

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 664.951.011

К.Ю. Мельников, С.Д. Угрюмова*

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 526

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ РЫБЫ ПО НАКЛОННОЙ
ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Обобщены экспериментальные данные, полученные на вибрационном стенде при различных плотностях орошения рыбы и влияющие на величину коэффициента трения груза о поверхность, и выведена расчетная зависимость скорости движения груза от степени орошения водой, угла наклона колеблющейся поверхности, частоты и амплитуды колебания. Для качественного выполнения процесса сортирования сырья методом прохождения через калибрующую щель необходимо иметь однослойное относительное движение рыб по контактирующим поверхностям машин. В противном случае может наблюдаться "пересортица" сырья в различных отсортированных фракциях, так как часть рыб более мелких фракций будет попадать в более крупные. Увеличение количества отсортированных фракций может привести к усложнению общего технологического процесса, недогрузке или перегрузке обрабатывающего оборудования в связи с увеличением передающих сырье транспортных связей и неравномерного распределения сырья во фракциях. Кинетические коэффициенты трения (движения) в первую очередь зависят от скорости скольжения сырья по поверхности. Коэффициенты трения сначала резко, а затем плавно уменьшаются при изменении скорости скольжения. Для отдельных особей рыб коэффициенты трения при ориентации сырья головой вперед меньше, чем при ориентации хвостом вперед. Это позволяет рыбам перемещаться головой вперед по горизонтальным, колеблющимся продольно поверхностям. Установлено, что основными факторами, влияющими на скорость перемещения рыбы в щели, являются ускорение колеблющейся решетки, масса рыбы, угол наклона решетки, плотность орошения, форма калибрующей щели.

Ключевые слова: вибрация, перемещение, ориентация, адгезия, гидродинамические факторы, коэффициент трения.

Melnikov K.Yu., Ugryumova S.D. Experimental study of hydrodynamic factors influence on fish transportation along an inclined vibrating surface // *Izv. TINRO*. — 2010. — Vol. 160. — P. 298–308.

Experimental data obtained on vibration stand are generalized to reveal the factors effecting on the surface friction and to determine the velocity of fish transportation by vibrating conveyor in dependence on moistening, slope of vibrating surface,

* Мельников Константин Юрьевич, доцент, e-mail: melnikov_k_j@mail.ru; Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор.

frequency and amplitude of vibration. Optimization of fish transportation is necessary for qualitative sorting of raw fish in calibrating slot: the movement of raw material has to be single-layered, otherwise «regarding» in certain sorted fractions is possible because of partial mixing of small fish with the larger fractions. Kinetic friction depends mainly on the velocity of fish sliding relative to the vibrating surface; it decreases sharply then smoothly when the velocity increases. Besides, some fish have lower friction moving ahead in comparison with the moving a tail forward. The major factors influencing on velocity of fish movement in the slot are: acceleration of vibrating grate, weight of fish, angle of grate, rate of moistening, shape of calibrating slot.

Key words: vibration, vibrating conveyor, spatial orientation, adhesion, hydrodynamics, friction factor.

Введение

В связи с изменением видового состава сырья возникает необходимость в создании высокопроизводительного универсального оборудования. Новые промысловые виды рыб отличаются от традиционных видов как по форме, так и по структурно-механическим характеристикам, поэтому требуется новый подход к созданию рыбообрабатывающих машин.

Проблема сортирования рыб по размерам, в том числе и на плавучих предприятиях, является одной из важных в области механизации и автоматизации процессов обработки рыбы. Сортирование необходимо для обеспечения качественной работы рыборазделочных машин, обрабатывающих рыбу определенных видов и размерного диапазона, и особенно тех машин, которые не имеют автоматической настройки исполнительных органов на оптимальный рез с целью экономичной разделки. Предварительное сортирование повышает выход и улучшает качество разделки. Установлено, что при машинной разделке дальневосточной сардины, когда она попадает под дисковые ножи, находящиеся друг от друга стационарно на расстоянии 0,12 м, резко возрастает количество отходов с увеличением размеров рыбы. Так, у дальневосточной сардины (сельди иваси) длиной 0,20–0,21 м количество отходов колеблется в пределах 49,0–51,0 %, а длиной 0,17–0,18 м — 36,0–41,5 % (Клейменов, 1964).

Материалы и методы

При сортировании сырья по размерам используется прямой метод измерения по длине рыб или косвенный, когда рыбу сортируют по толщине, а о промысловой длине судят на основании морфометрических коэффициентов. Прямой метод сортирования предпочтителен, однако сложен для выполнения при работе с большими объемами сырья, и это не дает возможности создать производительную сортировочную технику.

Практически во всех сортировочных машинах используется косвенный метод измерения, когда заданная толщина калибрующей щели характеризует соответствующую фракцию рыб с определенными линейными (промысловыми) размерами.

