

УДК 664.95.002.5—26:539.62

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЫБ ДЛЯ КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

Н. И. ЖИЛИН

**Методика морфометрических измерений рыб.** Для конструирования рыбообрабатывающих машин данные биологических измерений не дают достаточно сведений о форме тела и внутреннем строении рыбы. Для этих целей необходимо кроме основных внешних размеров иметь ряд данных, характеризующих внутреннее строение и форму позвоночника. Исследуемых рыб подвергают нескольким измерениям штангенциркулем. Линейные величины выражают в миллиметрах или в сантиметрах (рис. 1).

Сбор данных целесообразно проводить в следующем порядке.

Из улова берется общая проба определенной объемной массы (корзина, ящик и др.). Производится рассортировка рыб по классам вариационного ряда и определяется число особей (частота вариантов) в каждом классе. Для мелких рыб классовый промежуток удобнее брать в пределах одного сантиметра, для средних — 3 см, крупных — 5 см. Затем необходимо определить среднюю массу рыб по классам. Полученные таким образом данные характеризуют в основном модальное значение размеров рыб в уловах, но не дают основных морфометрических характеристик для конструкторских работ. В связи с этим для принятого вариационного ряда необходимо произвести измерения рыб по основным

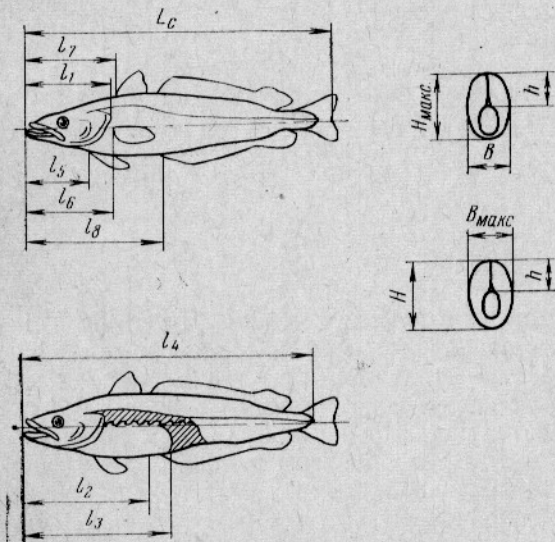


Рис. 1. Схема основных измерений рыб:

$L_c$  — длина рыб по Смиуту;  $l_1$  — длина головы;  $l_2$  — длина от начала рыла до анального отверстия;  $l_3$  — длина до конца брюшной полости;  $l_4$  — длина тела до конца чешуйчатого покрова;  $l_5$  — длина до брюшного плавника;  $l_6$  — длина до грудного плавника;  $l_7$  — длина до спинного плавника;  $l_8$  — длина до заанального плавника;  $H_{\max}$  — наибольшая высота тела;  $B_{\max}$  — наибольшая толщина тела;  $h$  — наибольшая высота спинки.

морфометрическим признакам (табл. 1), определить средние размеры по классам с указанием числа особей, если эти средние найдены не в соответствии с частотой вариационного ряда.

Следует отметить, что наибольшая высота и ширина тела для отдельных видов рыб не лежат в одном сечении, поэтому эти величины следует определять отдельно с указанием их координат в последней колонке табл. 1.

При составлении вариационного ряда следует брать не менее 1000 рыб, но чем больше, тем лучше. При определении средних размеров отдельных частей тела рыб без привязки к частотам вариационного ряда следует для каждого класса брать не менее 100 рыб при классовом промежутке 1 см. Если классовый промежуток больше, то количество рыб должно увеличиваться пропорционально увеличению классового промежутка. Кроме средних значений измеряемых величин в таблицу необ-

