

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАЛОВЫХ ЛЕБЕДОК

Канд. техн. наук Н. М. САБУРЕНКОВ

Главным промысловым механизмом, от которого существенно зависит успех тралового лова, является траловая лебедка.

На вооружении больших рыболовных траулеров находится более десяти типов паровых и электрических траловых лебедок. Еще большее разнообразие лебедок имеется в малом траловом флоте.

Основная причина большого разнообразия траловых лебедок заключается в том, что до настоящего времени этому важному механизму уделялось недостаточно внимания. При проектировании лебедок основные параметры и конструктивные узлы брали по аналогии с работающими.

Проектные организации подходили к созданию этого механизма без достаточного учета специфики его работы в промысловых условиях, не занимались изучением этих условий, что приводило и приводит до настоящего времени к созданию таких конструкций лебедок, которые не удовлетворяют полностью условиям промысла.

Исследованием работы траловых лебедок до сих пор занимались мало и в литературе нет сколько-нибудь полных описаний условий их эксплуатации, за исключением некоторых данных по паровым и электрическим траловым лебедкам, приведенных в отчетах ЦНИИВТа [3].

В целях определения основных расчетных параметров (тяговые усилия и скорости выборки ваеров), выявления природы и величины действующих на траловую лебедку нагрузок, а также для эксплуатационной оценки конструкций и отдельных узлов работающих траловых лебедок нами в течение 1947, 1948 и 1949 гг. были проведены испытания нескольких типов лебедок<sup>1</sup>.

### КЛАССИФИКАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРАЛОВЫХ ЛЕБЕДОК

Для того чтобы дать общую оценку многочисленным типам лебедок и разобратся в них, мы классифицировали существующие конструкции траловых лебедок. В качестве классификационных признаков были приняты следующие:

- вид используемой энергии в приводе (тип двигателя);
- тип передачи;
- количество валов;
- количество и вид турачек;
- способ включения барабанов;
- реверсивность;
- тяговое усилие;
- способ переключения скоростей;
- количество скоростей в лебедке;
- тип муфты съема мощности.

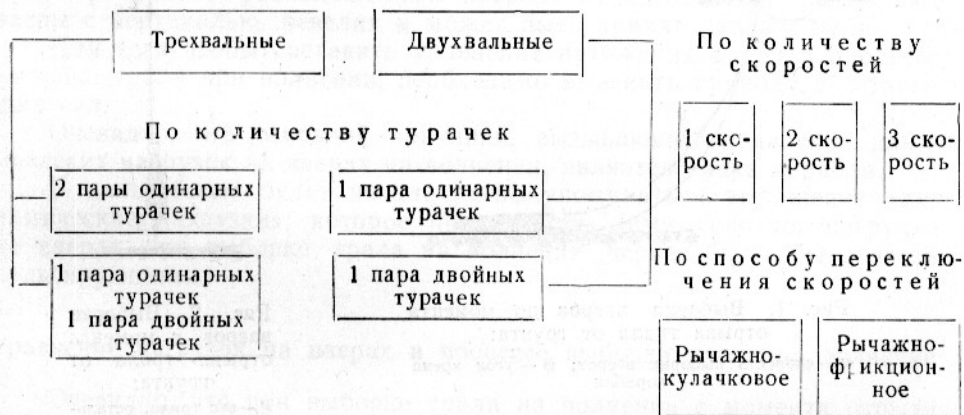
<sup>1</sup> Более подробные материалы по этому вопросу приводятся в диссертационной работе автора «Траловая лебедка и природа нагрузок на нее».

## Классификация траловых лебедок

### По роду двигателя



### По количеству валов



### По способу включения барабанов



### По тяговому усилию

Большие 7—8 т Тралы 39; 34; 31	Средние 3—4 т 25; 20,4	Малые 0,8—2,5 т 9; 12; 15; 18; 20
-----------------------------------	---------------------------	--------------------------------------

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА ВАЕРАХ В ПРОЦЕССЕ ВЫБОРКИ ТРАЛА ПРИ ВОЛНЕНИИ

### Постановка задачи

Чтобы наметить схему задачи, мы должны ясно представить физическую сторону исследуемого явления и разобраться в сопутствующих этому явлению факторах, которые пока не поддаются учету и усложняют общую картину. С этой целью обратимся к процессу лова тралом и выделим из него подлежащий исследованию участок работы.

Известно, что техника работы с тралом состоит из следующих операций:

- подготовка к работе с тралом;
- спуск трала;
- подготовка к приему улова;
- траление;
- выборка трала.

Так как нашей задачей является определение нагрузок на ваерах в процессе работы траловой лебедки, то остановимся на наиболее необходимой операции — выборке трала.

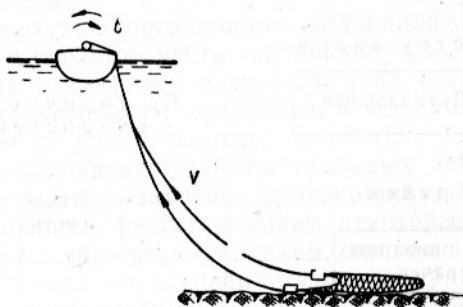


Рис. 1. Выборка ваеров до момента отрыва трала от грунта:

$v$  — скорость выборки ваеров;  $\theta$  — угол крена корабля

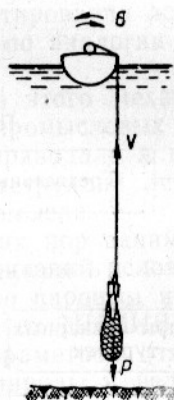


Рис. 2. Выборка ваеров с момента отрыва трала от грунта:

$P$  — вес трала, остальные обозначения те же, что на рис. 1

Схема выборки трала состоит, как известно, в следующем: к концу траления судно ставит кормой к ветру, готовят лебедку, уменьшают ход и при помощи руля отводят ваеры от борта. Затем стопорят главную машину, отдают ваеры со стопора и начинают выбирать их на лебедку. Трал, как правило, выбирают с наветренного борта.

Выборка ваеров заканчивается с момента подхода траловых досок к траловым дугам. Затем доски отсоединяют от ваера и после циркуляции, которую производят с целью загона рыбы в куток, выбирают кабели до прихода кляченок к траловым дугам. Далее начинают грузовые операции по подъему сетной части трала с рыбой на палубу.

Исходя из описанного порядка подъема трала, расчетную схему по определению нагрузок на ваерах можно представить в следующем виде.

Судно стоит с застопоренной машиной лагом к волне и качается на волнах. На судне работает лебедка и выбирает ваеры с наветренного борта с некоторой скоростью.

Эта схема в свою очередь может быть разделена на две:

- 1) выборка ваеров до момента отрыва трала от грунта (рис. 1);
- 2) выборка ваеров с момента отрыва трала от грунта (рис. 2).

Задача определения нагрузок на ваерах в процессе выборки трала до момента отрыва трала от грунта очень сложна и требует многих данных, которые практически получить пока невозможно. Очевидно, в этом случае необходимо знать коэффициент трения трала вместе с уловом о грунт дна, характер поведения досок при выборке трала, форму кривой, по которой провисает ваер в процессе его выборки, степень амортизации ваером рывков, возникающих вследствие качки судна, величину относительного сближения трала и судна в процессе выборки и т. д.

Все эти вопросы требуют больших экспериментальных работ и вряд ли могут быть разрешены при натуральных испытаниях.

При выборе расчетной схемы для определения нагрузок на ваерах в процессе выборки трала необходимо учитывать максимальные нагрузки. Подходя к оценке двух выбранных схем с этой точки зрения, надо отдать предпочтение второй схеме, так как здесь вес трала с оснасткой и уловом полностью входит в натяжение ваера.

Спротивление траловых досок также намного больше по сравнению с первой схемой вследствие изменения угла атаки досок. Это проверено нами экспериментально. Максимальные нагрузки на ваерах получились в момент отрыва трала от грунта.

Итак, задачу определения нагрузок на ваерах в процессе выборки трала мы сводим к определению возможных максимальных нагрузок при вертикально расположенных ваерах. Угол, который составляют ваеры с вертикалью, невелик и может быть принят равным нулю.

Для того чтобы составить уравнение натяжения ваера в процессе выборки трала при волнении, необходимо выяснить природу действующих сил.

Очевидно, что основной причиной, вызывающей появление динамических нагрузок на ваерах на волнении, является качка корабля.

В дальнейшем будет неоднократно упоминаться выражение «динамические нагрузки», которое принимается нами условно; нагрузки на ваерах при выборке трала на волнении вернее было бы назвать пульсирующими.

