

---

---

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 664.951

**Д.Ю. Проскура, А.А. Дерябин, С.П. Григорьева**

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

## ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН В РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Рассмотрены условия вибрационного перемещения гидробионтов в зависимости от биологических и реологических характеристик. Анализ предложенных моделей позволил модифицировать «Устройство вибрационного перемещения гидробионтов» и, добавив сменное навесное оборудование, увеличить количество производимых операций базовой моделью.*

**Ключевые слова:** *вибрация, перемещение, навесное оборудование, универсальность.*

**D.Yu. Proskura, A.A. Deryabin, S.P. Grigoreva**

## OPTIMIZING THE USE OF VIBRATING MACHINES IN THE FISHING INDUSTRY

*Considered the conditions of vibration displacement of shrimp, depending on the biological and rheological characteristics. Analysis of the proposed models allow to modify the «Device vibration displacement shrimp» and by adding the replacement attachments, increase the number of transactions the base model.*

**Key words:** *vibration, displacement, attachments, universality.*

Характерной особенностью вибрационных машин является то, что благодаря высоко-частотным повышенным силовым воздействиям со стороны рабочих органов на обрабатываемый материал удается интенсифицировать существующие и применить принципиально новые способы разделения и транспортировки. Однако имеются некоторые трудности осуществления движения рабочих органов по заданным траекториям вследствие того, что движение этих рабочих органов осуществляется под действием сил инерции вибраторов и сопровождается деформацией упругих элементов подвесок.

Достаточно полно изучено взаимодействие колебательных систем пространственных вибрационных машин с источниками энергии ограниченной мощности при пусковых и остановочных резонансах. В этом случае колебательный режим системы посредством обратной связи оказывает существенное влияние на движение источника энергии. Отражением этой взаимной зависимости является связь дифференциальных уравнений движения системы и источника энергии.

Поскольку воздействие неидеального источника энергии на колебательную систему зависит от режима ее движения, оно не выражается в виде явной функции времени, поэтому такие колебательные системы приходится рассматривать как автономные. Этот специфический раздел теории колебаний получил развитие благодаря фундаментальным работам В.О. Кононенко. Согласно введенному им ограничению частота вращения ротора двигателя и, следовательно, ротора вибратора изменяется медленно. Это позволило в уравнениях движения учитывать статические характеристики источников энергии в виде известных заранее частот вращения.

Существенными элементами новизны является развитие метода В.О. Кононенко для случая нестационарных колебаний пространственных вибрационных машин с несколькими степенями свободы и с учетом взаимного влияния основных резонансов. Взаимное влияние основных резонансов играет значительную роль не только в пространственных вибрационных машинах, но и в машинах с поступательным движением рабочих органов (с двумя степенями свободы) [1].

Машины с вертикальной осью вращения дебалансов вибратора и установкой на решетный стан плоских, горизонтально расположенных решет; плоских, неперфорированных дисков; конических воронок, обращенных меньшим основанием вниз; конических воронок, обращенных меньшим основанием вверх; параболоидов и гиперболоидов вращения; машины с винтовыми колебаниями решет вокруг вертикальной оси; машины с двойным наклоном неперфорированной фрикционной рабочей поверхности к горизонту и поступательным или плоскопараллельным движением в вертикальной плоскости.

Вибрационное транспортирование осуществляется при прямолинейных или эллиптических гармонических колебаниях несущей поверхности в режимах с подбрасыванием (если сырье обладает повышенной адгезией), или в безотрывных режимах. Негармоничные колебания (например, бигармонические) используются обычно только в безотрывных режимах. Явление упругого удара приводит к возникновению хаотических режимов с резким возрастанием высоты подбрасывания и потере ориентации. А на первоначально предложенной установке регулируемый угол наклона рабочей поверхности частично решает эту задачу за счет наклона.

Выпускаемые промышленностью вибромашины, как правило, созданы для выполнения конкретной технологической задачи или функции. Применяемые машины не смогут работать ни в каких других областях промышленности и хозяйстве. Даже на одном предприятии одна вибромашина не сможет заменить другую или даже взять на себя часть функций другой техники. Предлагаемое нами «Устройство вибрационного перемещения гидробионтов» имеет широкий диапазон перемещения гидробионтов разного вида и размеров, а также с разной степенью адгезии. Также в конструкции заложен большой потенциал для модификации и при замене некоторых рабочих органов выполнения других рабочих операций и функций. Это позволяет предприятиям переходить с одного вида деятельности на другой без дополнительного оборудования, а только используя базовое устройство и сменные агрегаты. На основе обобщения ранее проводимых научно-исследовательских работ была выбрана принципиальная схема установки (патент РФ № 91987, кл В654G27116, опубликовано 2010 г.) «Устройство вибрационного перемещения гидробионтов», которая включает колеблющиеся технологические поверхности (горизонтальная профилированная виброплоскость) двух уровней для выполнения различных операций (ориентации, транспортирования или загрузки сырья в разделочную машину), рис. 1 [5].

