Том LXI | *Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)* | 1966

УДК 639.2.081.117

СКОРОСТЬ ПОГРУЖЕНИЯ НИЖНЕЙ ПОДБОРЫ ВЫСОКОСТЕННЫХ КОШЕЛЬКОВЫХ НЕВОДОВ

Г. Н. Степанов

Если каких-нибудь 10—20 лет назад кошельковыми неводами добывали рыбу в основном недалеко от берегов с небольших судов, то в последние годы все большее значение приобретает океанический лов.

Новые условия промысла повлекли за собой и изменения в конструкции неводов и технике работы с ними. Среди этих изменений прежде всего нужно отметить тенденцию к увеличению высоты кошельковых неводов.

Наряду с применявшимися ранее неводами с высотой стены 50—70 *м* (в посадке) все больше появляется высокостенных неводов с высотой в посадке 100 *м* и более (например, невода для исландской сельди имеют высоту 120 *м*). Увеличение высоты кошельковых неводов вполне закономерно, так как в последние годы благодаря внедрению капроновых сетематериалов, неводовыборочных машин и гидроакустических приборов появилась возможность облавливать косяки рыб в открытых районах океанов на глубинах до 70—80 *м*.

Изменение высоты неводов, несомненно, сказалось на их промысловых качествах и прежде всего на скорости погружения нижней подборы — одного из основных факторов, определяющих уловистость невода.

В новых условиях кошелькового промысла появилась необходимость дальнейшего, более глубокого изучения скорости погружения нижней подборы неводов.

Проведенные ранее экспериментальные работы по изучению погружения неводов (Н. Н. Виноградов, Ю. Г. Губенко и др.), а также теоретические проработки (Ф. И. Баранов, Н. Н. Андреев и А. Т. Трахтенгерц) в значительной степени продвинули изучение существа процесса, однако считать исследования в этой области законченными, видимо, преждевременно.

В настоящее время расчеты скорости погружения кошельковых неводов производятся по известной формуле проф. Ф. И. Баранова [1]:

$$T_0 = 0{,}9\, H \sqrt{\frac{H}{q}}, \tag{1}$$

где T_0 — время погружения невода на высоту H;

q — вес 1 *м* нижней подборы с оснасткой (включая стяжной трос).

При выводе зависимости Ф. И. Баранов сделал следующие допущения:

1) сопротивление нижней подборы с оснасткой и стяжного троса равно нулю;

2) вес дели в воде равен нулю;

3) силы инерции отсутствуют, т. е. движение равномерное;

4) сопротивление 1 *м* невода при погружении равно

$$R = K y v^2, \tag{2}$$

где K — коэффициент ($K=1{,}8$);

y — глубина погружения невода.

Исходное уравнение было записано в виде

$$q = K y v^2,$$

или

$$q = K y \left(\frac{dy}{dt}\right)^2. \tag{3}$$

После интегрирования уравнения (3) проф. Ф. И. Баранов получает формулу (1). Проанализируем допущения, сделанные при выводе зависимости (1).

Сопротивление нижней подборы и стяжного троса можно подсчитать по формуле

$$R = K D v^2,$$

где K — коэффициент; для тросов $K=70$;

D — диаметр троса;

v — скорость погружения.

При скорости погружения 12 *м/мин* для подборы окружностью 60 *мм* ($d=0{,}0191$ *м*)

$$R_\text{п} = 70 \cdot 0{,}0191 \cdot 0{,}04 = 0{,}0535 \text{ кг}.$$

При этой же скорости погружения для стяжного троса ($d=0{,}015$ *м*)

$$R_\text{с} = 70 \cdot 0{,}015 \cdot 0{,}04 = 0{,}042 \text{ кг}.$$

Суммарное сопротивление

$$R = R_\text{п} + R_\text{с} = 0{,}0955 \approx 0{,}1 \text{ кг}.$$

От загрузки нижней подборы 1,8 *кг* полученное значение сопротивления составляет 5,6%.