### **Уравнение нагрузок на ваерах в процессе выборки трала на волнении**

Очевидно, что при выборке трала на волнении с момента отрыва трала от грунта нагрузка на ваерах будет складываться из нагрузок, действующих на спокойной воде, и нагрузок, являющихся следствием качки корабля.

Как известно из теории качки корабля, абсолютные координаты верхнего конца ваера на регулярном волнении изменяются по периодическому закону.

Под абсолютными мы будем понимать координаты, относящиеся к «неподвижной» системе координат, связанной с землей (с морским дном). Изменением горизонтальной ординаты верхнего конца ваера ввиду ее малой величины будем пренебрегать, а изменение вертикальной ординаты примем происходящим по простейшему периодическому закону косинуса; за начало неподвижной системы координат будем считать центр колебания верхнего конца ваера.

При составлении дифференциального уравнения движения верхнего конца ваера будем рассматривать трал как материальную точку.

Рассмотрим природу действующих сил при выборке трала на волнении и выразим их аналитически.

Силы, действующие на ваерах при выборке трала на спокойной воде. Сила веса  $P$ . В эту силу войдет вес трала, досок, ваеров и улова в воде.

Обозначим:  $P_1$  — вес трала с вооружением и уловом (в воде);  
 $P_2$  — вес траловых досок (в воде);  
 $P_3$  — вес ваеров (в воде).

Общая сила веса  $P = P_1 + P_2 + P_3$ . По мере выбирания ваеров эта сила будет уменьшаться на величину веса выбранных ваеров.

Величину уменьшения веса ваеров по истечении времени  $t$  с момента отрыва траловых досок от грунта можно выразить формулой

$$\Delta P_t = vtq,$$

где:  $v$  — скорость выбирания ваеров в  $м/сек$ ;  
 $q$  — вес 1 *пог. м* ваера в воде.

В дальнейшем собственный вес ваера будем относить непосредственно к весу трала.

Сила сопротивления жидкости. Эта сила будет состоять из сопротивления жидкости движению трала с уловом, сопротивления траловых досок и ваеров.

Известно, что сопротивление, испытываемое телом, движущимся со скоростью  $v$  в неподвижной жидкости, может быть в общем виде выражено формулой

$$R = k_0 F v^n,$$

где:  $R$  — сопротивление в  $кг$ ;  
 $k_0 = 100k$  — коэффициент сопротивления, характеризующий условия движения (величина его зависит от формы тела и величины числа Рейнольдса);  
 $F$  — площадь сопротивления тела в  $м^2$ ;  
 $v$  — скорость в  $м/сек$ ;  
 $n$  — показатель степени.

В нашем случае эту формулу мы можем отнести к суммарному сопротивлению, которое является следствием движения трала, траловых досок и ваеров при выборке последних с некоторой скоростью.

Тогда в формуле  $R = k_0 F v^n$  отдельные члены будут означать следующее:

$R = R_1 + R_2 + R_3$  — суммарное сопротивление,

где:  $R_1$  — сопротивление отаклаженной сетной части трала с уловом;

$R_2$  — сопротивление траловых досок;

$R_3$  — сопротивление ваеров и кабелей;

$k_0 = k_{01} + k_{02} + k_{03}$  — суммарный коэффициент сопротивления, учитывающий особенности формы тела и условия его движения;

где:  $k_{01}$ ,  $k_{02}$ ,  $k_{03}$  — коэффициенты сопротивления, относящиеся соответственно к тралу с уловом, траловым доскам и ваерам;

$F = F_1 + F_2 + F_3$  — суммарная площадь сопротивления;

где:  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  — площади сопротивления тех же тел;

$v$  — скорость выбирания ваеров в  $м/сек$ .

Пользоваться приведенной формулой для простых геометрических тел (шара, цилиндра, пластинки и др.) не представляет большого труда. Коэффициенты сопротивления этих тел подробно изучены и про-

верены многочисленными опытами. Применение формулы в нашем случае, когда форма тела и условия его движения остаются для нас малоизвестными, крайне затруднительно. Это относится в первую очередь к сетной части трала.

Для решения нашей задачи необходимо определить сопротивление трала в процессе выборки ваеров и выяснить характер зависимости этого сопротивления от скорости выборки.

Определить опытным путем величины  $k_0$  и  $R$  для различных частей трала крайне затруднительно. Из опыта по измеренным  $R$  и  $v$  можем получить лишь произведение величины суммарного коэффициента сопротивления на общую площадь сопротивления  $k_0 F$ , которое назовем агрегатным коэффициентом сопротивления.

Инерционные силы от ускорения верхних концов ваеров при качке судна при  $v=0$ . Уравнение качки верхних концов ваеров (точки около подвижных роликов траловых дуг), как следует из теории качки судна на регулярном волнении, можно записать так

$$L = A \cos \sigma t.$$

Тогда скорость и ускорение верхних концов выразятся через первую и вторую производные от  $L$  по времени  $t$ . В результате получим скорость

$$\frac{dL}{dt} = -A\sigma \sin \sigma t,$$

ускорение

$$\frac{d^2L}{dt^2} = -A\sigma^2 \cos \sigma t.$$

Масса, которая будет двигаться с подобным ускорением, будет состоять из массы трала с вооружением, траловых досок и ваеров. При этом очевидно, что при определении массы надо брать вес тела в мокром виде с впитавшейся в него водой.

Кроме основной массы, при ускоренном движении, каким является движение верхних концов ваеров (следовательно, и самого трала), необходимо учитывать действие «присоединенной» или «виртуальной» массы.

Для ряда тел простых геометрических форм, движущихся в идеальной жидкости, гидромеханика дает аналитические способы получения величины присоединенной массы. Решения таких задач даны, например, для шара, эллипсоида вращения, цилиндра бесконечного размера с различной формой сечений.

Определить величину присоединенной массы для трала каким-либо аналитическим путем вследствие сложности, неопределенности и изменчивости формы трала не представляется возможным. Уподобить же трал какой-либо простой фигуре, например эллипсу или шару, нет никаких оснований. Поэтому для вычисления его присоединенной массы нам придется прибегнуть к косвенному способу (об этом будет сказано при обработке экспериментальных данных).

Таким образом, в общем виде величину инерционной силы трала с уловом, досками и ваерами при качке корабля и положении трала на «панере» можно написать так

$$(M + \Delta M) A \sigma^2 \cos \sigma t.$$

При этом необходимо помнить, что величина инерционной силы  $M A \sigma^2 \cos \sigma t$  будет уменьшаться при выборке на величину, соответствующую инерционной силе выбранных ваеров, которой мы будем пренебречь (помня, что вес ваеров нами отнесен к весу трала).

Для уяснения знака и характера силы  $(M + \Delta M)A\sigma^2 \cos \sigma t$  построим график колебаний, скорости и ускорения верхних концов ваеров при совместном действии вертикальной и бортовой качки (рис. 3).

Как видно из графика, колебания, скорость и ускорение верхних концов ваеров сдвинуты относительно друг друга на  $90^\circ$ . Если за положительное направление принять движение борта вниз, то инерционная сила  $(M + \Delta M)A\sigma^2 \cos \sigma t$  в первой и четвертой четвертях (от  $\sigma t = 0^\circ$  до  $\sigma t = 90^\circ$  и от  $\sigma t = 270^\circ$  до  $\sigma t = 360^\circ$ ) будет иметь отрицательный знак, т. е. будет направлена вверх, а во второй и третьей четвертях (от  $\sigma t = 90^\circ$  до  $\sigma t = 180^\circ$  и от  $\sigma t = 180^\circ$  до  $\sigma t = 270^\circ$ ) — положительный, т. е. будет направлена вниз.

Таким образом, если трал колеблется в унисон с колебаниями верхних концов ваеров, инерционная сила  $(M + \Delta M)A\sigma^2 \cos \sigma t$  будет иметь знак, противоположный направлению движения верхних концов ваеров.