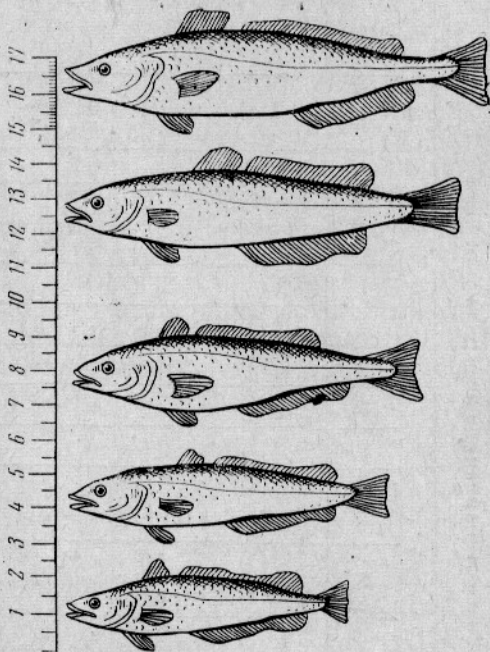


Рис. 2. Схема натурального фотографирования рыб на фоне мерной линейки.

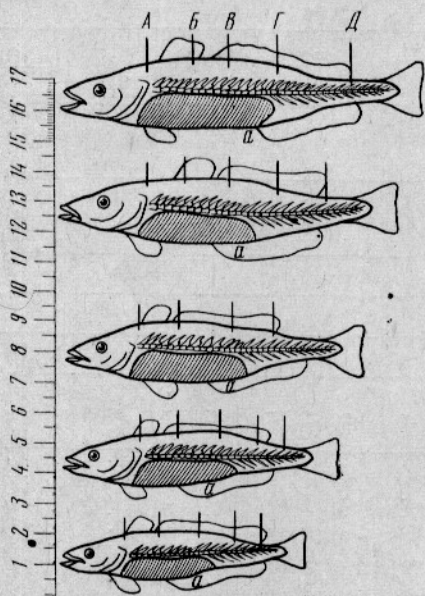


Рис. 3. Схема натурального фотографирования рыб с размерами и сечениями.

Морфометрические характеристики и средние массы (в г) по классам вариационного ряда для хека  
(Merluccius muculatus)

Варианты по классам вариационного ряда	Обозначения	Длина рыб по Смиуту, см																		Количество рыб по классам	Примечание		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90			95	
Частота, % . . . . .	$L_c$	0,1	0,3		4,5	8,1	4,2	12,8	28,7	21,5	7,8	3,9	3,1	1,8	1,2	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1		Σ 100%
Частота, шт. . . . .	$P_c$	28	85		1280	2300	1190	3660	8160	6100	2200	1100	880	510	340	200	140	85	57	57	28		Σ 28 400
Средняя масса по классам, г . . . . .	$G$				90	120	170	250	400	630	800	1050	1300	1500	1750	2000	2150						
Среднее расстояние по классам от начала рыла, см . . . . .																							
до конца жаберных крышек . . . . .	$l_1$				5,5—6,5 6	6,5—7,5 7,0	7—8 7,5	8—11 9,6	10—12 10,5	11—14 11,8	13—16 13,5	16—18 17	17—19 18									250	
до анального отверстия . . . . .	$l_2$						8—11 9,5	12—16 14	16—18 17	19—21 20	23—25 24											150	
до конца брюшной полости . . . . .	$l_3$						10—12 11	15—17 16	17—21 19	21—25 23	26—30 28											150	
до конца чешуйчатого покрова . . . . .	$l_4$						23—26 24	27—31 29	32—36 34	36—40 38	41—44 42	45—50 48										180	
до брюшного плавника . . . . .	$l_5$						4,5—5,5 5	5—7 6	6—8 7	7—9 8	10—13 11	13—16 15										120	
до грудного плавника . . . . .	$l_6$						6—8 7	8—10 9	9—11 10	10—12 11	12—14 13	13—15 14										120	
до спинного плавника . . . . .	$l_7$						7—9 8	9—11 10	10—12 11,5	12—14 13	13—16 14	16—19 17,5										120	
до заанального плавника . . . . .	$l_8$						12—14 13	14—16 15	17—19 18	19—21 20	21—23 22	24—26 25										120	
Наибольшая высота тела . . . . .	$H_{\max}$						3—4 3,6	4—6 5	5—6 5,8	5—7 6	6—8 7											90	
Наибольшая толщина тела . . . . .	$B_{\max}$						4,5—5,5 5	5—6 5,5	5—6,5 6,6	7—9 8,5	8—10 8,8											90	
Наибольшая высота спинки . . . . .	$h_{\max}$						2—3 2,6	2—4 3	3—5 3,8	3,5—5 4	4—6 5											90	
Диаметр чешуи, мм . . . . .	$d$						3	3,5	4	4,5	5											10	
Толщина чешуи, мм . . . . .	$b$						0,2	0,2	0,3	0,3	0,4											10	

Примечание. В числителе приводятся крайние значения варианта признака по классам вариационного ряда, под чертой — средние значения.