Так как при расчете подбора принималась за гладкий трос (т. е. не увеличивалось сопротивление грузил, привязок, уздечек, колец и другой оснастки), ориентировочно можно считать сопротивление нижней подборы равным $6 \div 10\%$ загрузки.

Отсюда видно, что пренебрегать сопротивлением нижней кромки невода можно только в приближенных расчетах.

Вес дели в воде в применяемых неводах обычно составляет 15—20% от веса загрузки. Очевидно, что и этим фактором пренебрегать не совсем обоснованно. Однако, если внести поправку, как это предлагает Ф. И. Баранов, и за q принять загрузку плюс 0,6 веса дели в воде, то это допущение большого влияния на выведенную зависимость не окажет.

Совсем иначе обстоит дело с принятым в исходных данных допущением об отсутствии сил инерции.

Проанализируем исходное уравнение (3)

$$q = Ky\left(\frac{dy}{dt}\right)^2.$$

Отсутствие сил инерции означает, что ускорение равно нулю, т. е.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = 0,$$

отсюда

$$\frac{dy}{dt} = \text{const}.$$

Перепишем уравнение (3) в виде

$$\frac{q}{K\left(\frac{dy}{dt}\right)^2} = y. \qquad (4)$$

Если учесть, что q и K постоянны, то и правая часть уравнения (4) также постоянна, т. е.

$$\frac{q}{K\left(\frac{dy}{dt}\right)} = \text{const}, \qquad (5)$$

и в то же время равна переменной величине. Поскольку y ни в одном из промежутков не остается постоянной (а непрерывно возрастает), то уравнение (4) справедливо только для точки. Следовательно, зависимость (3) очень приближенная.

Проф. Ф. И. Баранов, зная об этих недостатках формулы, рекомендовал: «Однако задача эта легко может быть решена и с учетом веса дели и внесением любых других уточнений. Для этого невод нужно разделить по высоте на несколько, например десять, участков и в пределах каждого участка рассматривать погружение нижней подборы как равномерное, а затем суммировать общее время погружения. Такие подсчеты показывают, что приблизительно можно учесть влияние веса дели, приняв в формуле $t_0 = 0{,}9H\sqrt{\frac{H}{q}}$ за величину q сумму нагрузки нижней подборы + 0,6 веса дели в воде». Воспользовавшись методом, предложенным проф. Ф. И. Барановым, подсчитаем время погружения нижней подборы невода высотой H. Разобьем глубину погружения H на n равных участков.

Время, затраченное на прохождение нижней подборой каждого участка,

$$t_i = 0{,}9 \cdot \frac{H}{n}\sqrt{\frac{H}{nq}}. \qquad (6)$$

Общее время погружения нижней подборы

$$T_0 = \sum_1^n t_i = \sum_1^n \cdot 0{,}9\frac{H}{n}\sqrt{\frac{H}{nq}}. \qquad (7)$$

Поскольку H, n, q величины постоянные,

$$T_0 = \sum_{1}^{n} \cdot 0{,}9 \cdot \frac{H}{n} \sqrt{\frac{H}{nq}} = n \cdot 0{,}9 \cdot \frac{H}{n} \sqrt{\frac{H}{nq}} = 0{,}9 H \sqrt{\frac{H}{nq}} . \qquad (8)$$

Если глубину погружения разбить на бесконечное число участков (т. е. $n \to \infty$), то $T_0 \to 0$ вместо того, чтобы стремиться к постоянной положительной величине, каким является общее время. Таким образом, окончательно убеждаемся в том, что формула (1) очень приближенная.

Некоторыми исследователями были предприняты попытки вывести более точную закономерность. Н. Н. Виноградов [3], например, рекомендовал производить расчеты по формуле

$$t = 0{,}66\, h \sqrt{\frac{K h}{q}} , \qquad (9)$$

где K — коэффициент, определяется экспериментальным путем.

Формула (9) выведена по методу Ф. И. Баранова, поэтому ей присущи все недостатки зависимости (1).

Определенный интерес представляет работа канд. техн. наук Н. Н. Андреева и А. Н. Трахтенгерца «Скорость погружения нижней подборы кошелькового невода» [2].