При сортировании сырья с помощью калибрующей щели в первую очередь необходимо знать корреляционную зависимость между толщиной тела рыбы и промысловой длиной, так как это позволяет разделить поток сырья на необходимое количество размерных фракций.

Для качественного проведения сортирования можно применять только безотрывные режимы движения. В противном случае наблюдается дезориентация рыбы относительно параметра сортирования, а многочисленные удары приводят к ухудшению консистенции тела рыбы. Безотрывные режимы будут гарантированы, если нормальная реакция сохранит положительное значение за весь период колебаний, даже если переносная сила инерции принимает максимальное значение.

Знание фрикционных, реологических и прочностных свойств сырья позволяет решать не только конструкторские, но и технологические задачи, направленные на повышение производительности труда и улучшение качества продукции.

В процессе обработки рыбы происходит взаимодействие между рыбой и рабочими органами машин, а следовательно, на рыбу действуют силы трения и силы, вызывающие ее деформацию. Для сравнения результатов экспериментальных и теоретических исследований необходимо иметь данные о коэффициентах трения рыбы, помещенной в калибрующую щель, образуемую между рабочими органами решетки. Коэффициент трения f' определяли на рабочих органах, установленных горизонтально на столе вибростенда (рис. 1, 2). Исходя из общепринятых требований, конструкция экспериментальной установки для исследования коэффициентов трения рыб должна быть как можно проще и вместе с тем гарантировать достаточную надежность полученных результатов.

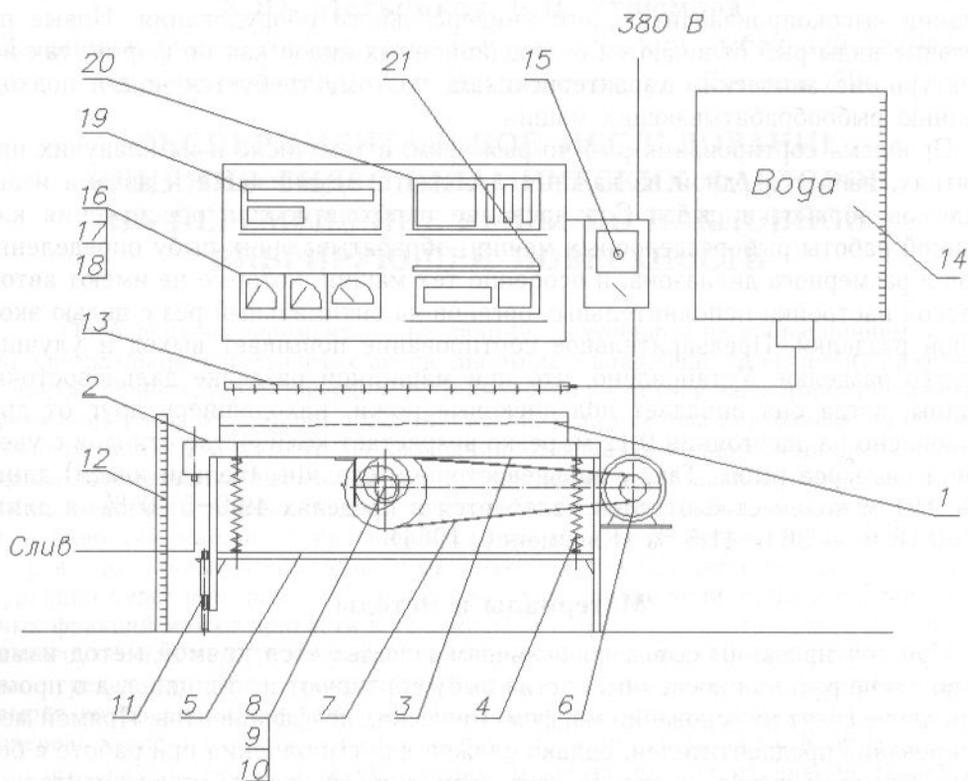


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования зависимости коэффициента трения от различных факторов (Мельников, 2001): 1 — лоток; 2 — поддон; 3 — платформа; 4 — пружины; 5 — станина; 6 — электродвигатель; 7 — ременная передача; 8 — эксцентриковый вал; 9 — подшипник; 10 — эксцентрики; 11 — винт изменения угла наклона; 12 — рейка; 13 — ороситель; 14 — резервуар; 15 — распределительный щит; 16 — вольтметр; 17 — амперметр; 18 — ваттметр; 19 — потенциометр-частотометр; 20 — осциллограф; 21 — весы

Fig. 1. Scheme of experimental stand for investigation of friction dependence on various factors (Мельников, 2001): 1 — tray; 2 — pallet; 3 — platform; 4 — springs; 5 — frame; 6 — electric motor; 7 — belt drive; 8 — clowning shaft; 9 — bearing; 10 — clowns; 11 — screw for regulation the angle of slope; 12 — rod; 13 — sprinkler; 14 — tank; 15 — switchboard; 16 — voltmeter; 17 — amperemeter; 18 — wattmeter; 19 — potentiometer-frequency counter; 20 — oscillograph; 21 — scales