Выполнение такой важной задачи, как ориентирование на базовой модели рассчитывается по методике, хорошо зарекомендовавшей себя ранее [5, 7].

Направленное перемещение рыб по технологическим поверхностям происходит в результате их неравномерного скольжения головой и хвостом вперед за период колебаний. На горизонтальной поверхности ориентатора направленное перемещение сырья возможно лишь головой вперед, что объясняется для каждой отдельной рыбы неравенством коэффициентов трения:

$$f < f', \quad (1)$$

$$f_1 < f'_1, \quad (2)$$

где  $f, f_1$  – коэффициенты трения движения (кинетические) и покоя при скольжении рыбы головой вперед;

$f', f'_1$  – коэффициенты трения движения (кинетические) и покоя при скольжении рыбы хвостом вперед.

Для горизонтальной технологической поверхности при направленном перемещении рыбы по столу соблюдается условие

$$S_+ > S_-, \tag{3}$$

где  $S_+$  – длина (путь) скольжения рыбы головой вперед за период колебания;  $S_-$  – длина (путь) скольжения рыбы хвостом вперед за период колебания.

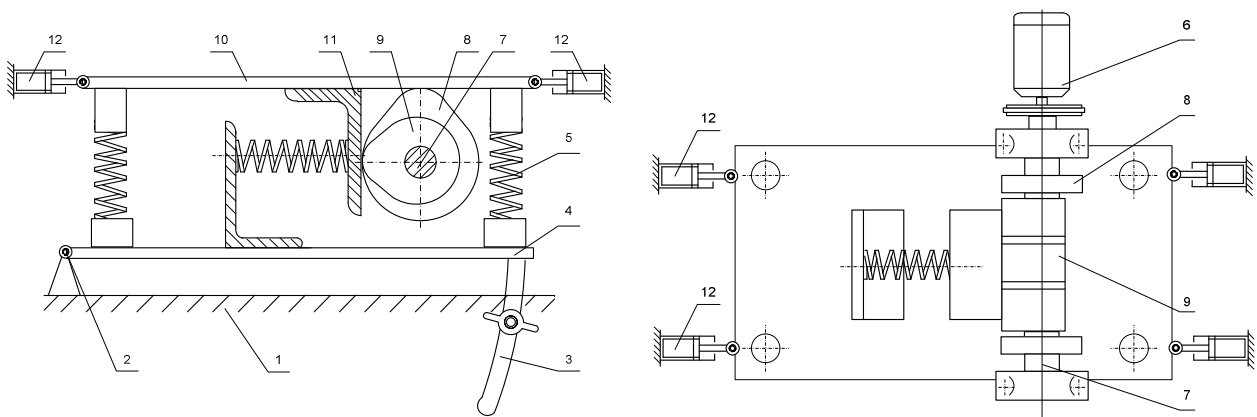


Рис. 1. Устройство вибрационного перемещения гидробионтов: 1 – станина; 2 – шарнир; 3 – устройство для изменения наклона стола; 4 – нижний лист; 5 – пружины; 6 – электродвигатель; 7 – вал; 8, 9 – кулачки; 10 – рабочая поверхность; 11 – упор; 12 – демпфирующее устройство  
 Fig. 1. The device of vibrating movement the shrimp: 1 – stanin; 2 – hinge; 3 – a device for changing the tilt table, bottom sheet; 4, 5, 6 – electric motor, 7 – shaft; 8, 9 – cams; 10 ; 11 – emphasis; 12 – damping device

Разность путей скольжения определяет величину направленного перемещения за период колебания технологической поверхности:

$$\Delta S = S_+ > S_- . \tag{4}$$

Направленное перемещение характеризуется дифференциальным уравнением движения рыбы по колеблющейся горизонтальной поверхности:

$$m\ddot{x}_r = F(F') + c_e , \tag{5}$$

где  $\ddot{x}_r$  – относительное ускорение рыбы;  $m$  – масса рыбы;  $F(F')$  – сила трения движения, соответствующая скольжению рыбы головой (хвостом) вперед;  $c_e$  – переносная сила инерции.

Сила трения движения препятствует скольжению рыбы по столу, а переносная сила инерции, противоположная по направлению вектору/переносного ускорения поверхности, в какой-то момент периода колебаний способствует скольжению рыбы, а в какой-то момент – препятствует.