Исходное уравнение авторы записывают в виде

$$1{,}8\, y \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + KD \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = q + Py, \qquad (10)$$

где K — некоторый коэффициент;

D — условная толщина нижней кромки невода;

$KD \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$ — сопротивление нижней кромки невода;

q — вес 1 *м* нижней кромки невода;

P — вес 1 *м*² дели в воде.

Если это уравнение решить относительно $\frac{dy}{dt} = v$, получим

$$v = \sqrt{\frac{q + Py}{1{,}8 y + KD}} . \qquad (11)$$

Поскольку авторы считают, что силы инерции равны нулю, то замечания, сделанные выше по формуле проф. Ф. И. Баранова, имеют место и здесь. Поэтому заключение Н. Н. Андреева и А. Н. Трахтенгерца по формуле проф. Баранова (1) о том, что она справедлива только в том случае, когда погружение от поверхности до конца происходит совершенно равномерно, относится и к выведенной ими закономерности, но тогда $v=\text{const}$, а весь предыдущий вывод теряет смысл. Не все учли авторы и при составлении уравнения. Так, сопротивление сетного полотна будет входить в уравнение (10) в виде

$$1{,}8\, y \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \qquad (12)$$

только тогда, когда дель невесома, т. е. когда процесс погружения будет происходить, как представляет Ф. И. Баранов: «При выметывании полоска ляжет на поверхность воды, начнет постепенно расправляться и тонуть под влиянием веса нижней подборы, грузил, колец и пр.». Поскольку Ф. И. Баранов принимает дель в воде невесомой, то в его случае нижняя подбора, погружаясь, будет увлекать за собой дель, постепенно расправляя ее. В этом случае сопротивление дели действительно можно принять равным

$$R = 1{,}8\left(\frac{dy}{dt}\right)^2.$$

Совсем иначе будет происходить процесс погружения невода, если считать дель весомой. Здесь не только подбора будет увлекать за собой нижнюю часть дели, для которой сопротивление можно принять равным (12), но и одновременно с этим дель будет погружаться под собственным весом, расправляясь от верхней подборы.

Сопротивление последней явно нельзя представить в виде формулы (12). К концу погружения, видимо, часть дели (у верхней подборы) будет расправлена и неподвижна, часть будет продолжать погружаться под действием собственного веса, постепенно расправляясь, часть будет увлекаться нижней подборой. Отсюда совершенно очевидно, что нельзя представить общее сопротивление дели в виде (12), так как прирост (длина полосы) расправляющейся и увлекаемой подборой дели не равен глубине погружения y.

Вес дели, находящейся в движении, также нельзя представить в виде

$$G = Py, \qquad (13)$$

ибо по мере расправления верхней части невода вес погружающейся дели убывает.

По приведенным выше соображениям, полученную Н. Н. Андреевым и А. Н. Трахтенгерцем зависимость

$$t = \frac{1}{P}\sqrt{(Py+q)(1{,}8y+KD)} - \sqrt{qKD} -$$

$$-\frac{1{,}8-KD}{\sqrt{1{,}8P}} \times \ln\frac{\sqrt{1{,}8(Py+q)}+\sqrt{P(1{,}8y+KD)}}{\sqrt{1{,}8\,q}+\sqrt{PKD}} \qquad (14)$$

нельзя считать верной. [Этот вывод подтверждается также проверкой размерности формулы (14)].

Ниже приводится метод определения зависимости времени погружения нижней подборы кошелькового невода, свободный от перечисленных выше недостатков.

Представим, что процесс погружения невода происходит следующим образом. Загруженная нижняя подбора увлекает за собой часть дели, которая постепенно расправляется до некоторой высоты. Остальная часть дели погружается под действием собственного веса, при этом, начиная от верхней подборы, по мере расправления прекращает свое движение. Положим, что сопротивление нижней подборы с оснасткой и двигающейся дели равно

$$R = Kv^2. \qquad (15)$$

K является переменной величиной, зависящей от размеров и формы нижней подборы с оснасткой и высоты невода (размеров и формы жгута).