В рыбообработывающих и транспортирующих машинах рыба перемещается относительно рабочих органов, и поэтому при проектировании новых, а также при исследовании существующих машин для определения оптимальных парамет-

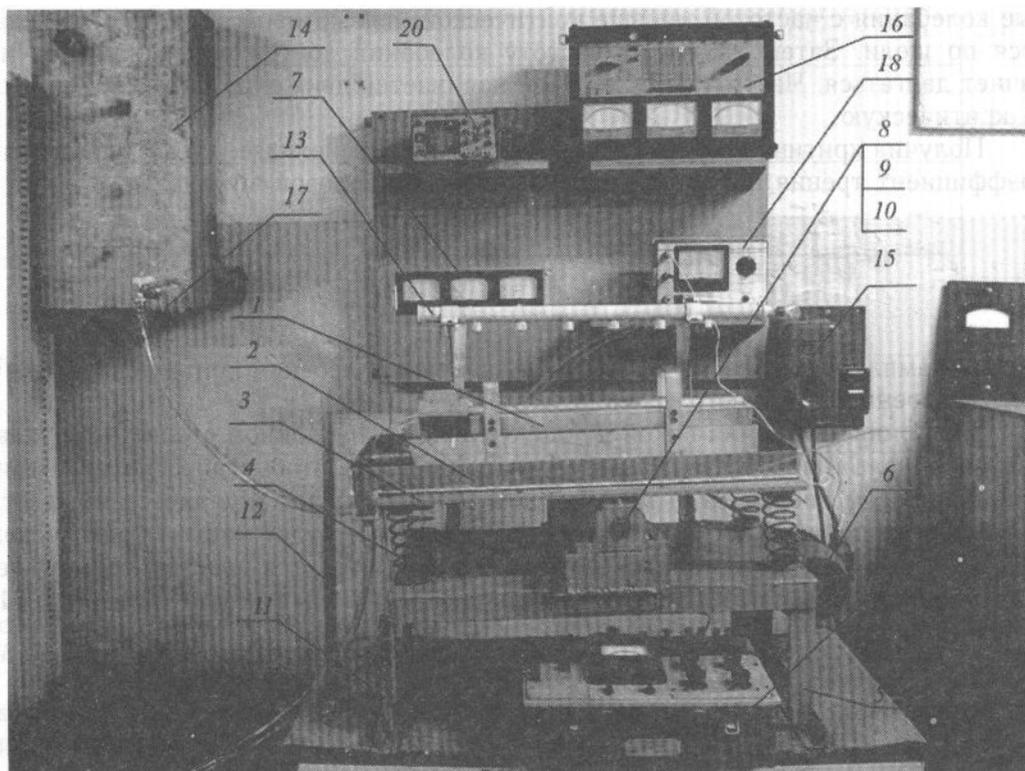


Рис. 2. Экспериментальный стенд: 1 — лоток; 2 — поддон; 3 — платформа; 4 — пружины; 5 — станина; 6 — электродвигатель; 7 — комплект приборов; 8 — эксцентриковый вал; 9 — подшипник; 10 — эксцентрики; 11 — винт изменения угла наклона; 12 — рейка; 13 — ороситель; 14 — резервуар; 15 — распределительный щит; 16 — контрольный комплект приборов; 17 — расходомер; 18 — частотомер; 19 — потенциометр; 20 — осциллограф

Fig. 2. Experimental stand: 1 — tray; 2 — pallet; 3 — platform; 4 — springs; 5 — frame; 6 — electric motor; 7 — set of measuring instruments; 8 — clowning shaft; 9 — bearing; 10 — clowns; 11 — screw for regulation the angle of slope; 12 — rod; 13 — sprinkler; 14 — tank; 15 — switchboard; 16 — control set of measuring instruments; 17 — flowmeter; 18 — frequency counter; 19 — potentiometer; 20 — oscillograph

ров необходимо располагать данными о силах трения скольжения. Конструкция экспериментальной установки должна обеспечивать возможность определения коэффициента трения скольжения между рыбой и соответствующей поверхностью. В связи с тем что сила трения зависит от скорости, коэффициент трения скольжения будем называть кинетическим коэффициентом трения (Поспелов, 1967; Поспелов, Пушко, 1979; Поспелов и др., 1980; Тушко, Поспелов, 1982).