ходимо вносить и крайние значения по классам вариационного ряда.

Для определения необходимых дополнительных линейных данных, не охваченных таблицей, необходимо натурное фотографирование рыб с разрезами и сечениями на координатной сетке или на фоне мерной линейки. Для этого подбирается по три экземпляра рыб равной длины из каждого класса вариационного ряда. Первые экземпляры рыб размещаются на координатной сетке от наибольшего до наименьшего экземпляра сверху вниз рылом на одну линию, хвостом вправо (рис. 2). Вторые экземпляры располагаются так же, но у них срезается боковая часть тела и для контрастности брюшная часть окрашивается черной тушью (рис. 3). У третьих экземпляров вырезаются и фотографируются сечения тела. Сечения располагаются в такой же последовательности, как и основные виды, но на основных видах делается контрастная отметка, указывающая координату привязки каждого сечения для каждого экземпляра рыб вариационного ряда.

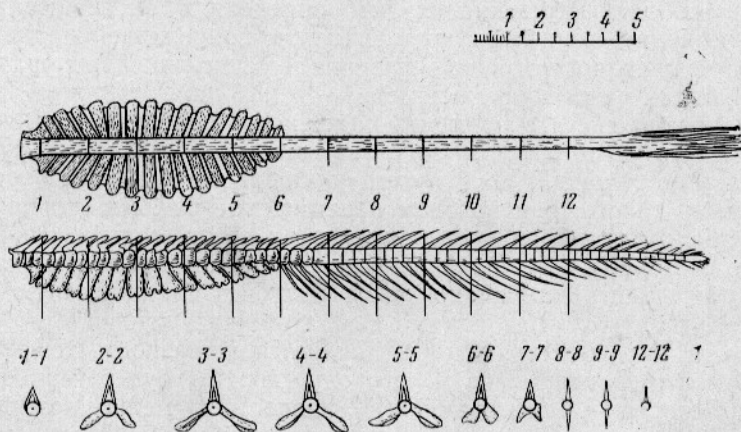


Рис. 4. Схема натурального фотографирования позвоночной кости рыб.

Кроме этих работ, необходимо фотографирование позвоночной кости с ребрами. Для этого выбирается несколько рыб, желательно наибольшего, среднего и наименьшего промыслового размера. После обварки позвоночник очищается и фотографируется в двух проекциях с разрезами по отдельным позвонкам (рис. 4).

Таким образом, для рыб каждого вида необходимо составить таблицу основных линейных размеров тела по классам вариационного ряда и сделать четыре фотографии — натуральный внешний вид этого ряда, внутреннее строение и форму позвоночника.

Всего необходимо выполнить около 20 000 измерений для каждого вида. Работу желательно проводить двум сотрудникам с заранее подготовленными бланками таблиц.

**Методика определения коэффициентов трения рыб на виброповерхностях.** Одной из главных задач комплексной механизации и автоматизации первичной обработки рыбы является автоматизация загрузки рыбы в рыборазделочные машины. Этот процесс весьма сложен и связан в основном с сортировкой и ориентацией рыбы в потоке.

Наибольшее распространение получили загрузочные устройства, работающие на принципе перемещения рыбы на виброповерхностях. Однако следует отметить, что расчет рабочих параметров этих устройств

связан с рядом трудностей, которые не поддаются решению известными в инженерной практике методами. Основная трудность обусловлена нелинейностью и неаналитичностью дифференциальных уравнений процесса виброперемещений и отсутствием данных о коэффициентах трения рыб на виброповерхностях.

