	9,8	1,9	1,6	6,1	0,926	10,6	8,0	128	0,61	0,65	18,6	0,158	0,72
	0,87	9,1	2,6	2,3	3,96	0,873	10,4	4,7	44,2	0,97	1,13	23,6	0,115	0,70
	0,95	9,4	2,5	2,2	4,27	0,881	10,6	5,3	56,2	0,89	1,01	23,5	0,120	0,71
Модель трала 25,6 м, выполненная в масштабе 1:3,86, доски прямоугольные площадью 0,24 м <sup>2</sup>	0,68	8,1	2,11	1,81	4,47	0,886	9,1	1,8	46	0,84	0,94	17,1	0,142	0,73
	0,91	8,2	1,96	1,66	4,94	0,898	9,1	5,4	58,3	0,76	0,83	16,1	0,153	0,74
	1,17	7,8	1,8	1,50	5,20	0,904	8,6	5,4	58,3	0,72	0,78	14,0	0,167	0,75



Как известно, площадь, ограниченная параболой и хордой, равна  $\frac{2}{3}$  произведения хорды на стрелу прогиба. В наших обозначениях это равенство можно записать следующим образом:

$$F = \frac{2}{3} l(H - h).$$

Тогда

$$F' = l(H - h) - \frac{2}{3} l(H - h) = \frac{1}{3} l(H - h).$$

Подставив значение  $F'$  в выражение (4) и осуществив соответствующие преобразования, будем иметь

$$\alpha = 0,67 + 0,33 \frac{h}{H} \quad (8)$$

Из анализа выражения (8) вытекает, что если проекция верхней подборы на вертикальную плоскость представляет собой параболу, то значение коэффициента  $\alpha$  для различных тралов может меняться от 0,67 до 1. При малых значениях вертикального раскрытия, когда  $\frac{h}{H} \rightarrow 0$ ,  $\alpha \rightarrow 0,67$ . При больших значениях вертикального раскрытия, когда  $\frac{h}{H} \rightarrow 1$ ,  $\alpha \rightarrow 1$ .

Из выражения (7) также следует, что при изменении скорости траления коэффициент  $\alpha$  практически остается постоянным. Так, для трала 32/22,5 м при изменении скорости с 2,8 до 3,8 узла отношение  $\frac{h}{H}$  меняется с 0,12 до 0,15. Отсюда  $\alpha$  будет меняться в пределах от 0,71 до 0,72, или менее чем на 2%.

Таким образом, на основании приведенных данных с достаточной для практических целей точностью можно считать, что коэффициент  $\alpha$  не зависит от скорости траления. Отсюда при исследовании зависимости площади устья трала от скорости траления, принимая  $\alpha = \text{const}$ , площадь устья трала можно определять выражением

$$F = lH.$$

#### ВЫВОДЫ

1. В процессе буксировки верхняя подбора трала и ее проекция на вертикальную плоскость представляют собой по форме параболу или цепную линию.

2. Поскольку вертикальная проекция верхней подборы является кривой с малой стрелой прогиба (см. таблицу), для которой отличие по форме цепной линии от параболы несущественно мало, можно считать, что вертикальная проекция верхней подборы донного трала представляет собой параболу.

3. Коэффициент полноты устья донного трала может быть определен из выражения

$$\alpha = 0,67 + 0,33 \frac{h}{H}.$$

4. Значения коэффициента полноты устья для различных конструкций донных тралов зависят от отношения  $\frac{h}{H}$  и могут находиться в пределах 0,7—1 (при  $\frac{h}{H} > \frac{1}{10}$ ).

5. Коэффициент полноты устья донного трала мало меняется с изменением скорости траления, поэтому для каждой конструкции трала при практических расчетах он может быть принят за постоянную величину.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Н. И. Формула для определения циклов резки сетного полотна при кройке на криволинейные контуры. «Рыбное хозяйство», 1964, № 8.
  2. Уорсинг А. и Геффнер Д. Методы обработки экспериментальных данных. М., ИЛ, 1953.
  3. Лойцянский Л. Г., Повх И. Л., Алиев Р. З., Фридман А. Л., Севостьянов В. В. Исследование гидромеханических свойств трала. ЛПИ, Л., 1951.
-