В начальный момент K в основном зависит от формы и размеров жгута невода. Затем по мере уменьшения жгута (поскольку с одной стороны, расправляясь от верхней подборы, часть дели прекращает свое движение, а остальная дель вовлекается в движение нижней подборой) в конце погружения K будет зависеть от формы и размеров самой подборы с оснасткой и размеров двигающейся за подборой параллельно потоку дели. Постепенное уменьшение размеров жгута будет способствовать уменьшению K. С другой стороны, одновременно с этим увеличение увлекаемой подборой дели способствует увеличению K. Таким образом, коэффициент K, видимо, будет изменяться для одного и того же невода в процессе погружения в нешироких пределах. Допустим, что K для одного и того же невода — величина постоянная (строго говоря будем подразумевать под K ее среднее значение).

Возьмем полосу невода высотой H, длиной 1 *м*. Положим, что длина полосы дели, находящейся в движении, равна φh, где $\varphi < 1$—постоянный коэффициент, учитывающий, что часть дели постепенно расправляется и останавливается (у верхней подборы). Тогда в принятой схеме погружения масса двигающейся дели будет равна

$$\mu (H - \varphi h), \tag{16}$$

где H — высота невода;

h — глубина погружения;

μ — масса 1 $м^2$ дели.

Масса загрузки (подбора с оснасткой, стяжной трос и пр.) пусть будет равна m_0 (при подсчете масс следует исходить из весов соответствующих материалов в воде).

Вся масса, участвующая в движении,

$$m = m_0 + \mu (H - \varphi h). \tag{17}$$

В общем виде уравнение движения согласно второму закону Ньютона имеет вид

$$\frac{d(mv)}{dt} = \Sigma F. \tag{18}$$

В нашем случае

$$\Sigma F = G - R = mg - K v^2.$$

Отсюда

$$m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} = mg - Kv^2 \tag{19}$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d[m_0 + \mu (H - \varphi h)]}{dt} = -\mu \varphi \frac{dh}{dt} = -\mu \varphi v.$$

Подставим значения m и $\frac{dm}{dt}$ в (19)

$$[m_0 + \mu (H - \varphi h)] \frac{dv}{dt} - \mu \varphi v^2 = [m_0 + \mu (H - \varphi h)] g - Kv^2.$$

Отсюда основное уравнение принимает вид:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{K - \mu \varphi}{m_0 + \mu (H - \varphi h)} v^2 = g. \tag{20}$$

Для удобства вычисления произведем преобразования

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dh}{dh} = v \frac{dv}{dh},$$

$$\frac{K-\mu\varphi}{m_0+\mu(H-\varphi h)}=\frac{\dfrac{K}{\mu\varphi}-1}{\dfrac{m_0}{\mu\varphi}+\left(\dfrac{H}{\varphi}-h\right)}.$$

Пусть

$$\frac{K}{\mu\varphi}=a;\ \frac{m_0}{\mu\varphi}=b;\ \frac{H}{\varphi}-h=y;$$

тогда

$$\frac{K-\mu\varphi}{m_0+\mu(H-\varphi h)}=\frac{a-1}{b+y},$$

$$\frac{dv}{dh}=-\frac{dv}{dy}.$$

Подставив в (20), получим

$$v\frac{dv}{dy}-\frac{a-1}{b+y}v^2=-g. \qquad (21)$$

Для решения (21) положим $v^2=uz$, тогда

$$2v\frac{dv}{dy}=u\frac{dz}{dy}+z\frac{du}{dy}$$

или

$$v\frac{dv}{dy}=\frac{1}{2}\left(u\frac{dz}{dy}+z\frac{du}{dy}\right).$$

Подставим в (21)