За период колебания технологической поверхности из крайнего левого в крайнее правое положение и обратно переносная сила инерции изменяется по величине и направлению. Поскольку поверхность колеблется по гармоническому закону

$$x_g = A \sin kt, \quad (6)$$

после двойного дифференцирования уравнение примет вид

$$\ddot{x}_g = -Ak^2 \sin kt, \quad (7)$$

где  $x_g$  – смещение поверхности относительно неподвижной системы отсчета  $xoy$ ;  $A$  – амплитуда колебаний;  $k$  – угловая частота колебаний;  $t$  – время;  $\ddot{x}_g$  – переносное ускорение поверхности;  $x_1oy_1$  – подвижная система отсчета.

Отсюда следует, что переносная сила инерции

$$\tilde{C}_g = -m\ddot{x}_g = -mAk^2 \sin kt. \quad (8)$$

Поскольку  $mAk^2 = const$ , график изменения силы инерции в течение периода колебаний характеризуется синусоидой. В промежутке от нуля до  $\pi$  вектор силы инерции направлен вправо (смещение поверхности вправо), а в промежутке от  $\pi$  до  $2\pi$  – влево (смещение поверхности влево). При смещении поверхности вправо сила инерции стремится сдвинуть рыбу головой вперед, при смещении влево – хвостом вперед.

Сила трения всегда направлена против относительного скольжения сырья по поверхности. Если рыба за период колебаний скользит головой и хвостом вперед, то вектор силы трения за это время изменяет свое направление на противоположное. Вектор силы трения движения за период колебания может совпадать или не совпадать с вектором переносной силы инерции [8].

Расчет вибрационных сортировочных машин [7].

Производительность вибрационных сортировочных машин зависит от числа калибрующих щелей, шага между рыбами при их перемещении  $i$  щели и средней скорости перемещения рыбы в щели.

На рис. 2 представлена схема сил, действующих на рыбу, находящуюся в расходящейся калибрующей щели между планками с поперечным сечением в виде равнобедренного треугольника.

Для определения средней скорости перемещения рыбы при гармонических колебаниях сортировочной решетки решается дифференциальное уравнение [6].

$$x = \frac{Ak^2 \cdot \sin kt \cdot \cos(\beta \pm \tilde{\rho}_{\pm}) \pm x \cdot \sin(\tilde{\rho}_{\pm} \pm \alpha)}{\cos \tilde{\rho}_{\pm} \pm \sin \tilde{\rho}_{\pm} \operatorname{tg} \alpha_{\text{щ}} \pm \operatorname{ctg} \lambda_n}, \quad (9)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний решетки;  $K$  – частота колебаний решетки;  $\beta$  – угол вибраций;  $\tilde{\rho}_{\pm}$  – приведенный угол трения;

$$\tilde{\rho}_{\pm} = \frac{\operatorname{arctg}(f_{\text{адз.}} + f_{\text{деф.}})}{\sin \frac{Q}{2}}, \quad (10)$$

$f_{адг.}$ ,  $f_{деф.}$  – адгезионная и деформационная составляющие силы трения;  $Q$  – угол при вершине рабочих органов решетки;  $\alpha_{щ}$  – угол расхождения щели;  $\lambda_n$  – угол заострения спинки (брюшка) рыбы.

В представленном уравнении верхние знаки и верхние индексы при коэффициенте трения относятся к прямому скольжению рыбы (в направлении транспортирования), нижние – к обратному скольжению.