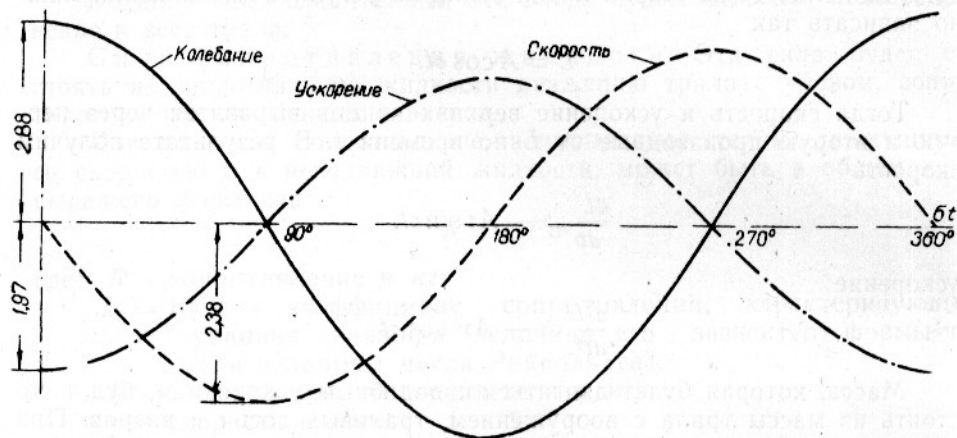


Рис. 3. График колебаний, скорости и ускорения концов ваеров у траловых дуг при совместном действии вертикальной и бортовой качки.

Сила сопротивления трала с оснасткой, возникающая под влиянием скорости перемещения верхних концов ваеров при качке корабля. Принимая тот же закон сопротивления, что и при спокойной воде, силу сопротивления трала с оснасткой можно написать в виде

$$k_0 F (v - A\sigma \sin \sigma t)^n,$$

где:  $k_0 F$  — агрегатный коэффициент сопротивления;

$v$  — скорость верхних концов ваеров при качке корабля;

$n$  — показатель степени.

Для установления знака сопротивления  $k_0 F (A\sigma \sin \sigma t)^n$  обратимся к графику (см. рис. 3). Из графика устанавливаем, что если за положительное направление принять движение борта вниз, то сила скоростного сопротивления  $k_0 F (A\sigma \sin \sigma t)^n$  в первой и второй четвертях будет отрицательной, т. е. будет направлена вверх, а в третьей и четвертой четвертях — положительной, т. е. направлена вниз.

Таким образом, в процессе выборки трала на волнении на него действуют следующие силы:

$P$  — сила веса трала с оснасткой и уловом;

$(M + \Delta M)A\sigma^2 \cos \sigma t$  — инерционная сила, являющаяся результатом ускоренного движения трала при качке корабля;

$k_0 F (v - A\sigma \sin \sigma t)^n$  — скоростное сопротивление, являющееся результатом движения трала со скоростью, равной алгебраической сумме

скорости выборки трала лебедкой и скорости движения верхних концов ваеров при качке корабля. Пренебрегая изменением веса ваеров при выборке и относя его к весу трала, уравнение нагрузок на ваерах в процессе выборки трала на спокойной воде можно записать так

$$T' = P + k_0 F v^n.$$

Уравнение динамических (или пульсирующих) нагрузок на ваерах от действия качки корабля при условии  $v=0$  будет иметь вид

$$T'' = -(M + \Delta M) A \sigma^2 \cos \sigma t + k_0 F (v - A \sigma \sin \sigma t)^n.$$

Тогда общее уравнение нагрузок на ваерах в процессе выборки трала на волнении в положении трала на «панере» может быть написано в следующем виде:

$$T = T' + T'' = P - (M + \Delta M) A \sigma^2 \cos \sigma t + k_0 F (v - A \sigma \sin \sigma t)^n.$$

Перейдем к анализу выведенного уравнения.

Прежде всего необходимо отметить, что полученное уравнение является приближенным. Оно характеризует и учитывает лишь основные силы, составляющие нагрузку на ваеры в процессе выборки трала на волнении, и не учитывает сопутствующих им дополнительных нагрузок, величину которых мы еще не можем выразить аналитически.

Разберемся в природе возможных дополнительных нагрузок и сделанных допущениях.

При выводе основного уравнения качки корабля исходили из условия установившегося волнения, т. е. вывод уравнения был сделан применительно к условию мертвой зыби. Применение его в условиях обычного волнения, когда период и форма волны не являются постоянными, приводит к погрешности.

Формула получена в предположении полного совпадения по времени колебания верхних концов ваеров и трала.

В действительности картина много сложнее, так как трал вместе с рыбой при некоторых скоростях качки отстает в своем движении от движения верхних концов ваеров (трал некоторое время как бы находится во взвешенном состоянии); в унисон с опусканием борта будут двигаться траловые доски, бобинцы и ваеры.

Картина и дальше усложняется. В то время как из формулы выключается член скоростного сопротивления от качки корабля  $k_0 F (v - A \sigma \sin \sigma t)^n$  из-за скорости качки в верхней и нижней точках, близких к нулю, нагрузка на ваерах падает, лебедка повышает число оборотов (паровые и электрические со схемой В Леонардо), в результате чего происходит увеличение скорости выборки ваеров, а следовательно, возрастает и сопротивление трала.

Изменение числа оборотов лебедки вследствие нерегулярности волнения происходит также по довольно сложному закону. В результате мы имеем дело с наложением нескольких неправильных нагрузок, от чего диаграмма, а следовательно, и формула нагрузок будет более сложной.

Уравнением не учитывается угол атаки досок (т. е. в данном случае угол между плоскостью доски и ваером), который меняется при изменении скорости движения ваеров.

Уравнением не учитываются дополнительные нагрузки, возникающие вследствие дрейфа судна в процессе выборки трала.

При выводе формулы вес ваеров искусственно отнесен к весу трала, а ваеры приняты за невесомые, нерастяжимые нити, что также условно.

Для выяснения количественного влияния всех перечисленных погрешностей необходима опытная проверка полученных формул.



## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

### Определение натяжения ваеров

Натяжение ваеров при тралении, подъеме и спуске трала измерялось динамометром и динамографом (рис. 4).

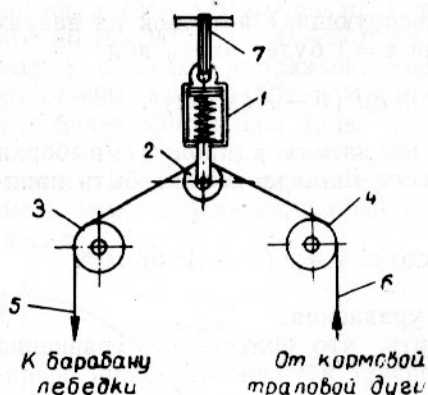


Рис. 4. Схема включения динамографа: 1 — динамограф; 2 — подвижный блок динамографа; 3 — центральный роуль; 4 — бортовой роуль; 5, 6 — ваеры; 7 — место крепления к носовой траловой дуге

Основными элементами волны являются период  $\tau$ , длина  $\lambda$  и высота  $h$ .

Длина волны  $\lambda$  и ее период  $\tau$  связаны между собой простой зависимостью

$$\lambda = 1,56 \tau^2.$$

Нормальные погрешности при отсчете времени по секундомеру не превышают 0,2 сек. и, следовательно, наибольшая ошибка наблюдения не превышает 0,4 сек., а максимальная погрешность определения среднего периода волны не превосходит 0,04 сек. Поэтому при определении волнового периода при помощи секундомера можно ограничиваться десятком волн.

При замере периода волны с судов, не стоящих на якорю, в качестве фиксированной точки наблюдения используют вертикальный буй или другой небольшой плавающий предмет. В наших испытаниях в качестве плавающего тела мы принимали траловый буй и торцовые отпилы от деревянных бобинцев.

Длину волны в опытах определяли с помощью ручного лага. С кормы судна выбрасывали сектор ручного лага и свободно потравливали лагильню. В тот момент, когда гребень следующей волны был у кормы судна, замечалась длина вытравливаемого лагильни, которая и являлась длиной волны.

Помимо визуального способа, высоту и период волны определяли при помощи простейших приборов, для чего применяли свободно плавающую волномерную рейку Фруда, состоящую из размеченного делениями стержня с грузом, линия и парусиновой рамки. Рамка располагалась на такой глубине, где величина вертикальной оси волновых орбит не превышала требующейся точности отсчетов по рейке.

При опыте было принято: точность отсчета 0,1 м, высота волны  $h=5$  м, длина волны  $\lambda=10h$ .

Для получения полного силового режима лебедки в процессе подъема трала с уловом производились замеры натяжений вспомогательных тросов: джильсона, массенжера, квартропов. Натяжение их определялось с помощью гидравлического тензомера и тензомера конструкции инж. А. И. Трещева и опытного тралового динамографа системы доцента Ю. Ю. Ревякина.