В работах Ю. В. Поспелова (1968) и С. Л. Бриля, В. Н. Коржова и В. Ф. Косова (1968) приводится расчет параметров виброколебаний по эмпирическим формулам и таблицам к ним, вычисленным на ЭВМ. Этот метод существенно упрощает процесс расчета, но предназначен лишь для решения частных задач, что ограничивает его применение, так как таблицы рассчитаны без учета изменения коэффициентов трения рыб при движении по виброповерхностям.

В связи с важностью последнего вопроса нами разработан графо-аналитический метод расчета параметров колебательного движения виброповерхностей. Этот метод позволил вычислить частоту и амплитуду колебаний виброповерхностей для заданной скорости перемещения рыб. Если скорости перемещения рыб определяли экспериментально, то метод позволял вычислить коэффициенты сопротивления движению рыб по виброповерхностям путем решения кусочно-линейных уравнений, соответствующих режиму движения.

Нами установлено, что повысить надежность ориентации рыб и производительность устройств при загрузке можно не только в результате конструктивных решений, но и путем подбора режима виброперемещений, например такого, при котором перемещение рыбы в сторону головы будет значительным, а в сторону хвоста очень малым, причем перемещение в сторону хвоста предназначено в основном только для создания искусственного зацепления рыбы чешуей и плавниками за виброповерхность. Для этого необходимо выбрать такие условия (рыба, виброповерхность и режим движения), при которых разность коэффициентов сопротивления движению в сторону хвоста будет наибольшей, а в сторону головы — наименьшей, т. е. разность  $\Delta f$  между коэффициентом сопротивления движению при перемещении рыбы в сторону хвоста  $f''_x$  и коэффициентом сопротивления движению при перемещении рыбы в сторону головы  $f''_r$  будет наибольшей при условии, что  $f''_r \rightarrow 0$ .

Следует заметить, что само понятие «коэффициент трения» для пары рыба — поверхность перемещения не является достоверным, так как площадь контакта непостоянна и зависит от реологических свойств тела рыбы. Тело рыбы обладает свойством ползучести, т. е. деформируется под действием собственной массы, что приводит к изменению фактической площади контакта в зависимости от состояния рыбы и продолжительности взаимодействия ее с поверхностью опоры. Непостоянными оказываются смоченность поверхности перемещения, наличие чешуи и слизи на рыбе и другие факторы, поэтому понятие «коэффициент трения» следует заменить более достоверным понятием «коэффициент сопротивления движению» для условий (рыба, поверхность и режим движения), которые учитывают сумму всех известных и неизвестных коэффициентов и позволяют вести достоверный расчет процесса перемещения.

Для определения этих коэффициентов нами разработана методика, которая заключается в следующем.

Известно, что рыба начинает двигаться по виброповерхности при условии, что силы инерции, направленные в сторону головы, будут больше сил трения. Равновесие сил будет определять критическое положение начала движения рыбы. Математически это можно записать так:

$$P_{\text{и}} \geq F_{\text{тр}}. \quad (1)$$

Рассмотрим случай, когда

$$P_{\text{и}} = F_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{и}} = m r \omega^2 \cos \omega t$  — сила инерции; (3)

$$F_{\text{тр}} = m g f'_{\Gamma} \text{ — сила трения.} \quad (4)$$

При условии, что  $\cos \omega t = 1$ , получим

$$m r \omega^2 = m g f'_{\Gamma}; \quad (5)$$

$$r \omega^2 = g f'_{\Gamma},$$

или

$$r \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 = g f'_{\Gamma}. \quad (6)$$

Тогда

$$f'_{\Gamma} = \frac{r \pi^2 n^2}{30^2 g}, \quad (7)$$

где  $r$  — амплитуда колебаний;

$n$  — частота вращения кривошипа, об/мин;

$g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$f'_{\Gamma}$  — коэффициент трения начала движения рыб головой вперед на виброповерхности.

Опытным путем подбирается частота и амплитуда колебаний.

Установив на вибростол испытуемый желоб, выбираем амплитуду колебаний, затем в желоб укладываем рыбу таким образом, чтобы рыло находилось против отметки, нанесенной на желобе.