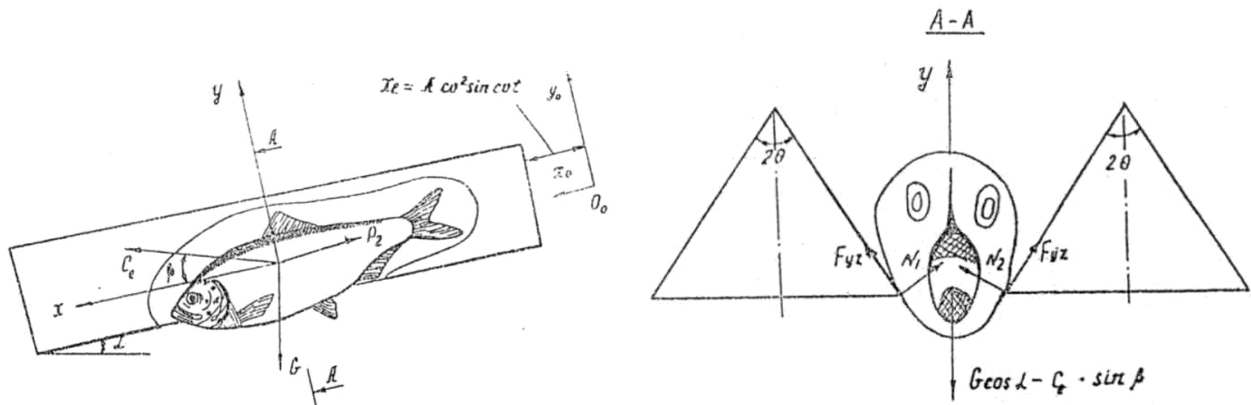


Рис. 2. Схема сил, действующих на рыбу в калибрующей щели  
 Fig. 2. Scheme of acting forces on the fish in calibrating gap

Перемещение рыбы по щели:  
 а) при прямом скольжении:

$$S_+ = \frac{r \cdot A \cdot \cos(\beta + \tilde{\rho}_+)}{\cos \tilde{\rho}_+ + \sin \tilde{\rho}_+ \cdot \text{tg} \alpha_{щ} \cdot \text{ctg} \lambda_n} \cdot F(\delta_+, \delta_+^*); \tag{11}$$

б) при обратном скольжении:

$$S_- = \frac{r \cdot A \cdot \cos(\beta - \tilde{\rho}_-)}{\cos \tilde{\rho}_+ - \sin \tilde{\rho}_- \cdot \text{tg} \alpha_{щ} \cdot \text{ctg} \lambda_n} \cdot F(\delta_-, \delta_-^*); \tag{12}$$

где  $F(\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*)$  – безразмерное перемещение рыбы, определяем графически в зависимости от значений безразмерных параметров вибрации при прямом и обратном скольжении рыбы  $Z_+, Z_-, \dots$  [6].

Безразмерные параметры вибрации:

$$z_{\pm} = \frac{g}{A \cdot k^2} \cdot \frac{\sin(\tilde{\rho}_{\pm} \pm \alpha)}{\cos(\beta \pm \tilde{\rho}_{\pm})}; \tag{13}$$

$$z_{1\pm} = \frac{g}{A \cdot k^2} \cdot \frac{\sin(\tilde{\rho}'_{\pm} \pm \alpha)}{\cos(\beta \pm \tilde{\rho}'_{\pm})}; \tag{14}$$

где  $\tilde{\rho}_+, \tilde{\rho}_-$  – коэффициенты трения движения рыбы при прямом и обратном скольжении;  $\tilde{\rho}'_+, \tilde{\rho}'_-$  – коэффициенты трения покоя при относительном покое рыбы в прямом и обратном скольжении.

Средняя скорость перемещения рыбы при движении по щели до места начала выпадения определяется [6]:

$$V = \frac{S_+ \cdot S_-}{2 \cdot \pi} \cdot K. \quad (15)$$

При движении по расходящейся щели рыба доходит до места, где размеры щели равны толщине поперечного сечения рыбы, через который проходит ее центр тяжести. Так как у рыбы центр тяжести смещен относительно сечения максимальной толщины в сторону хвостового плавника, то она под действием силы тяжести разворачивается в щели хвостовой частью вниз и одновременно с перемещением вперед начинает колебаться в щели. Колебание рыбы будет происходить до тех пор, пока она не дойдет в продольном направлении по щели до места, соответствующего толщине рыбы в максимальном сечении. Частота собственных колебаний рыбы определится:

$$K = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot l_x}{\tau_p + 2 \cdot m \cdot l_x^2}}, \quad (16)$$

где  $l_x$  – расстояние от центра тяжести рыбы в продольном направлении до сечения максимальной толщины;  $\tau_p$  – момент инерции рыбы.

Скорость перемещения рыбы по щели в данном случае можно определить по изложенной выше методике, но с новыми значениями безразмерных параметров вибрации  $z_+, z_-$ . Эти параметры в данном случае равны

$$z_{\pm} = \frac{g}{A \cdot K^2} \cdot \frac{\sin(\tilde{p} \pm \alpha)}{\cos(A \pm B_1) + \lambda_0^2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\tilde{p} \pm \alpha)}, \quad (17)$$

где

$$\lambda_0^2 = \frac{2 \cdot m \cdot l_x^2}{\tau_p + 2 \cdot m \cdot l_x}. \quad (18)$$

Экспериментально установлено, что если рыба ориентирована в калибрующей щели головой вперед, то данную ориентацию можно сохранить при выпадении рыбы из щели, если под щелью расстояние меньше, чем длина рыбы от центра тяжести до хвостового плавника, установить приемный желоб, жестко связанный с калибрующей решеткой. В данном случае при выпадении рыба опускается на плоскость желобка хвостовым плавником и на нее накладывается дополнительная связь, вследствие чего в период совместного движения рыбы и сортировочной решетки (относительный покой) она колебаться не будет, а при перемещении по щели вперед будет постепенно разворачиваться и в итоге падать на желоб головой вперед в направлении перемещения.