$$u\frac{dz}{dy}+z\frac{du}{dy}-2\frac{a-1}{b+y}uz=-2g. \qquad (22)$$

Выберем u таким образом, чтобы

$$\frac{du}{dy}-2\frac{a-1}{b-y}u=0,$$

отсюда

$$u=(b+y)^{2(a-1)}. \qquad (23)$$

Из уравнения (22) с учетом (23) имеем

$$dz=-2g\frac{dy}{u}=-2g(b+y)^{-2(a-1)}\,dy$$

или

$$z=\frac{2g}{(2a-3)(b+y)^{2a-3}}+C.$$

После упрощений получим

$$uz=v^2=2g\frac{b+y}{2a-3}+C(b+y)^{2(a-1)}. \qquad (24)$$

Исходя из начальных условий, найдем постоянную C при $t=0$, $h=0$, $v=0$, $y=\dfrac{H}{\varphi}$, поэтому

$$0=\frac{2g\left(b+\dfrac{H}{\varphi}\right)}{2a-3}+C\left(b+\frac{H}{\varphi}\right)^{2(a-1)},$$

отсюда

$$C=-\frac{2g}{(2a-3)\left(b+\dfrac{H}{\varphi}\right)^{2a-3}}.$$

Подставим значение в (24)

$$v^2=2g\,\frac{b+y}{2a-3}-2g\,\frac{(b+y)^{2(a-1)}}{(2a-3)\left(b+\dfrac{H}{\varphi}\right)^{2a-3}} \tag{25}$$

или

$$v^2=2g\,\frac{b+y}{2a-3}\left[1-\left(\frac{b+y}{b+\dfrac{H}{\varphi}}\right)^{2a-3}\right].$$

Принимая во внимание, что

$$a=\frac{K}{\mu\varphi}=\frac{gK}{g\mu\varphi}=\frac{gK}{P\varphi};$$

$$b=\frac{m_0}{\mu\varphi}=\frac{gm_0}{g\mu\varphi}=\frac{G}{P\varphi};$$

$$y=\frac{H}{\varphi}-h,$$

имеем

$$v^2=2g\,\frac{\dfrac{G}{P\varphi}+\left(\dfrac{H}{\varphi}-h\right)}{\dfrac{2gK}{P\varphi}-3}\left[1-\left(\frac{\dfrac{G}{P\varphi}+\dfrac{H}{\varphi}-h}{\dfrac{G}{P\varphi}+\dfrac{H}{\varphi}}\right)^{\frac{2gK}{P\varphi}-3}\right].$$

После упрощений окончательно получим

$$v=\sqrt{\frac{\dfrac{G}{P}+(H-\varphi h)}{\dfrac{K}{P}-\dfrac{3\varphi}{2g}}\left[1-\left(1-\frac{\varphi h}{\dfrac{G}{P}+H}\right)^{\frac{2gK}{P\varphi}-3}\right]}, \tag{26}$$

где G — вес 1 *м* нижней подборы с оснасткой в воде (включая стяжной линь);
P — вес 1 *м*² дели в воде (в посадке);
K — коэффициент сопротивления;
φ — коэффициент;
H — высота невода в посадке;
h — глубина погружения нижней подборы;
g — ускорение силы земного притяжения.

Проанализируем выражение

$$\left(1-\frac{\varphi h}{\frac{G}{P}+H}\right)^{\frac{2gK}{P\varphi}-3}. \qquad (27)$$

Если принять $K=1,0$ (на самом деле, как увидим ниже, K значительно больше) и $\varphi=1$, то для капронового невода из дели 34/12 с ячеей 18 *мм*

$$\frac{2gK}{P\varphi}=\frac{2\cdot 9,81\cdot 1}{0,007\cdot 1}=2803.$$

Пусть загрузка невода равна $G=1,8$ *кг*, а высота невода — 36 *м* (в посадке).