Путем плавного увеличения частоты вращения кривошипа достигается такое положение, когда рыба начнет двигаться относительно отметки на желобе. Значение амплитуды, частоты вращения кривошипа подставляем в формулу (7) и вычисляем коэффициент трения.

Зная величину коэффициента трения  $f'_{\Gamma}$ , можно определить коэффициент трения начала движения рыбы в сторону хвоста  $f'_{\text{х}}$ , если угол наклона виброжелоба к горизонту, определенный опытным путем, будет таким, при котором движение рыбы головой вверх по наклонной поверхности прекратится для любых значений произведения  $r \omega$ .

Для вывода формулы для определения коэффициента  $f'_{\text{х}}$  рассмотрим действие сил на рыбу, лежащую на плоскости, которая расположена под углом  $\alpha$  к горизонту (рис. 5), при условии, что виброколебания

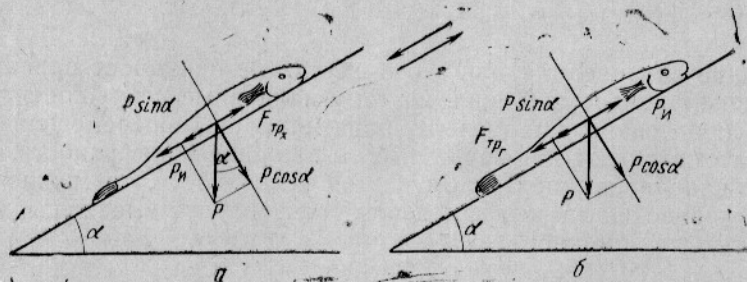


Рис. 5. Действие сил на рыбу, лежащую на наклонной плоскости, при условии, что виброколебания направлены параллельно плоскости: а — сдвиг в сторону хвостового плавника; б — сдвиг в сторону головы.

направлены параллельно плоскости, а рыба имеет тенденцию сдвига в сторону хвоста (рис. 5, а).

Условие равновесия можно записать так:

$$P_{и} = F_{тр_x} - P \sin \alpha, \quad (8)$$

где  $F_{тр_x} = f'_x N = f'_x P \cos \alpha$  — сила трения при движении рыбы в сторону хвоста;

$N$  — сила нормального давления;

$P_{и} = m r \omega^2 \cos \omega t$  — сила инерции.

Тогда условие равновесия для положения, при котором рыба будет иметь тенденцию сдвига в сторону головы (рис. 5, б), можно записать как

$$P_{и} = F_{тр_r} + P \sin \alpha;$$

$$F_{тр_r} = f'_r N = f'_r P \cos \alpha; \quad P_{и} = m r \omega^2 \cos \omega t. \quad (9)$$

Учитывая, что как для первого, так и для второго случая силы инерции остаются постоянными, так как  $m r \omega^2 = \text{const}$  из условия опыта, правые части равенства можно свести в уравнение

$$F_{тр_x} - P \sin \alpha - F_{тр_r} + P \sin \alpha, \quad (10)$$

или

$$f'_x P \cos \alpha - P \sin \alpha = f'_r P \cos \alpha + P \sin \alpha.$$

Разделив левую и правую части равенства на  $P \cos \alpha$ , получим:

$$f'_x = f'_r + 2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (11)$$

Следовательно, зная коэффициент  $f'_r$  и предельный угол  $\alpha$  наклона плоскости к горизонту, когда  $S_t = S_{t_r} - S_{t_x} = 0$  ( $S_t$  — общая величина перемещения рыбы за период;  $S_{t_r}$  — перемещение в сторону головы;  $S_{t_x}$  — перемещение в сторону хвоста), можно определить коэффициент трения  $f'_x$ .

Следует отметить, что приведенные коэффициенты трения для этого случая можно записать следующими формулами:

$$\left. \begin{aligned} f_{пр_x} &= f'_x - \operatorname{tg} \alpha; \\ f_{пр_r} &= f'_r + \operatorname{tg} \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Изменение сил инерции для этого случая не оказывает влияния на величину коэффициентов трения, поэтому найденные коэффициенты могут быть использованы при расчетах параметров виброперемещения рыб.