### Определение элементов волн

Как уже было отмечено, динамические нагрузки на ваерах являются функцией размахов и периода качки корабля, которые зависят от состояния моря, т. е. элементов волны.

Тогда глубина расположения рамки может быть определена по формуле

$$h_z = h e^{-\frac{2\pi z}{\lambda}};$$

$$0,1 = 5e^{-\frac{2\pi z}{\lambda}}; \quad z = 30 \text{ м.}$$

При пользовании рейкой правильность отсчетов искажается из-за наклона рейки. Однако при определении высоты волны с точностью до 0,1 м можно игнорировать отклонения волномерной рейки от вертикали, не превышающие 10—15°.

Определение периода волны по рейке Фруда такое же, как и определение его по траловому бую.

### Определение амплитуды и периода качки

Амплитуду и период качки определяли в момент выборки трала, когда судно стоит с застопоренной машиной.

В опытах определяли лишь угол размаха и период бортовой качки.

При изучении бортовой качки корабля часто для определения угла крена пользуются кренометрами, которые имеются на каждом судне. Однако этот простой удобный прибор дает большие погрешности в показаниях вследствие вынужденных колебаний маятника, вызванных перемещениями точки подвеса.

Вопрос работы маятникового кренометра (рис. 5) был разработан академиком А. Н. Крыловым.

Приближенное выражение ошибки кренометра выражается следующей формулой:

$$\begin{aligned} \varphi = & \frac{2\pi r}{\lambda} \cdot \frac{\tau^2}{\tau^2 - T'^2} \sin \frac{2\pi t}{\tau} + \\ & + 4 \frac{\pi^2 c}{g} \left[ \frac{A_2}{T_2^2 - T'^2} \sin \left( \frac{2\pi t}{T_2} + \beta \right) + \right. \\ & \left. + \frac{B_2}{\tau^2 - T'^2} \sin \frac{2\pi t}{\tau} - \sigma_2 \right], \end{aligned}$$

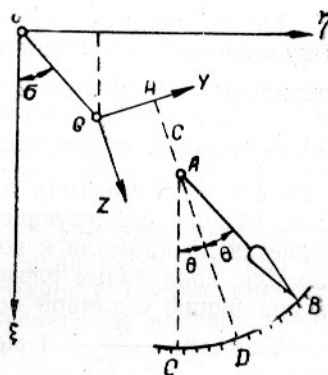


Рис. 5. Схема маятникового кренометра:

$O\xi, O\zeta, O\eta$  — неподвижные оси в пространстве;  $G$  — центр тяжести корабля;  $Gx, Gy, Gz$  — подвижные оси, связанные с кораблем;  $AC$  — положение оси маятника при отсутствии погрешности;  $AB = l$  — общий случай расположения маятника (при наличии погрешности в отсчете);  $\theta$  — наклонение корабля (угол крена);  $B, H, C$  — координаты точки подвеса.

где:  $\varphi = \theta + \xi$  — погрешность кренометра;  
 $r$  — полувысота (амплитуда) волны;  
 $\lambda$  — длина волны;  
 $\tau$  — период волны;

$T' = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$  — период собственных колебаний маятника, где:  $I$  — момент инерции массы маятника относительно оси,

проходящей через точку подвеса  $A$  параллельно  $Gx$ ;  $l$  — длина маятника;  $m$  — масса маятника;

$T_2 = \frac{2\pi}{\omega}$  — период собственных бортовых качаний корабля;

$t$  — время;

- $A_2, B_2$  — соответственно амплитуды свободных и вынужденных колебаний;  
 $\beta$  — начальная фаза свободных колебаний;  
 $\sigma$  — сдвиг фаз вынужденных колебаний по отношению к волне.

Проанализируем полученное уравнение.

а) В формулу ошибки кренометра совершенно не входит координата  $B$  точки подвеса, что является следствием допущения об относительной малости колебания корабля и маятника. Это дает нам право сделать заключение, что отстояние точки подвеса кренометра от диаметральной плоскости не оказывает существенного влияния на точность его показаний, если только измеряемые углы крена относительно невелики.

б. Допустив, что  $c=0$ , т. е. точка подвеса располагается на одном уровне с ц. т. корабля, получим

$$\varphi = \frac{2\pi r}{\lambda} \cdot \frac{\tau^2}{\tau^2 - T'^2} \sin \frac{2\pi t}{\tau} = \alpha_0 \frac{\tau^2}{\tau^2 - T'^2} \sin \frac{2\pi t}{\tau},$$

где  $\alpha_0 = \frac{2\pi r}{\lambda}$  — наибольший склон волны.

Таким образом, точность кренометра не зависит от свободных и вынужденных колебаний корабля, а является только следствием горизонтальных перемещений точки подвеса. При  $c=0$  и так как  $\alpha_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} = \Delta$  — текущий склон волны, при  $\frac{\tau^2}{\tau^2 - T'^2} = 1$  будем иметь  $\varphi = \Delta$ , т. е. в этом случае маятник отклоняется от вертикального направления на угол, равный действующему склону волны, и, следовательно, устанавливается по нормали к волновому профилю в том месте, где находится корабль, поперечные размеры которого предполагаются весьма малыми по сравнению с длиной волны.

Условие  $\frac{\tau^2}{\tau^2 - T'^2} = 1$  может быть выполнено, если период свободного колебания маятника мал по сравнению с периодом волны.

Указанный кренометр носит название короткопериодного и вполне надежно измеряет угол крена корабля по отношению к поверхности волны, если только  $c=0$ .

В таких примерно условиях находится на корабле кренометр, установленный в машинном отделении и подвешенный к точке, лежащей в плоскости ГВЛ.

Принимая во внимание отмеченные условия работы маятникового кренометра, в наших опытах мы пользовались кренометром, расположенным в машинном отделении.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

В течение 1947—1949 гг. автором были проведены испытания траловых лебедок восьми различных систем:

- паровая траловая лебедка с отдельным приводом;
- паровая траловая лебедка с нераздельным приводом;
- электрическая траловая лебедка;
- малая траловая лебедка с приводом от главного двигателя;
- лебедка типа «Демаг»;
- тралово-сейнерные лебедки трех систем.

Обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с задачей определения природы нагрузок на ваерах в процессе выборки трала на волнении.

## Величина и характер нагрузок, действующих на ваеры на спокойной воде

В процессе испытаний нами были получены динамограммы нагрузок на ваерах при различном состоянии моря.

Характер и величина нагрузок на ваерах при спокойной воде видны из диаграммы нагрузок на ваерах за полный цикл работы с тралом (рис. 6).

Из динамограммы следует, что нагрузки на ваерах в течение всего цикла работы лебедки носят переменный характер.

В процессе травления ваеры свободно сматываются с барабанов лебедки. Скорость судна в этом случае доводится до 7—8 узлов. Ступенчатый характер кривой нагрузки при травлении ваеров объясняется периодическим притормаживанием барабанов лебедки при помощи ленточных тормозов.



Рис. 6. Диаграмма нагрузок на ваерах за полный цикл работы с тралом

Частые, небольшие колебания величины нагрузок на ваерах являются следствием вибрации ваеров, находящихся под действием сил сопротивления трала, и вибрации корпуса судна при работе главной машины.

В конце травления, когда с барабанов лебедки начинают сматываться последние 100—80 м ваеров, скорость судна уменьшают до малой, а иногда и совсем стопорят главную машину (судно движется вперед по инерции). Далее как мессенжера пускают от носовой траловой дуги на носовой ваер и при помощи лебедки сводят оба ваера до момента, когда они лягут вместе на подушку стопорблока, после чего ленточные тормоза закрепляют и увеличивают скорость травления до 3—4 узлов.

Процесс взятия ваеров на стопор и закрепление ленточных тормозов вызывает резкое возрастание нагрузок на ваерах (до 11—12 т); это является следствием того, что сравнительно спокойное опускание трала при сматывании ваеров с барабанов лебедки на ходу судна оканчивается почти полной остановкой трала.

В дальнейшем скорость движения трала от величины, близкой к нулю, доходит до нормальной. Нарастание скорости происходит быстро, за несколько секунд. Ввиду этого наблюдается явление динамического удара, следствием чего и является резкое повышение нагрузки на ваерах в конце травления (в начале травления).

**Т р а в л е н и е.** Величина нагрузки на ваерах при травлении зависит в первую очередь от скорости травления. Обычные установившиеся на практике скорости травления не превышают 3—4 узлов. Попытки увеличения скорости травления не дали положительных результатов, так как при этом наблюдалось уменьшение расстояния между траловыми досками. Скорость травления несколько меняется при лове рыб разных пород (так, например, при лове камбалы скорость травления не превышает 2,5 узла).