Предположим, что невод погрузился на 0,36 *м*, т. е. 0,01 H, тогда

$$\left(1-\frac{0,36}{257+36}\right)^{2803-3}=(1-0,00123)^{2800}=0,0398.$$

При погружении на $0,02H$ (0,72 *м*)

$$\left(1-\frac{0,72}{257+36}\right)^{2803-3}=(1-0,00246)^{2800}=0,00158.$$

Таким образом, с большой степенью точности можно принять

$$\left(1-\frac{\varphi h}{\frac{G}{P}+H}\right)^{\frac{2gK}{P\varphi}-3}\approx 0.$$

Тогда

$$v=\sqrt{\frac{\frac{G}{P}+(H-\varphi h)}{\frac{K}{P}-\frac{3\varphi}{2g}}} \qquad (28)$$

или

$$v=\sqrt{2g\frac{G+P(H-\varphi h)}{2gK-3\varphi P}}. \qquad (29)$$

Как видно из (26), выражение (27) влияет на скорость погружения при h и v, близких к нулю. Отсюда можно предположить следующий физический смысл выражения (27).

В первоначальный момент при h, близкой к нулю, скорость тоже близка к нулю, а следовательно, сопротивление погружению $R=Kv^2$ очень мало. В этот период скорость невода изменяется от нуля до какой-то максимальной величины, а затем (когда сопротивление, пропорциональное квадрату скорости, быстро возросло) начинает убывать. Выражением (27) и учитывается быстрый рост скорости в начале погружения.

Из приведенного выше численного примера видно, что (27) влияет на скорость погружения сколько-нибудь существенно на участке 0—$0,01H$, т. е. очень короткий промежуток времени. Ниже будет показано, что $K=70\div 100$. Поэтому в формуле (29)

$$2gK = 2 \cdot 9{,}81 \cdot 70 = 1375.$$

Вместе с этим для дели 34/12 значение $3\varphi P$ равно

$$3\varphi P = 3 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}007 = 0{,}021,$$

или 0,0015% от $2g\,K$.

Отсюда с очень большой точностью можно принять

$$v = \sqrt{2g\,\frac{G + P(H - \varphi h)}{2g\,K}},$$

или

$$v = \sqrt{\frac{G + P(H - \varphi h)}{K}}. \tag{30}$$

Проверим размерность формулы (30):

$G = (кГ)$;

$P = \left(\frac{кГ}{м}\right)$;

$H = (м)$;

$h = (м)$;

$K = \left(\frac{кГ \cdot сек^2}{м^2}\right)$;

$\varphi = [1]$.

$$v = \sqrt{\frac{кГ + \frac{кГ}{м}\,м}{\frac{кГ \cdot сек^2}{м^2}}} = \left[\frac{м}{сек}\right].$$

Для определения времени погружения перепишем (30) в виде

$$v = \sqrt{\frac{P\varphi}{K}}\ \sqrt{\frac{G}{P\varphi} + \left(\frac{H}{\varphi} - h\right)}, \tag{31}$$

пусть

$$\sqrt{\frac{P\varphi}{K}} = \eta; \quad \frac{G}{P\varphi} = \xi; \quad \frac{H}{\varphi} - h = y; \quad dh = -dy,$$

тогда

$$v = \eta\sqrt{\xi + y} \tag{32}$$

или

$$-\frac{dy}{dt} = \eta\sqrt{\xi + y}.$$

Разделим переменные

$$dt = -\frac{dy}{\eta\sqrt{\xi + y}}.$$

Проинтегрируем

$$t = -\frac{2}{\eta}\sqrt{\xi + y} + C.$$

При $t=0$; $h=0$; $y=\frac{H}{\varphi}$,

отсюда

$$C_1=\frac{2}{\eta}\sqrt{\xi+\frac{H}{\varphi}}$$

или

$$t=\frac{2}{\eta}\left(\sqrt{\xi+\frac{H}{\varphi}}-\sqrt{\xi+y}\right). \quad (33)$$

Подставив значение η, ξ и y и проведя упрощения, получим

$$t=\frac{2}{\varphi}\sqrt{\frac{K}{P}}\left(\sqrt{\frac{G}{P}+H}-\sqrt{\frac{G}{P}+(H-\varphi h)}\right). \quad (34)$$