Если рассматривать движение рыб по наклонной поверхности, то можно установить, что приведенные коэффициенты трения будут выражены другой зависимостью, а именно:

$$\left. \begin{aligned} f_{пр_x} &= \operatorname{tg} (\alpha'_x - \alpha); \\ f_{пр_r} &= \operatorname{tg} (\alpha'_r + \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где  $\alpha'_x$  и  $\alpha'_r$  — углы трения;

$\alpha$  — угол наклона плоскости к горизонту в случае, если виброколебания направлены по горизонтали.

При этом изменение сил инерции оказывает влияние на величину коэффициентов трения, так как коэффициенты трения обратно пропорциональны величине сил нормального давления рыбы на поверхность опоры:

$$f_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{тр}}}{N}.$$

Силы нормального давления при указанных выше условиях будут зависеть от величины  $r\omega$ . Следовательно, коэффициенты трения, найденные по результатам данного опыта, не будут достоверными. Поэтому для определения истинного значения коэффициентов трения  $f'_r$  и  $f'_x$  мы пользовались условием, при котором направление перемещения рыб совпадает с направлением виброколебаний.

Вычислив значение коэффициентов трения начала движения  $f'_r$  и  $f'_x$ , можно определить коэффициенты сопротивления движению  $f''_r$  и  $f''_x$  для конкретных условий перемещения.

Для этого необходимо установить интервал оборотов кривошипа ( $n_{\text{мин}}$ ,  $n_{\text{макс}}$ ) для  $r = \text{const}$ , когда рыба будет двигаться только в сторону головы:

$$n_{\text{мин}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{gf'_r}{r}}; \quad (14)$$

$$n_{\text{макс}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{gf'_x}{r}}; \quad (15)$$

где  $n_{\text{мин}}$  и  $n_{\text{макс}}$  — наименьшее и наибольшее значения оборотов кривошипа для этого режима движения;

$r$  — амплитуда колебаний;

$f'_r$  и  $f'_x$  — коэффициенты трения начала движения рыб по виброповерхности;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Для этого интервала оборотов опытным путем определяется ряд значений средней скорости  $v_{\text{ср.оп}}$  движение рыбы на испытуемой виброповерхности.

На основании полученных результатов строим график скорости  $v_{\text{ср.оп}} = f(n)$  (рис. 6).

Затем, подставляя значения  $v_{\text{ср.оп}}$  в формулу теоретической скорости указанного выше режима движения, определяем  $f''_r$  из условия  $v_{\text{ср.теор}} = v_{\text{ср.оп}}$ .

$$v_{\text{ср. теор}} = \left[ \frac{v_0^2 - v_1^2}{2gf'_r} + r(\cos \omega t_1 - \cos \omega t_0) \right] \frac{n_p}{60}, \quad (16)$$

где  $v_0 = r\omega \sin \omega t_0$  — скорость плоскости в момент начала скольжения рыбы головой вперед;

\* Вывод формулы (16) изложен в работе Н. И. Жилина и В. Ф. Затерчука «Графоаналитический метод расчета перемещения рыб на виброповерхностях». — «Труды АзчерНИРО», 1972, вып. 32.



$v_1 = r\omega \sin \omega t_1$  — переносная скорость плоскости в конце скольжения рыбы головой вперед;

$\omega t_0 = \arccos \frac{gf'_r}{r\omega^2}$  — фазовый угол начала скольжения рыбы головой вперед;

$\omega t_1$  — фазовый угол конца скольжения;

$n_p$  — рабочая частота вращения кривошипа, об/мин.

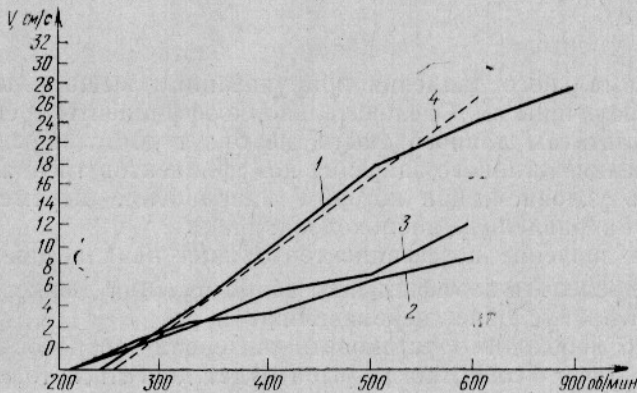


Рис. 6. График скорости движения бычков ( $v_{ср} = f(n)$ ;  
 $r = 0,6$  см;  $n_{мин} = 220$  об/мин):

1 — сетка  $2 \times 2$  мм; 2 — оцинкованная сталь; 3 — пищевая сталь;  
4 — металлическая сетка  $2 \times 2$  мм (теоретическая кривая).