В общем скорость травления зависит от мощности механизмов и мореходных свойств судна, величины сопротивления трала при букси-

## Испытание 34-метрового отечественного трала с укороченными косыми крыльями (грунт—ил)

Показатели	Номера испытаний																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Состояние моря в балах . . . . .	3	3	2	2	2	2	2	3-4	4	4-5	4-5	5	5	5	4-5	3	3	2	1-2	1	1	
Скорость ветра в м/сек . . . . .	6	6	5	5	5	5	4	6	5	5	6	6,5	7	8	7,6	7,1	5,6	5,7	4,1	4,0	4,0	3,0
Направление ветра относительно судна в град. . . . .	120	90	45	100	270	330	90	110	30	0	30	0	270	270	30	90	270	110	160	30	220	340
Глубина моря в м . . . . .	53	52	49	50	66	65	153	170	180	200	215	170	185	250	160	175	175	165	150	170	155	165
Длина ваеров в м . . . . .	250	250	250	250	250	250	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Угол между ваерами в град. . . . .	12	12	15-16	15	14	14	7	7	8	6,5	7	8	8	6	7	6,5	7	7	6,5	7	6,5	7
Угол между диаметральной плоскостью и биссектрисой угла между ваерами в град. . . . .	10	7	8	12	8	7	13	15	15	15	17	12	15	8	4	6	7	10	6	8	7	10
Количество рыбы в т . . . . .	0,5	0,5	0,6	1	1	0,8	2	3,5	2,5	2	2	1,5	1,5	2	2	1,8	2	1,4	1,9	1,5	1,8	1,0
Сопrotивление трала в кг . . . . .	8150	7800	8000	8000	8000	8350	9000	9200	9000	9350	8400	9200	8700	9500	8500	8600	8700	8450	8200	8100	8000	8450
Тяговое усилие в кг . . . . .	8400	7740	7880	7820	8380	8300	8770	8800	8690	9040	8100	8820	9320	9140	8460	8600	8670	8300	8050	7930	8840	8320
Скорость буксировки в м/сек . . . . .	3	2,8	2,9	3	3	2,9	3,3	3,3	3,2	3,2	3	3,4	3,2	3,4	3,1	3,2	3,3	3,1	3,2	3,2	3,1	3,4

ровке, гидрометеорологических условий промысла, характера грунта, уловистости трала на различных скоростях.

Результаты испытаний 34-метрового трала с укороченными крыльями приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 2

Испытание 34-метрового трала с укороченными крыльями (грунт—песок)

Показатели	Номера испытаний									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Состояние моря в баллах . . . . .	3	4	4	5	5	6	6	6	5—6	6
Скорость ветра в м/сек . . . . .	5,2	7,8	8,1	10,2	8,9	11,2	13	14,0	13,0	14,1
Направление ветра относительно судна в град. . . . .	30	0	90	180	40	270	330	220	40	50
Глубина моря в м . . . . .	140	140	140	170	175	180	140	175	110	150
Длина ваеров в м . . . . .	400	400	400	500	500	500	400	500	500	400
Угол между ваерами в град. . . . .	9	8,5	9,5	7	7	6,5	9	7	6,5	8,5
Количество рыбы в т . . . . .	0,8	1,2	1,6	1,5	1,2	2,0	0,8	1,0	2,5	1,4
Сопротивление трала в кг . . . . .	5400	5260	5300	5450	5200	5450	5100	6000	5800	5450
Скорость буксировки в милях в час . . . . .	2,9	2,75	3,0	3,2	3,0	3,2	2,85	3,	2,8	2,8

Таблицы показывают, что вид грунта оказывает большое влияние на величину сопротивления трала при буксировке. Так, при испытании на песчаном грунте сопротивление 34-метрового трала составляло примерно 5000 кг, а на илистом грунте доходило до 8000—9000 кг (и даже до 9500 кг).

Анализ таблиц показывает, что сопротивление трала при тралении изменяется прямо пропорционально изменению скорости.

Выборка трала. В конце траления машину стопорят, ваеры отдают со стопора, приступают к выборке. В то время когда главная машина перестает работать, нагрузка на ваерах, как видно из динамограммы, резко падает, а в следующий момент, который соответствует началу выборки ваеров, нагрузка резко увеличивается (доходя до 12 т). Затем скорость выборки становится обычной, принятой при выборке ваеров (1—1,2 м/сек).

Прежде чем оценивать характер действующих нагрузок на ваерах, остановимся более подробно на явлении резкого увеличения нагрузки при окончании траления ваеров и начале траления, а также в конце траления и в начале выборки ваеров. Резкое возрастание усилий здесь сходно с возрастанием усилий при начале движения какого-либо тела, расположенного на мягком грунте.

Сила тяги  $P$  в этом случае складывается из тягового усилия при установившемся движении  $P'$ , дополнительного сопротивления  $P''$ , вызываемого погружением тела в грунт за период стояния тела на месте, а также из произведения массы тела  $m$  на ускорение  $a$  при трогании с места, т. е.

$$P = P' + P'' + ma.$$

Величины  $P''$  и  $a$  зависят от свойств грунта и запаса мощности тягового механизма, а поэтому могут иметь различные значения. Необходимая мощность при трогании с места уменьшается в случае медленного нарастания скорости.

Итак, при установившейся выборке трала скорость движения его (1,2 м/сек) меньше, чем при буксировке (около 1,5 м/сек), и на первый взгляд нагрузка на ваерах при выборке должна быть меньше, чем при

тралении. Однако характер нагрузок на ваерах в процессе выборки сложнее, чем при установившейся скорости траления.

При тралении нагрузка на ваерах будет относительно постоянной величиной (опыты подтверждают это). Изменения сопротивления трала от увеличения улова не наблюдается. Причиной этого, видимо, является уменьшение горизонтального раскрытия трала, происходящее по мере увеличения улова.

При выборке трала картина осложняется тем, что количество вытравленных ваеров уменьшается по мере их выборки. В первый момент нагрузки на ваерах меньше, чем при тралении, вследствие уменьшения скорости движения трала. При дальнейшей выборке ваеров появляются вертикальные составляющие (вес трала). Вес на воздухе отдельных частей трала в мокром виде приведен в табл. 3.

Таблица 3

Вес отдельных частей 34-метрового отечественного трала в мокром виде (на воздухе)

Наименование частей	кг	%, от общего веса	Наименование частей	кг	%, от общего веса
Крылья, сквер и мотня с тросами . . . . .	480	24,7	Носовой грунтрод с бобинцами	220	10,8
Куток с тросами . . . . .	500	24,7	Клячевки и бобинцы у клячевок . . . . .	110	5,4
Кормовой грунтрод с бобинцами	260	12,8	Кухтылы . . . . .	50	2,7
Центральный грунтрод с бобинцами . . . . .	400	19,9	Мокрый 34-метровый трал . . . . .	2020	100

Максимальные натяжения ваеров при различных скоростях выборки в положении трала на «панере» и сопротивления трала при тех же скоростях приведены в табл. 4.

Таблица 4

Максимальные натяжения ваеров и сопротивления трала при различных скоростях выборки<sup>1</sup>

Скорость выборки ваеров в м/сек	Максимальная нагрузка на ваерах в кг	Максимальное сопротивление трала в кг	Скорость выборки ваеров в м/сек	Максимальная нагрузка на ваерах в кг	Максимальное сопротивление трала в кг
0,4	3250	850	0,93	4500	2100
0,51	3500	1100	0,98	4550	2150
0,62	3700	1300	0,03	4700	2300
0,63	3850	1450	1,05	4800	2400
0,70	3950	1550	1,08	4750	2350
0,71	4070	1600	1,12	5000	2600
0,76	4050	1650	1,18	5150	2750
0,78	4200	1800	1,20	5050	2650
0,85	4250	1850			

<sup>1</sup> Табл. 4 составлена на основании обработки 17 динамограмм. Скорость выборки определена как средняя за опыт.

В табл. 5 приведены результаты взвешивания трала и его частей в воде.

Цифры второй графы табл. 5 соответствуют сопротивлению трала в начальный момент нахождения его на «панере» и получены путем вычитания из величины максимального натяжения ваера величины веса трала, траловых досок и ваеров в воде ( $P=2400$  кг).