Проверим размерность формулы (34)

$$t=\sqrt{\frac{кГ\cdot сек^2}{м^2}:\frac{кГ}{м}}\sqrt{м}=сек.$$

Общее время погружения нижней подборы невода на глубину H

$$T_0=\frac{2}{\varphi}\sqrt{\frac{K}{P}}\left(\sqrt{\frac{G}{P}+H}-\sqrt{\frac{G}{P}+(1-\varphi)\,H}\right). \quad (35)$$

Средняя скорость погружения подборы на глубину H будет:

$$v_{ср}=\frac{\varphi H}{2\sqrt{\frac{K}{P}}\left(\sqrt{\frac{G}{P}+H}-\sqrt{\frac{G}{P}+(1-\varphi)\,H}\right)}. \quad (36)$$

Значение P подсчитывается по формуле

$$P=\frac{\psi}{u_1 u_2}\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right), \quad (37)$$

где ψ — вес 1 $м^2$ условной площади дели, *кг;*
u_1, u_2 — посадочные коэффициенты;
γ — удельный вес сетематериалов.

Коэффициенты K и φ определяют из натурных испытаний. Как уже отмечалось выше, на коэффициент K влияют размеры и форма нижней подборы с оснасткой, высота невода (размеры и форма жгута), толщина нитки, шаг ячеи, загрузка и другие факторы. С целью учета перечисленных факторов можно положить

$$K=\lambda\frac{d}{a}H\sqrt[3]{\frac{P}{G}}, \quad (38)$$

где λ — коэффициент;
d — диаметр нитки;
a — шаг ячеи.

Для проверки полученных зависимостей воспользуемся данными по скорости погружения нижней подборы кошельковых неводов, полученными В. Н. Гиренко [5] в промысловых испытаниях. По этим данным скорость погружения подборы обычного сельдевого невода высотой

60 *м* (в жгуте) была при загрузке 1,8 *кг* — 8,5 *м/мин*, а при загрузке 2,5 *кг* — 10,5 *м/мин*. Экспериментальный невод из более тонкой нитки при загрузке 3,3 *кг* погружается со скоростью 11,5—12 *м/мин*.

Характеристика невода

	Обычный промысловый	Экспериментальный
Высота в посадке, *м* .	36	52,8
Посадочный коэффициент	0,8	0,707
Материал	капрон 34/12	капрон 34/9
Шаг ячеи, *мм*	18	18
Диаметр нитки, *мм* . .	0,95	0,77
Вес 1 $м^2$ невода (в воде), *кГ*	0,00711	0,00496
Загрузка (вес в воде), *кГ*	1,8 и 2,5	3,3

По формуле (36) для промыслового невода при загрузке 1,8 и 2,5 *кГ* имеем

$$8{,}5:60=\frac{\varphi\cdot 36}{2\sqrt{\frac{K_{1,8}}{0{,}00711}}\left(\sqrt{\frac{1{,}8}{0{,}00711}+36}-\sqrt{\frac{1{,}8}{0{,}00711}+(1-\varphi)\,36}\right)}, \qquad (39)$$

$$10{,}5:60=\frac{\varphi\cdot 36}{2\sqrt{\frac{K_{2,5}}{0{,}00711}}\left(\sqrt{\frac{2{,}5}{0{,}00711}+36}-\sqrt{\frac{2{,}5}{0{,}00711}+(1-\varphi)36}\right)}. \qquad (40)$$

Приняв в первом приближении $K_{1,8}=K_{2,5}$ и решив систему, получим $\varphi=0{,}2$.

Из уравнения (39) при $\varphi=0{,}2$ имеем $K=94{,}7$.