На рис. 1 представлена принципиальная схема экспериментальной установки. Лоток 1 устанавливается вместе с поддоном 2 на подвижной платформе 3, которая опирается на пружины 4. Вся конструкция фиксируется на станине 5. Вибрация стола осуществляется от электродвигателя 6 через ременную передачу 7 к эксцентриковому валу 8, закрепленному на подшипниковых узлах 9. Съемные эксцентрики 10 повернуты относительно друг друга на 90° и передают колебания в двух направлениях (можно осуществлять колебания в одном направлении). Наклон стола осуществляется при помощи винта 11 и измерительной рейки 12. Орошение лотка происходит от оросителя 13, на который подается вода из резервуара 14. Управление машиной ведется от распределительного щита 15 и контрольно-измерительных приборов — вольтметра 16, амперметра 17, ваттметра 18, потенциометра-частотомера 19, осциллографа 20. Определение массы рыбы осуществляется с помощью электронных весов 21. Столу сообщают гармонич-

ные колебания с частотой меньше критической, при которой рыба не перемещается по щели. Затем изменяют частоту колебаний до тех пор, пока рыба не начнет двигаться. Частоту, при которой начинается движение рыбы, принимали за критическую.

Получив критическую частоту ω_k (Блехман, Джанелидзе, 1964), определяли коэффициент трения покоя при ориентации рыбы головой вперед:

$$f'_r = \frac{A\omega_k^2}{g}, \quad (1)$$

где A — амплитуда колебаний, мм; ω_k — частота колебаний критическая, мин^{-1} ; g — ускорение свободного падения.

Коэффициент трения покоя f'_x определяли на наклонном столе. Рыбу укладывали в щель головой вверх, и стол наклоняли так, чтобы сопротивление движению хвостом вперед было меньше, чем головой вперед. Критическая частота колебаний движения хвостом вперед в данном случае будет меньше критической частоты движения рыбы головой вперед, и рыба двигается хвостом только вперед. В данном случае коэффициент трения определяли по формуле (Грачев, 1971; Гончаревич и др., 1977)

$$f'_x = \text{tg} \varphi - \frac{A\omega^2}{g \cos \alpha}. \quad (2)$$

Результаты и их обсуждение

Кинетический коэффициент трения определяли на горизонтальном и наклонном столе по средней скорости перемещения рыбы, когда она двигалась только вперед за весь цикл колебаний. Использовали таблицы, составленные С.И. Брилем (1980) для фиксированных максимальных ускорений колебаний виброплоскостью при определении адгезионной и деформационных составляющих коэффициента трения. Рыбу помещали в щель между двумя параллельными пластинами. Адгезионную составляющую определили по средней скорости перемещения рыбы по колеблющемуся лотку. Опыты проводились и при орошении поверхности стола пленкой воды. При небольшом значении плотности орошения $\Gamma = 0 \div 750 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}$ величина коэффициента трения практически не изменялась (рис. 3), при увеличении плотности орошения Γ до $1000 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}$ толщина пленки жидкости увеличивалась, продвижение тушки рыбы по лотку ускорялось, скорость скольжения увеличивалась, что объясняется уменьшением значения коэффициента трения, при более значительных величинах плотности орошения тушка рыбы срывалась, устойчивого движения по лотку не наблюдалось, и это позволяет говорить о том, что величина коэффициента трения, влияющая на скорость перемещения рыбы (Боголюбов, Митропольских, 1963), зависит не только от ориентации поверхности — горизонтальной или наклонной, но и от плотности орошения поверхности и от режимных факторов колебания поверхности: частоты и амплитуды колебания.

Экспериментально установлено, что коэффициент трения зависит от амплитуды колебаний, частоты колебаний, плотности орошения, угла наклона поверхности, силы трения, напряжения среза пленки между рыбой и поверхностью, площади фрикционного контакта, и его можно представить (Грачев, 1979):

$$f' = f(A, \varphi, \Gamma, \omega, F^*, \tau, S...), \quad (3)$$

где A — амплитуда колебаний, мм; φ — угол наклона поверхности, град; Γ — плотность орошения, $\text{кг/м} \cdot \text{ч}$; ω — частота колебаний, мин^{-1} ; F^* — сила тре-