Таблица 5

Вес трала, траловых досок и ваеров в воде в кг  
(трал 34-метровый с металлическими бобинцами)

Наименование частей	Общий вес в кг	Вес отдельной части
Два ваера, $d=25$ мм, по 250 м каждый . . . .	1000	Вес 1 пог. м ваера равен 2 кг
Две траловые доски . . .	1000	Вес одной траловой доски равен 500 кг
Сетная часть трала . . . .	400	

По данным табл. 4 построен график зависимости максимального значения сопротивления трала от скорости выборки (рис. 7), на котором по оси абсцисс отложена средняя скорость выборки ваеров, а по оси ординат — максимальное значение сопротивления трала в процессе выборки.

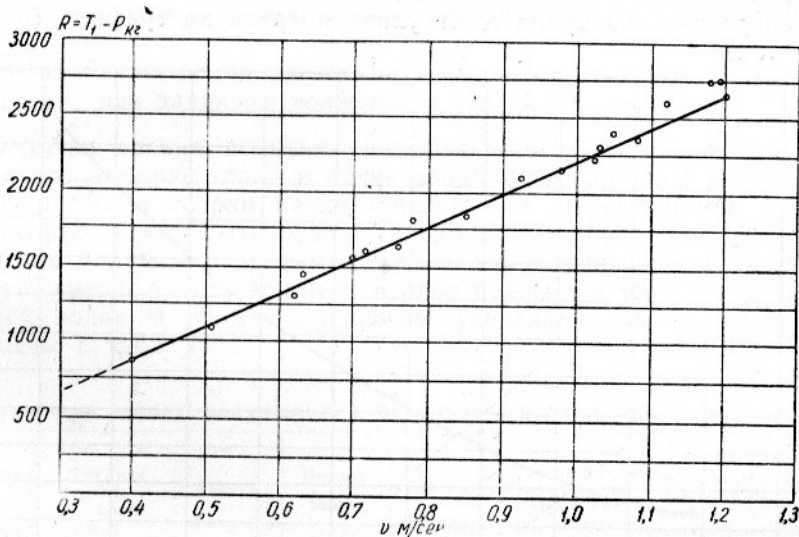


Рис. 7. Сопротивление трала с оборудованием при выборке ваеров в момент нахождения трала на «панере» (состояние моря — штиль; глубина моря 250 м)

Как видно из графика, зависимость сопротивления трала от скорости выборки в момент нахождения трала на «панере» изображается прямой линией, т. е. сопротивление трала пропорционально скорости в первой степени. Следовательно, формулу сопротивления можно написать так

$$R = T_1 - P.$$

С целью определения сопротивления трала на «панере» были сделаны замеры натяжения ваеров при различных уловах и постоянной скорости выборки (правда, постоянную скорость выборки выдержать не удалось, она колебалась в пределах в опытах 0,85—1,0 м/сек). При обработке данных брали среднюю в опыте скорость.

Результаты замеров приводятся в табл. 6.



Таблица 6

## Сопротивление трала с уловом

Количество рыбы в т	Сопротивление трала в кг		
	опыт 1	опыт 2	опыт 3
0,5	2400	2400	—
0,6	2450	2450	—
1,0	2400	2450	2500
1,3	2550	—	—
2,0	2600	2650	—
2,6	2800	2750	—
3,0	2850	2750	2800
4,0	3200	3100	—
4,3	3100	—	—
4,8	3450	—	—
5,0	3500	3550	—

Сопротивление трала в табл. 6 получено как разность между максимальным натяжением ваеров в процессе выборки и весом трала в воде. Таким образом, в цифру сопротивления трала вошли также вес улова и добавочное сопротивление трала от улова. Характер зависимости сопротивления трала  $R$  от улова показан на графике (рис. 8).

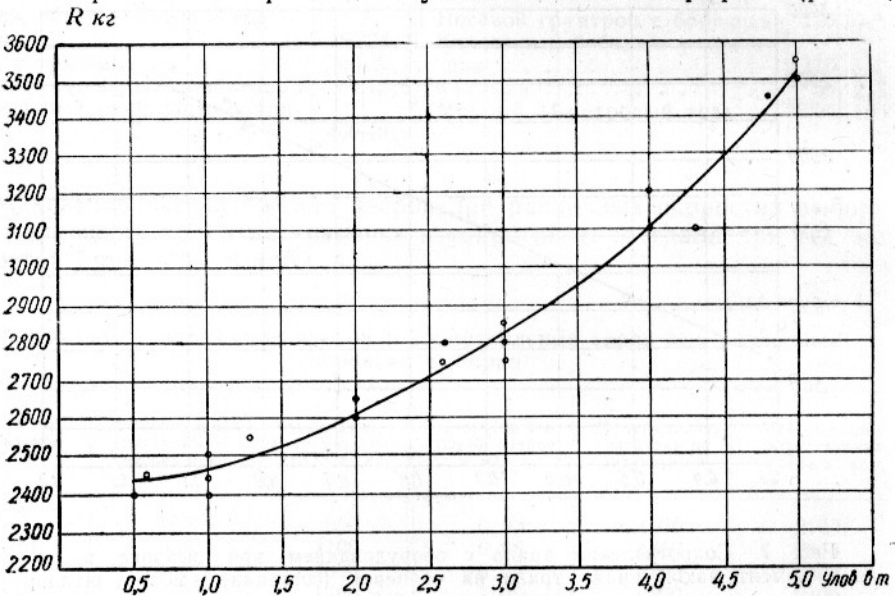


Рис. 8. График зависимости сопротивления трала от улова (состояние моря — штиль; глубина траления 200—250 м; скорость выборки трала 1 м/сек).

Пользуясь полученными экспериментальными данными и зная основные размеры корабля, нетрудно решить уравнение движения борта корабля при совместном действии бортовой и вертикальной качки и приступить к решению уравнения нагрузки на ваерах.

Проделав такую работу на частном примере, мы установили, что наше уравнение в основном правильно отражает природу действующих сил на ваерах при выборке трала на волнении. Однако из-за сложности вычисления нагрузок этим способом и условности результата ввиду неизученности качки траулера и трудности получения точных отправных данных мы отказались от рекомендации этого способа для применения при практических расчетах.

Разбор частного примера с учетом экспериментальных данных позволил получить выводы, которые помогли нам упростить это уравнение и найти более простой способ его решения.

Наши выводы свелись к следующему.

1. Сопротивление трала в момент нахождения его на «панере» является линейной функцией скорости выборки, т. е. показатель степени  $n$  в нашем уравнении равен единице.

2. Величиной присоединенной массы  $\Delta M$  можно пренебречь, так как это не повлечет большого изменения суммарной нагрузки. Если допустить, что  $\Delta M = M$ , то суммарная нагрузка увеличится всего на 2—2,5%. Считать, что величина присоединенной массы больше, чем величина массы трала с оборудованием, у нас нет оснований: трал представляет собой гибкую и протекаемую систему.

3. По абсолютной величине инерционные силы меньше скоростных сил в 5—6 раз. Это позволяет взять для расчета случай, когда  $\sigma t = 90^\circ$ , потому что эти силы сдвинуты по фазе одна относительно другой на  $90^\circ$ .

Тогда уравнение нагрузок на ваерах может быть представлено в виде

$$T = P + k_0 F (v - A_0 \sin \sigma t).$$

Ниже мы приводим один из способов решения этого уравнения.

#### Приближенный метод расчета максимальных нагрузок на ваерах при заданном волнении и угле крена корабля

С точки зрения практики нас интересует вопрос нагрузки на ваерах при выборке трала и качке корабля на заданной волне. Ввиду несовершенности теории качки корабля на нерегулярном волнении этот вопрос может быть решен только при условии, если из наблюдений мы получим отправные данные для расчета. К этим данным следует отнести высоту волны  $h$ , период волны  $\tau$  и угол крена корабля на этой волне  $\Theta$ . Нами определены указанные данные. Результаты помещены в табл. 7.