На основе полученных данных находим для формулы (38) коэффициент

$$\lambda=\frac{94{,}7}{\frac{0{,}95}{18}\,36\sqrt[3]{\frac{0{,}00711}{1{,}8}}}=316.$$

Таким образом, формула (38) принимает вид:

$$K=316\cdot\frac{d}{a}\,H\sqrt{\frac{P}{G}}. \qquad (41)$$

Для загрузки 2,5 и 3,3 *кГ* по формуле (41) получаем

$$K_{2,5}=316\cdot\frac{0{,}95}{18}\cdot 36\sqrt[3]{\frac{0{,}00711}{2{,}5}}=84{,}8;$$

$$K_{3,3}=316\cdot\frac{0{,}77}{18}\cdot 52{,}8\sqrt[3]{\frac{0{,}00496}{3{,}3}}=82{,}0.$$

Отсюда скорости погружения промыслового невода с загрузкой 2,5 *кГ* и экспериментального с загрузкой 3,3 *кГ* равны:

$$v_{ср.\,2,5}=\frac{0,2\cdot 36}{2\sqrt{\frac{84,8}{0,00711}}\left(\sqrt{\frac{2,5}{0,00711}+36}-\sqrt{\frac{2,5}{0,00711}+28,8}\right)}=0,176\ м/сек;$$

$$v_{ср.\,3,3}=\frac{0,2\cdot 36}{2\sqrt{\frac{82}{0,00496}}\left(\sqrt{\frac{3,3}{0,00496}+52,8}-\sqrt{\frac{3,3}{0,00496}+41,3}\right)}=0,199\ м/сек.$$

Ниже приведены скорости погружения нижней подборы, подсчитанные по формуле Ф. И. Баранова (с учетом веса дели), и полученной зависимости (36) в сравнении с опытными данными (см. таблицу).

Характеристика невода	Скорость погружения по формуле Ф. И. Баранова, *м/мин*	Скорость погружения по формуле (36), *м/мин*	Результаты замеров В. Н. Гиренко
$H=36$ *м*, 34/12, $a=18$ *мм*, загрузка 1,8 *кГ*	15,5	8,56	8,5
$H=36$ *м*, 34/12, $a=18$ *мм*, загрузка 2,5 *кГ*	18,0	10,54	10,5
$H=52,8$ *м*, 34/9, $a=18$ *мм*, загрузка 3,3 *кГ*	17,2	11,92	11,5—12

Из таблицы видно, что при подсчете по формуле (1) скорости погружения получаются значительно выше фактических. Для выяснения степени влияния на скорость погружения сил инерции вычислим их значение. В связи с тем, что вычисленные выше скорости и коэффициенты φ и K являются средними величинами, определение сил инерции произведем на глубине $0,5H$. Из уравнения (20) находим

$$[m_0+\mu(H-\varphi h)]\ \frac{dv}{dt}=G+P(H-\varphi h)-(K-\mu\varphi)v^2.$$

Левая часть уравнения и является силой инерции I:

$$I=G+P(H-\varphi h)-(K-\mu\varphi)v^2. \qquad (42)$$

Подставим в (42) численные значения

$$I_{1,8}=1,8+0,00711\,(36-0,2\cdot 0,5\cdot 36)-$$
$$-\left(94,7-\frac{0,00711}{9,81}\,0,2\right)0,1417^2=0,13\ кГ,$$

$$I_{3,3}=3,3+0,00496\,(52,8-0,2\cdot 0,5\cdot 52,8)-$$
$$-\left(82-\frac{0,00496}{9,81}\,0,2\right)0,199^2=0,296\ кГ.$$

Отсюда находим, что даже среднее значение силы инерции составляет 6,4—8,4% от загрузки, поэтому эта сила может оказать на скорость погружения нижней подборы существенное влияние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Ф. И. Техника промышленного рыболовства, Пищепромиздат, 1960.
2. Андреев Н. Н. и Трахтенгерц А. Н. Скорость погружения нижней подборы кошелькового невода. Труды Калрыбвтуза. Вып. 11, 1960.
3. Виноградов Н. Н. Скорость погружения нижней подборы кошельковых неводов. Труды АзчерНИРО. Вып. 14, 1950.
4. Гиренко В. Н. Некоторые результаты натурных испытаний промысловых конструкций кошельковых неводов. За дальнейшее развитие кошелькового лова рыбы. ЦБТИ Главдальвостокрыбпрома. Владивосток, 1962.
5. Гиренко В. Н. Новое в кошельковом лове сельди. Южно-Сахалинск, 1961.