Так как  $f''_r$  входит в формулу в скрытой форме через  $\cos \omega t$ , то решить уравнение можно только приближенными способами.

Рекомендуется применять метод итераций (проб).

После получения нескольких значений  $f''_r$  определяется среднее значение и строится график теоретической скорости  $v_{ср\ теор}$  для необходимого интервала частоты вращения или ее частного значения на графике скорости, полученной опытным путем,

Исходя из графиков  $v_{ср\ оп}$  и  $v_{ср\ теор}$ , определяется достоверность значений полученных коэффициентов  $f''_r$ , затем определяется  $f''_x$  по формуле

$$f''_x = f''_r + 2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (17)$$

На основании изложенной методики нами проведены работы по определению коэффициентов трения для азовско-черноморских бычков (табл. 2).

Проверка показывает, что расчеты, выполненные на основании найденных коэффициентов трения для бычков, хорошо согласуются с опытными данными, полученными при определении параметров виброперемещений на виброжелобах.

## ВЫВОД

Изложенные выше методики морфометрических измерений и определения коэффициентов трения рыб на виброповерхностях позволяют получить объективные данные, необходимые для разработки рыбообрабатывающих машин на научной основе.

Таблица 2

Средние коэффициенты трения азовско-черноморских бычков по виброжелобам

Материал желоба	Коэффициенты трения покоя		Коэффициенты трения начала движения на виброповерхностях		Коэффициенты сопротивления движению на виброповерхностях		Предельные углы наклона желоба к горизонту при движении рыб головой вверх	
	$f_{\Gamma}$	$f_x$	$f'_{\Gamma}$	$f'_x$	$f''_{\Gamma}$	$f''_x$	$\alpha$	$\alpha_1$
Сетка металлическая 2×2 мм	0,55	1,32	0,43	0,966	0,30	0,82	15°	5°
Сталь пищевая . . . . .	0,405	0,468	0,40	0,65	0,22	0,46	16°50'	4°
Сталь оцинкованная . . . . .	0,463	0,604	0,42	0,60	0,25	0,5	7°	4°20'

- Примечания. 1. Данные относятся к дефростированному сырью.  
 2.  $\alpha$  — угол наклона желоба к горизонту при совпадении направления колебания с углом наклона желоба.  
 3.  $\alpha_1$  — угол наклона желоба к горизонту в случае, когда колебания направлены по горизонтали.  
 4. Желоб полукруглого сечения ( $R = 45$  мм), смочен водой

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бриль С. И., Коржов В. Н., Косов В. Ф. Метод расчета вибролотка, ориентирующего рыбу головой в одну сторону.— ЦНИИТлегпишемаш, 1968, вып. 2, с. 19—29.

Поспелов Ю. В. Вибрационные перемещения рыб по плоскости, совершающей гармонические колебания. Калининград, 1968. 16 с.

Уманцев А. З. Исследования коэффициентов трения рыб о материалы рабочих органов рыбообрабатывающих машин. Калининград, 1968, с. 19.

Determination of linear and technical characteristics of fish needed for designing  
 N. I. Zhilin

## SUMMARY

The method of determining morphometric characteristics of various species of fish is based on a set of tables indicating linear sizes of the fish body according to length frequency groups as well as on photographing certain additional measurements (included into the tables) on the background of a ruler.

The morphometric characteristics furnish information on linear sizes of fish which are needed to designers of fish-processing machinery.

Friction coefficients for fish placed on vibro-surfaces are determined by the sampling method on a pilot unit and estimated by the formulae suggested. A table showing friction coefficients for goby transported along vibro-chutes made of various materials is included.