Таблица 7

#### Нагрузки на ваерах, полученные в результате наблюдения и вычисленные

Состояние моря в баллах	Глубина места лова в м	Высота волны в м	Период волн в сек.	Угол крена корабля в °	Максимальная нагрузка на ваерах в кг (по наблюдению)	Максимальная нагрузка на ваерах в кг (вычисленная)	Погрешность в %
7-8	250	6	8,2	28	12,500	11,460	9,2
7-8	250	5,2	11,0	26	10,000	8,500	15,0
	180	4,8	7,6	20	10,300	9,400	8,0
	180	4,7	8,1	21	9,500	8,670	8,7
6	180	4,2	7,2	19	10,200	9,120	10,3
	180	4,2	8,0	17	9,400	8,320	11,6
	180	4,0	7,1	15	9,450	8,370	11,6
	180	3,9	7,0	14	9,300	8,170	13,2
	220	3,6	6,7	18	10,100	9,000	10,9
5	220	3,6	7,0	14	9,250	8,000	12,6
	220	3,3	6,4	13	9,300	8,080	13,0
4	250	2,64	6	14	9,800	9,450	3,5
3	250	1,6	4	10	9,800	9,830	0
2	250	0,6	3,6	8	7,000	7,950	13,6
1	240	0,2	2,6	4	5,800	6,780	16,9

По полученным элементам можно определить

а) амплитуду колебаний борта  $L = \frac{h}{2} + \frac{B}{2} \operatorname{tg} \Theta$ , где  $B$  — ширина

судна. При небольших углах крена  $\operatorname{tg}\Theta$  можно заменить значением  $\Theta$  в радианах, т. е.  $L = \frac{h}{2} + \frac{B}{2} \Theta$ ;

б) частоту волны  $\sigma = \frac{2\pi}{\tau}$ .

Уравнение максимальных нагрузок после упрощения

$$T = P + k_0 F (v - A\sigma \sin \sigma t).$$

Наличие в этой формуле скорости выборки трала не дает возможности сравнить значения, полученные посредством расчета, с опытными данными, так как в эту формулу входит мгновенная скорость, а не средняя, которую мы замеряли.

Однако известно, что при максимальных динамических нагрузках ваеров все существующие лебедки, работая с тралом при 6—7-балльном волнении, имеют скорость выборки, близкую к нулю. Вследствие этого при расчете максимальных нагрузок для возможности их сравнения с опытными данными величиной  $k_0 F v$  можно пренебречь.

После преобразований формула для определения максимальных нагрузок на ваерах может быть представлена в виде

$$T = P + k_0 F A \sigma.$$

Результаты вычислений максимальных нагрузок приведены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, расчетная максимальная нагрузка на ваерах при волнении до 8 баллов меньше, чем наблюдаемая нагрузка, на 9—12%. Это объясняется тем, что при выводе формулы мы пренебрегли влиянием сил инерции и скоростных сил при выборке ваеров лебедкой.

Внося соответствующий поправочный коэффициент, получим

$$T = 1,11 (P + k_0 F A \sigma),$$

где коэффициент 1,11 — опытный.

Из табл. 7 также видно, что с уменьшением волнения указанная разница растёт. Это объясняется тем, что скорость выборки ваеров в момент пиковых нагрузок (которые значительно меньше, чем при большом волнении) отлична от нуля. Поэтому приведенные в табл. 7 расчетные нагрузки в опытах при волнении 1—4 балла получены с учетом средней скорости выборки ( $k_0 F v_{cp}$ ). Из табл. 7 видно, что расчетные нагрузки в этом случае больше полученных из опыта.

Введение в расчет средней, а не мгновенной скорости выборки и является, видимо, причиной указанного расхождения в расчетных и опытных нагрузках.

### Величина и характер нагрузок на ваерах при выборке трала на волнении

Анализ полученных в опытах динамограмм позволяет сделать следующие выводы.

1. Нагрузки на ваерах при выборке трала на волнении носят резко переменный (пульсирующий) характер.

2. Величина нагрузок зависит от интенсивности волнения моря и поведения корабля на данном волнении.

Данные, характеризующие зависимость величины максимальных нагрузок и амплитуд колебаний их от волнения, приведены в табл. 8.

3. Приведенные в табл. 8 величины максимальных нагрузок и амплитуд их колебаний получены как средние из максимальных значений при обработке динамограмм. Максимальная величина нагрузки на ваерах при волнении 7—8 баллов достигает 12 500 кг, а максимальная амплитуда колебаний нагрузок — 11 000 кг. Ввиду того что

**Максимальные нагрузки и амплитуда их колебаний  
при волнении различной силы**

Состояние моря в баллах	Максимальная нагрузка в кг	Максимальная амплитуда в кг
Штиль	5000	—
2	7500	3 50
2-3	8000	4250
4	9500	5750
5	10000	6750
6	10750	7250
7	11250	8000
7-8	12500	11000

промысел прекращается уже при 6—7-балльной волне, в обычных условиях промысловой работы максимальная нагрузка на ваерах не превосходит 11 250 кг, а максимальная амплитуда — 8000 кг.

4. Полученные максимальные значения нагрузок и амплитуд их колебаний могут быть большими. Это возможно в том случае, когда период собственных колебаний корабля будет близок к периоду волны (явление резонанса). Поэтому из практики известны случаи, когда ваеры рвутся при выборке трала на большом волнении.

**Нагрузка на лебедку в процессе грузовых операций  
по подъему и спуску трала**

Помимо выборки ваеров, с помощью траловой лебедки производят все основные операции по подъему и спуску трала.

Была хронометрирована работа траловых лебедок и определен силовой режим при грузовых операциях по подъему и спуску трала (табл. 9).

Приведенные в табл. 9 данные являются средними величинами, полученными для паровой лебедки с нераздельным приводом из 12 циклов, для паровых лебедок с раздельным приводом из 22 циклов, для электрической лебедки из 24 циклов.

Величины нагрузок на тросах получены при помощи тензометра. Их максимальные значения взяты при волне 5—6 баллов.

В результате хронометража установлено следующее.

1. Максимальная скорость выборки ваеров при спокойной воде у паровой лебедки с нераздельным приводом 1,2 м/сек, у паровой лебедки с раздельным приводом — 1,19 м/сек и у электрической лебедки — 0,925 м/сек.

Скорость выборки ваеров при обычных промысловых условиях (при волне 3—5 баллов) колеблется в пределах от 0,75 до 0,85 м/сек.

Скорость выборки трала с подветренной стороны больше, чем с наветренной (при ветре в 6 баллов примерно в 2,5 раза).

2. Максимальные нагрузки на тросах при грузовых операциях по подъему и спуску трала составляют:

на джильсоне 3300 кг при подъеме 3 т рыбы (обычно величина нагрузки не превосходит 2 т);

на мессенжере 3600 кг при волне 6—7 баллов (усилие на мессенжере зависит от положения ваеров по отношению к судну в момент взятия ваеров на стопор).

3. Время работы лебедки, затраченное на один подъем трала, при паровых лебедках 11—12 мин., при электрической лебедке 13—14 мин. Время работы лебедки, затраченное на один спуск трала, 6—7 мин., если в эту цифру включить и время, необходимое на травление ваеров,

## Результаты испытания траловых лебедок при подъеме и спуске трала

Наименование операций	Отечественная паровая лебедка с нераздельным приводом			Паровая лебедка с раздельным приводом			Электролебедка
	время работы лебедки	максимальная нагрузка на тросах в кг	скорость выработки тросов в м/сек	время работы лебедки	максимальная нагрузка на тросах в кг	скорость выработки тросов в м/сек	время работы лебедки
Выборка ваеров до прихода кормовой доски . . . . .	6 мин. 50 сек.	—	1,2	7 мин.	—	1,19	2 мин.
Довыборка ваеров до прихода носовой доски . . . . .	30 сек.	7500	—	28 сек.	7000	—	42 сек.
Выборка кабелей до прихода кормовой клячевки . . . . .	35 сек.	6800	0,8—1	35 сек.	6200	0,8—1	22 сек.
Довыборка кабелей до прихода носовой клячевки . . . . .	14 сек.	6750	—	18 сек.	6100	—	20 сек.
Выборка квартропов . . . . .	40 сек.	—	0,6	32 сек.	—	0,75	40 сек.
Подъем бобинцев джильсоном . . . . .	15 сек.	2000	—	13 сек.	1800	—	20 сек.
Выборка удавного стропа . . . . .	50 сек.	—	0,9	46 сек.	—	0,85	40 сек.
Выборка патентом сетной части трала (подсушка рыбы) . . . . .	35 сек.	800	—	30 сек.	600	—	38 сек.
Подъем джильсоном и патентом кутка с рыбой . . . . .	22 сек.	3300	—	17 сек.	3250	—	45 сек.
Подъем джильсоном кутка для высыпания рыбы . . . . .	5 сек.	3200	—	5 сек.	3150	—	—
За один подъем трала							
	10 мин. 57 сек.			10 мин. 44 сек.			13 мин. 27 сек.
Выметка патентом мешка за борт . . . . .	10 сек.	500	—	10 сек.	550	—	—
Выметка оставшихся сетных частей трала . . . . .	18 сек.	—	—	16 сек.	—	—	31 сек.
Выметка патентом бобинцев за борт . . . . .	15 сек.	1800	—	15 сек.	1800	—	18 сек.
Травление кабелей до присоединения досок . . . . .	60 сек.	—	—	50 сек.	—	—	50 сек.
Травление ваеров . . . . .	4 мин. 35 сек.	от 0 до 4000	2,08	4 мин. 35 сек.	от 0 до 4000	1,89	3 мин. 50 сек.
Взятие мессенжером ваеров на стопор . . . . .	40 сек.	2700	—	36 сек.	2500	—	20 сек.
За один спуск трала							
	6 мин. 58 сек.			6 мин. 7 сек.			5 мин. 59 сек.
За полный цикл							
	17 мин. 66 сек.			16 мин. 51 сек.			19 мин. 26 сек.