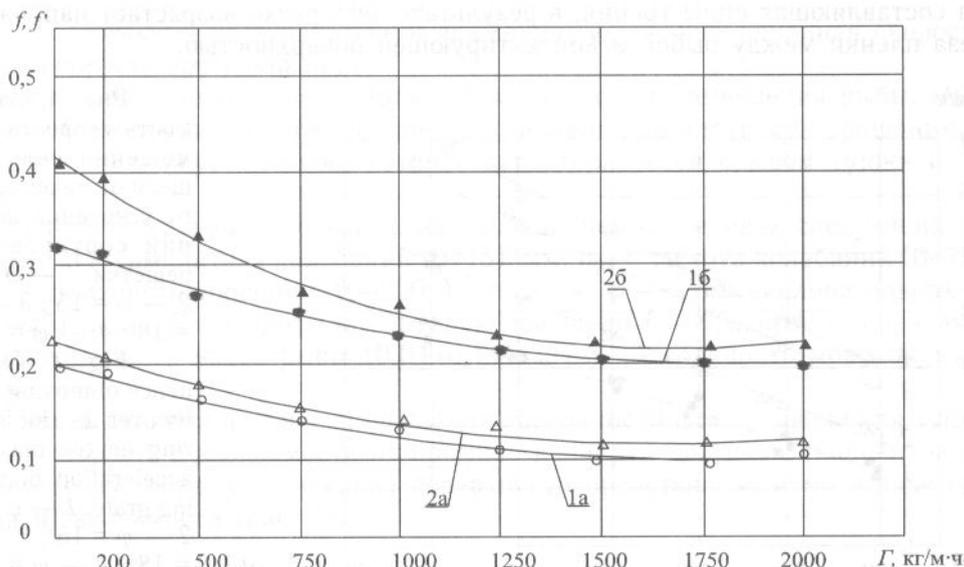


Рис. 3. Зависимость кинетического коэффициента трения рыбы (сельди тихоокеанской) от плотности орошения поверхности (*a* — головой вперед; *b* — хвостом вперед): *1* — по поверхности из нержавеющей стали; *2* — по поверхности из оргстекла

Fig. 3. Dependence of kinetic factor of friction for fish (*Clupea pallasii*) on rate of a surface moistening (*a* — head forward; *b* — tail forward): *1* — stainless steel surface; *2* — plexiglass surface

ния; τ — напряжение среза пленки между рыбой и поверхностью; S — площадь фрикционного контакта.

Отсюда уравнение регрессии принимает следующий вид:

$$f' = B, A^{n_1}, \varphi^{n_2}, \Gamma^{n_3}, \omega^{n_4}, \tau^{n_5}, S^{n_6}. \quad (4)$$

Значения B и показатели степени $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$ определяются математической обработкой экспериментальных данных в среде Delphi 6.1 и Wolfram Mathematica 7.0.

Проведенными экспериментами подтверждено, что различаются четыре коэффициента трения, которые зависят от ориентации рыб (головой или хвостом вперед). Введем обозначения: при ориентации сырья головой вперед f — коэффициент трения движения; f_1 — коэффициент трения покоя. При ориентации сырья хвостом вперед: f' — коэффициент трения движения; f'_1 — коэффициент трения покоя.

Зависимости скорости перемещения сельди (тихоокеанской) по калибрующей щели в зависимости от вибрационных параметров: $A \cdot \omega^2$ (величины, определяющей ускорение колебаний решетки), различных углов наклона решетки φ к горизонту — приведены на рис. 4. В качестве профилирующего элемента решетки использованы планки \vee -образной формы. Анализ графических зависимостей позволяет сделать вывод, что с повышением ускорений колебаний решетки и ее угла наклона к горизонту скорость транспортирования растет. Экспериментально установлено, что в диапазоне скорости перемещения рыбы 0,6–0,7 м/с наблюдается ее отрывание от поверхности планок, это приводит к ухудшению качества сортирования (Мельников и др., 2007, 2008а, б).

Получаемые экспериментальным путем коэффициенты трения покоя и движения при различной ориентации сырья могут резко различаться для разных особей рыб одного вида.

Наблюдается также зависимость коэффициентов трения покоя от времени контакта рыбы с плоскостью. При длительном контакте увеличивается адгезион-

ная составляющая силы трения, в результате чего резко возрастает напряжение среза пленки между рыбой и контактирующей поверхностью.

$w, \text{ м/с}$

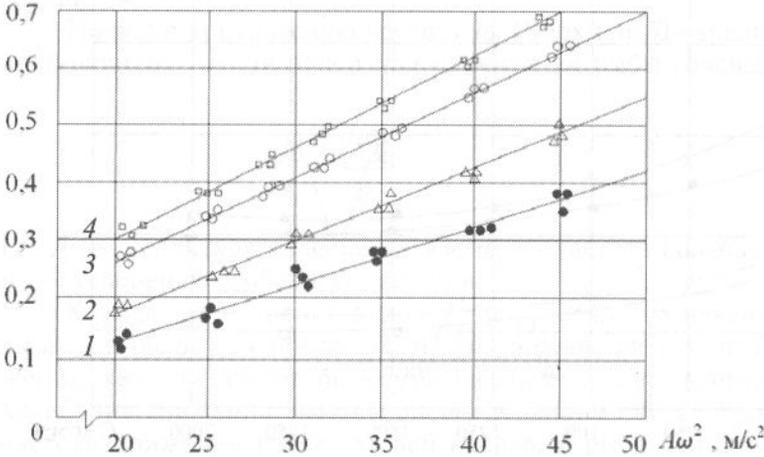


Рис. 4. Зависимость скорости перемещения сельди по щели от максимального ускорения колебаний сортировочной решетки: 1 — $\phi = 10^\circ$; 2 — $\phi = 15^\circ$; 3 — $\phi = 18^\circ$; 4 — $\phi = 20^\circ$

Fig. 4. Dependence of moving velocity over the slot for herring on the maximum acceleration of vibrating grate: 1 — $\phi = 10^\circ$; 2 — $\phi = 15^\circ$; 3 — $\phi = 18^\circ$; 4 — $\phi = 20^\circ$

Этот пример показывает, что в машинах, основанных на принципе взаимодействия рыбы с контактирующей поверхностью, недопустимо, чтобы сырье лежало на поверхности длительное время.

Кинетические коэффициенты трения (движения) в первую очередь зависят от скорости скольжения сырья по поверхности w (Мельников, 2008). Коэффициенты трения сначала резко, а затем плавно уменьшаются при скорости скольжения. Для отдельных особей рыб коэффициенты трения при ориентации сырья головой вперед меньше, чем при ориентации хвостом вперед. Это позволяет рыбам перемещаться головой вперед по горизонтальным, колеблющимся продольно поверхностям.

Значения кинетических коэффициентов трения для отдельных особей рыб меньше соответствующих значений коэффициентов трения покоя. Равенство может наступить лишь в том случае, если скорость движения рыбы по контактирующей с ней поверхностью равна нулю. Однако в случае мгновенной остановки рыбы на поверхности, например при вибрационном перемещении ее в режиме с двумя мгновенными остановками, коэффициент трения движения нельзя приравнять к коэффициенту трения покоя.

Движение рыбы по сортирующей щели различного профиля, орошаемой как пресной, так и морской водой при изменяющейся плотности орошения, представлена в координатах:

$$1) w = f(\Gamma) \text{ при } \left. \begin{array}{l} S = \text{const} \\ m = \text{const} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{пресная вода} \\ S = 34,7^\circ /_{00} \end{array}$$

$$2) w = f(A\omega_k^2) \text{ при } \left. \begin{array}{l} S = \text{const} \\ m = \text{const} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{пресная вода} \\ S = 34,7^\circ /_{00} \end{array}$$

Исходя из теоретического описания механизма движения тушки рыбы по сортировочной щели (Гончаревич и др., 1977), скорость продвижения пропорциональна ускорению колебаний сортировочной решетки. Установлено, что скорость возрастает при увеличении плотности орошения вибрирующей поверхности. Суммарная скорость продвижения (в метрах на секунду) будет представлять собой:

$$w = \sqrt{w_{\text{н.д.}}^2 + w_B^2 + w_{\text{прот.}}^2} \tag{5}$$

где $w_{п.о.}$ — скорость поступательного движения; w_B — вибрационная скорость; $w_{прот}$ — скорость проталкивания.

Как показали визуальные наблюдения процесса перемещения рыбы, можно отметить два периода перемещения: устойчивое при плотности орошения до 1750 кг/м³ · ч и неустойчивое, которое характеризуется срывом тушки с поверхности.

Экспериментальные исследования проводились в пределах следующих параметров: A — амплитуда колебаний (0+15), мм; ω — частота колебаний (0+70), с⁻¹; Γ — плотность орошения (0+2000), кг/м³ · ч; φ — угол наклона поверхности (0+25), град; Π — профиль сортирующей щели (v-образный, U-образный, □-образный); m — масса рыбы (0,04+0,14), кг; S — соленость морской воды (0+34,4), ‰.

Степень влияния плотности орошения поверхности для продвижения тушки рыбы на скорость в зависимости от профиля калибрующей щели, концентрации орошаемого раствора, угла наклона поверхности представлена нами в виде графической зависимости (рис. 5).