в течение которого лебедка работает, а ваеры свободно сматываются с отключенных от валов барабанов. Таким образом, всего за полный цикл по подъему и спуску трала лебедка работает 16—20 мин., что составляет от общего времени подъема и спуска 36—45%.

Все вышеприведенные цифры соответствуют случаю подъема трала без дележки. Работа лебедки за первую дележку составляет 45 сек., за вторую — 32 сек.

## ВЫВОДЫ

1. Изложенный способ определения нагрузок является общим для всех промысловых механизмов, установленных на судах (траловые лебедки, сейнерные лебедки, шпиглы, неводовыборочные машины, сетеподъемные машины и ярусоподъемники).

2. Для выяснения природы и величин нагрузок на судовые промысловые механизмы необходимо знать:

- а) вес орудия лова и улова в мокром виде на воздухе и в воде;
- б) характер качки корабля на волнении (угол крена и период);
- в) гидрометеорологические условия промысла (сила ветра, элементы волн);
- г) зависимость сопротивления орудия лова вместе с уловом от скорости выборки (при спокойной воде);
- д) сопротивление улова;
- е) оптимальные скорости выборки орудия лова;
- ж) нагрузки на тросах при выборке орудий лова при различных гидрометеорологических условиях.

Указанные данные должны быть определены по возможности одновременно и при критических условиях промысла, т. е. при предельном волнении моря, когда еще возможен промысел.

Для траллирующих орудий лова (трал, снюрревод), кроме того, необходимо знать величину сопротивления трения.

3. Опыты показали, что нагрузки на ваерах вследствие волнения носят резко переменный (пульсирующий) характер.

Максимальная нагрузка на ваерах большой траловой лебедки, работающей с 34-метровым тралом при 7—8-балльном волнении, достигает 12—12,5 т.

Максимальная нагрузка на ваерах малой траловой лебедки, работающей с 15-метровым тралом при волне 4—5 баллов, доходит до 2700 т.

Приближенно величина максимальной нагрузки может быть определена по формуле

$$T = 1,11(P + k_0FA\sigma),$$

где:  $P$  — вес трала с оборудованием, уловом и ваерами;

$k_0F$  — агрегатный коэффициент сопротивления трала;

$\sigma$  — частота волны;

$A$  — амплитуда колебаний точки борта.

4. Максимальные нагрузки на ваерах действуют в течение очень короткого времени (1—3 сек.).

Наиболее часто встречающиеся нагрузки на ваерах не превышают 7,5—8 т. Эту нагрузку и необходимо принимать за расчетную для больших траловых лебедок (с 34-метровым тралом). Временное повышение нагрузок должно преодолеваться за счет способности двигателя работать с перегрузкой и снижения скорости выборки.

Расчетное тяговое усилие средней траловой лебедки при работе с 25-метровым тралом составляет 3,5—4 т, расчетное тяговое усилие малой траловой лебедки при работе с 15—18-метровым тралом — 2—2,5 т.

При этом, конечно, надо иметь в виду, что величина расчетных нагрузок, как это следует из последней формулы, зависит от размера трала и характера качки траулера (а следовательно, и его размеров). На новых траулерах с кормовым тралением типа «Пушкин» установлена лебедка с тяговым усилием 10 т. На этих кораблях испытания нами не проводились.

5. При существующих глубинах траления скорость выборки 45—60 м/мин является достаточной. Идти по линии повышения скорости нам представляется малоцелесообразным, так как это приведет к увеличению мощности привода и не даст ощутимой экономии в промысловом времени. Так, при увеличении скорости выборки с 48 м/мин (0,8 м/сек) до 60 м/мин (1 м/сек) разница во времени выборки 500 м ваеров составит около 2 мин.

Для улучшения промысловой работы следует стремиться сократить время, затрачиваемое на подъем и спуск трала, составляющее иногда 45—50 мин. и более; передовые траулеры доводят это время до 32—35 мин.

Обычным возражением против уменьшения скорости выборки трала является будто бы возможность ухода рыбы из трала. Это утверждение неосновательно. При уменьшении скорости выборки с 1,1 м/сек до 0,75—0,7 м/сек уловы не имеют тенденции к уменьшению. Этот факт доказан практикой рыболовства, проверен и подтвержден нашими опытами.

В тех случаях, когда получение (или съем) мощности от двигателя лимитируется какими-либо причинами, без особого ущерба для промысла можно доводить расчетную скорость выборки до 40—45 м/мин.

С точки зрения промысла безразлична равномерность выборки трала, важно выдерживать среднюю скорость. Практически можно даже допустить, что при максимальных (пиковых) нагрузках скорость выборки будет равна нулю или близкой к нему величине. Однако, увеличивая скорость выборки при понижении нагрузки, все же можно выдержать необходимую среднюю скорость. Можно даже иметь такой привод, который стоял бы при пиковых нагрузках, являющихся следствием рывков при качке, и повышал бы скорость лебедки при нагрузках меньше нормальных, выбирая только слаbinу ваера. В этом случае привод имел бы наименьшую мощность.

6. Наилучшими по эксплуатационным качествам следует считать паровые лебедки, электрические лебедки и лебедки с приводом от главного двигателя внутреннего сгорания с гидравлической передачей. Эти лебедки могут не иметь механического переключения скоростей, так как сам привод обеспечивает достаточно плавное получение скоростей при работе под нагрузкой (вентилем свежего пара — в паровых лебедках, контроллером — в электрических лебедках и специальным регулировочным устройством — в лебедках с гидравлической передачей).

7. В целях уменьшения потерь от конденсации пара и улучшения эксплуатационных качеств паровые лебедки для условий Крайнего Севера (Баренцева моря и др.) целесообразно строить с отдельным приводом. Однако существующее парораспределение в отдельных лебедках должно быть переделано.

8. Лебедки с механической передачей должны иметь две-три скорости выборки ваеров, причем способ переключения должен обеспечивать возможность получения их под нагрузкой.

9. По способу включения барабанов надо отдать предпочтение фрикционному переключению, которое допускает включение и выключение барабанов под нагрузкой и исключает необходимость в реверсе лебедки.

10. Лебедки могут быть трехвальными и двухвальными, причем в первом случае турачки главного вала нецелесообразно строить двухручейковыми, а во втором случае они должны быть обязательно двухручейковыми.

11. Не удовлетворяют условиям промысла следующие траловые лебедки:

а) паровые лебедки с отдельным паровым котлом на дизельном траулере;

б) лебедки с отдельным двигателем (дизелем) при механической передаче;

в) паровые лебедки, у которых паровые машины смонтированы совместно с механической частью на палубе;

г) лебедки с приводом от главного двигателя с пневматической передачей;

д) односкоростные лебедки с приводом от главного двигателя с механической передачей и жесткой муфтой съема мощности;

е) трехвальные лебедки с двойными турачками на ваерном валу и одинарными на промежуточном валу, а также двухвальные лебедки с одной парой одинарных турачек;

ж) нереверсивные лебедки с рычажно-кулачковым включением барабанов.

12. В целях выяснения возможности снижения скорости выборки ваеров лебедкой за счет использования движения судна целесообразно поставить опыты по выборке ваеров на ходу судна.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов А. Н., Качка корабля, ВМА РККФ, 1939.
2. Крылов А. Н., О боковой качке корабля, имеющего заданную диаграмму устойчивости, Труды Всесоюзного научно-инженерного общества судостроения, т. 1, вып. 2, 1934.
3. Материалы по испытанию трех рыболовных траулеров с разными типами главных механизмов, ЦНИИВТ, Л., 1933.
4. Шудейкин В. В., Об одной существенной поправке к показаниям судового кренометра, Л., 1935.