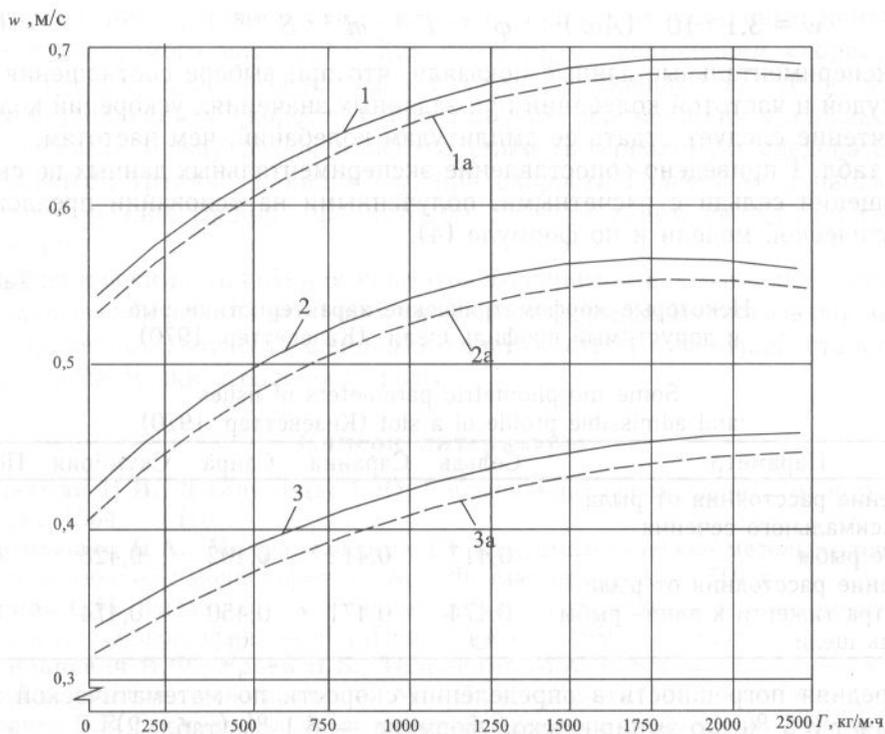


Рис. 5. Зависимость скорости перемещения рыбы (сельди тихоокеанской) от плотности орошения: 1 — v-образный профиль, 2 — U-образный профиль, 3 — □-образный профиль ($\varphi = 18^\circ$; пресная вода; $\omega = 50$ с⁻¹); 1a — v-образный профиль, 2a — U-образный профиль; 3a — □-образный профиль ($\varphi = 18^\circ$; $S = 34,7$ ‰; $\omega = 50$ с⁻¹)

Fig. 5. Dependence of moving velocity for herring (*Clupea pallasii*) on the rate of moistening: 1 — v-shaped profile, 2 — U-shaped profile, 3 — □-flat profile ($\varphi = 18^\circ$; fresh water; $\omega = 50$ s⁻¹); 1a — v-shaped profile; 2a — U-shaped profile; 3a — □-flat profile ($\varphi = 18^\circ$; $S = 34.7$ ‰; $\omega = 50$ s⁻¹)

Установлено, что основными факторами, влияющими на скорость перемещения рыбы в щели, являются ускорение колеблющейся решетки $A\omega^2$, масса рыбы m , угол наклона решетки φ , плотность орошения Γ , форма калибрующей щели:

$$w = B, (A\omega^2)^{n_1}, \varphi^{n_2}, \Gamma^{n_3}, m^{n_4}, S^{n_5}. \quad (6)$$

Обработка экспериментальных данных, представленных в виде графических зависимостей, позволила получить ряд эмпирических зависимостей скорости от перечисленных выше факторов:

$$w = A_1(A\omega^2)^{1,1}, \quad (7)$$

$$w = A_2S^{-0,2}, \quad (8)$$

$$w = A_3\varphi^{0,37}, \quad (9)$$

$$w = A_4\Gamma^{0,6}, \quad (10)$$

$$w = A_5m^{0,2}. \quad (11)$$

На основании обработки плана экспериментов получено расчетное уравнение регрессии в логарифмическом масштабе:

$$y^3 = -0,4 + 0,2x_1^3 + 0,05x_2^3 + 0,055x_3^3 + 0,061x_4^3 + 0,031x_5^3. \quad (12)$$

Расчетная зависимость скорости (в метрах на секунду) от перечисленных факторов имеет вид:

$$w = 3,1 \cdot 10^{-3} (A\omega^2)^{1,1} \cdot \varphi^{0,34} \cdot \Gamma^{0,6} \cdot m^{0,2} \cdot S^{-0,18}. \quad (13)$$

Экспериментальные данные показали, что при выборе соотношения между амплитудой и частотой колебаний при заданных значениях ускорений колебания предпочтительнее следует отдать ее амплитудам колебаний, чем частотам.

В табл. 1 приведено сопоставление экспериментальных данных по скорости перемещения сельди с расчетными, полученными на основании предложенной математической модели и по формуле (4).

Некоторые морфометрические характеристики рыб и допустимый профиль щели (Кизеветтер, 1970)

Таблица 1

Some morphometric parameters of fishes and admissible profile of a slot (Кизеветтер, 1970)

Table 1

Параметр	Сельдь	Сардина	Сайра	Скумбрия	Песчанка
Отношение расстояния от рыла до максимального сечения к длине рыбы	0,417	0,412	0,402	0,428	0,440
Отношение расстояния от рыла до центра тяжести к длине рыбы	0,474	0,471	0,450	0,474	0,512
Профиль щели	∪	∪	∪	∨	∨

Средняя погрешность в определении скорости по математической модели составляет 3,5 %, по эмпирической формуле — 6,1 % (табл. 2).

Скорость перемещения сельди по калибрующей щели при $A = 15 \cdot 10^{-3}$ м (профиль ∨-образный), м/с

Таблица 2

Velocity of herring moving over calibrating slot at $A = 15 \cdot 10^{-3}$ m (∨-shaped profile), m/s

Table 2

Параметр	Частота колебаний, с ⁻¹					
	35	40	45	50	55	60
Скорость перемещения действительная	0,36	0,41	0,48	0,57	0,62	0,74
Скорость перемещения по математической модели	0,33	0,42	0,49	0,54	0,61	0,65
Погрешность, %	8,3	2,4	2,1	5,2	1,6	1,6
Скорость перемещения, определенная по формуле (5)	0,41	0,47	0,51	0,56	0,61	0,66
Погрешность, %	13,8	12,1	6,2	1,7	1,7	1,6

Заключение

Установлено, что при одинаковых условиях транспортирования наблюдается разброс значений скоростей, если в щель помещать рыбу различных размеров, а следовательно и массы, поэтому для экспериментов, описанных ранее, подбиралась рыба одних размеров и одинаковой массы с целью получения достоверных значений зависимости скорости перемещения от факторов, обуславливающих ее.

Рассматривая осциллограмму процесса трения, можно еще раз убедиться в том, что сила трения зависит от площади фрикционного контакта. В начальный момент сила трения меньше, чем в конце; по мере формирования площади фрикционного контакта она увеличивается. Площадь фрикционного контакта при движении формируется значительно быстрее, чем при покое, практически за 5–6 с. В интервале исследованных скоростей будет наблюдаться полужидкостное трение.

В процессе взаимного перемещения между рыбой и соответствующим материалом устанавливаются фрикционные связи, которые непрерывно возникают и разрушаются. Количество установившихся связей зависит от относительной скорости скольжения, формы тела рыбы (т.е. площади фрикционного контакта) и свойств исследуемого материала. Как правило, с увеличением скорости сила трения, а следовательно и коэффициент трения, уменьшаются. Это объясняется тем, что с увеличением скорости относительного перемещения уменьшается количество связей между рыбой и исследуемым материалом, а следовательно и коэффициентом трения. По-видимому, при скорости более 2 м/с наблюдается жидкостный режим трения, при котором с увеличением скорости возрастает сила трения.

Анализ зависимости (13) и результатов эксперимента позволил сделать вывод, что решающее влияние на величину скорости перемещения оказывают вибрационные параметры, плотность орошения поверхности и в меньшей степени угол наклона, масса тушки и соленость воды.

Список литературы

- Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю.** Вибрационное перемещение : монография. — М. : Наука, 1964. — 410 с.
- Боголюбов Н.А., Митропольских Ю.А.** Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний : монография. — М. : Физматгиз, 1963. — 501 с.
- Бриль С.И.** Загрузочные устройства рыбообрабатывающих машин. Конструкция, теория, расчет : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1980. — 184 с.
- Гончаревич И.Ф., Урьев Н.Б., Телейсник М.А.** Вибрационная техника в пищевой промышленности : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1977. — 278 с.
- Грачев Б.В.** Оптимальные параметры вибрационного перемещения мелкой рыбы // Рыб. хоз-во. — 1971. — № 6. — С. 59–61.
- Грачев Ю.П.** Математические методы планирования экспериментов : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 200 с.
- Кизеветтер И.В.** Технологическая и химическая характеристика промысловых рыб тихоокеанского бассейна : монография. — Владивосток : Дальиздат, 1970. — 70 с.
- Клейменов И.Я.** Химический и весовой состав рыбы : монография. — М. : Рыб. хоз-во, 1964. — 142 с.
- Мельников К.Ю.** Исследование процесса перемещения мелких рыб на вибрационной экспериментальной установке // Междунар. науч. конф. "Исследование Мирового океана". — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2008. — С. 486–488.
- Мельников К.Ю.** Установка для подачи маломерных рыб в рабочие органы машин // Тр. ДВГТУ. — 2001. — Вып. 129. — С. 48–52.
- Мельников К.Ю., Дерябин А.А., Угрюмова С.Д.** Исследование влияния вибрационных параметров на действительную скорость транспортирования рыб // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2008а. — Вып. 20. — С. 48–50.

Мельников К.Ю., Дерябин А.А., Угрюмова С.Д. К вопросу решения проблемы о совмещении операций при первичной переработке мелких рыб // Междунар. науч. конф. "Исследование Мирового океана". — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2008б. — С. 488–492.

Мельников К.Ю., Дерябин А.А., Угрюмова С.Д. Теоретические предпосылки создания унифицированных виброзагрузочных машин // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2007. — Вып. 19. — С. 194–198.

Поспелов Ю.В. Определение параметров вибрационных машин для перемещения рыбы : учебник. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1967. — 46 с.

Поспелов Ю.В., Тушко А.А. Уравновешивание вибромашин для ориентации, сортировки и перемещения рыбы // Исследования по технологии рыбных продуктов. — Владивосток : ТИПРО, 1979. — Вып. 9. — С. 127–131.

Поспелов Ю.В., Тушко А.А., Иванченко И.С. Сортировочная машина Н-28-ИСА для песчанки // ЭИ/ЦНИИТЭИРХ. — Сер. Технол. оборудование рыб. пром-сти. — 1980. — Вып. 9. — С. 1–5.

Тушко А.А., Поспелов Ю.В. Определение размеров калибрующих зазоров в вибрационных сортировочных машинах // Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств : тез. докл. Всесоюз. конф. — М., 1982. — С. 151.

Поступила в редакцию 13.10.09 г.