Устойчивость движения рыб находится с помощью графиков (рис. 3). Теоретическая скорость перемещения сырья после решения дифференциального уравнения движения вычисляется по формуле

$$v_T = \Delta S n = 2A(F_+ - F_-)n, \quad (19)$$

где  $n$  – частота колебаний, Гц;  $F_+, F_-$  – функции скольжения, характеризующие движение рыбы головой и хвостом вперед в течение периода колебаний.

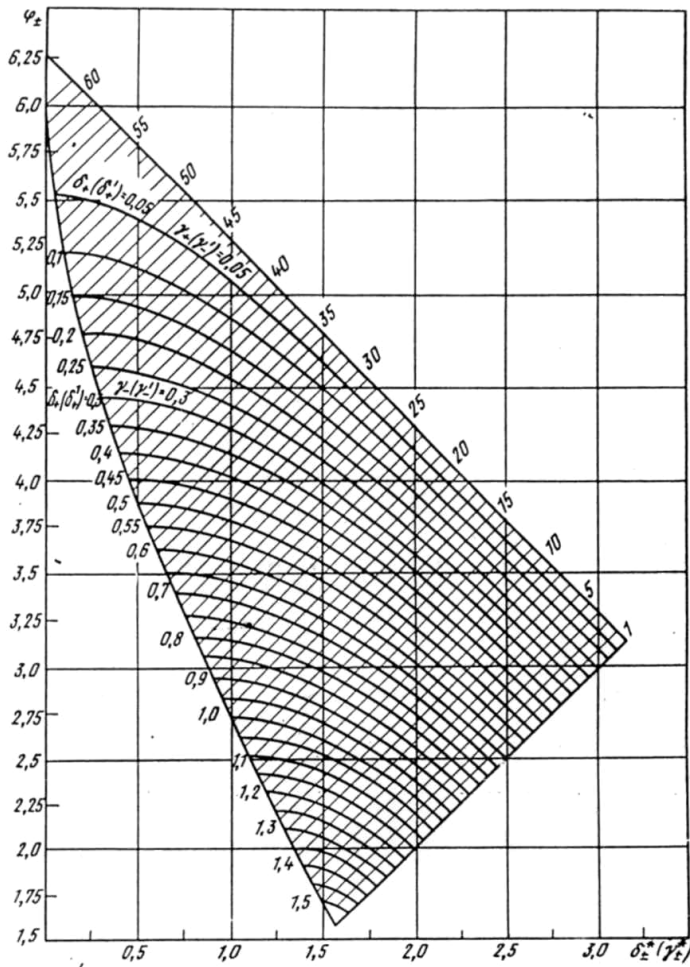


Рис. 3. График для нахождения устойчивости движения рыбы по колеблющейся поверхности  
 Fig. 3. Schedule to find the persistence of vibrating surface fish movement

В этом случае скорость движения рыбы при выпадении также можно определить по рассмотренной выше, но с другими значениями  $z_+$ ,  $z_-$ , которые определяют перемещение рыбы:

$$z_{\pm} = \frac{g}{A \cdot K^2} \cdot \frac{\sin(\tilde{p} \pm \alpha) \pm a \cdot \cos \tilde{p}_{\pm}}{\cos(\beta + B_{\pm})}, \quad (20)$$

где  $a$  – безразмерный параметр,

$$a = F / mg, \quad (21)$$

$F$  – сила трения хвостового плавника о плоскость желобка, Н.

На основании рассчитанной скорости перемещения рыбы, исходя из необходимой производительности машины и шага между рыбами, можно определить необходимое количество калибрующих щелей.

Обобщая вышеизложенное, можно с уверенностью сказать, что вибротехника может использоваться с максимальной отдачей при недорогом, но эффективном использовании сменного навесного оборудования (рис. 4).

Опираясь на наши теоретические и экспериментальные данные и используя разработанные нами технологические линии с использованием сменного навесного оборудования на базовой модели [4] с максимальным использованием как вибропривода, так и вибротехники в целом, рыбообрабатывающие и другие предприятия без увеличения производст-

венных площадей, увеличения количества персонала, затрат на оборудование разных назначений могут существенно расширить перечень операций, а соответственно ассортимент выпускаемой продукции. При сезонных (путинных) поставках сырья могут оперативно его перерабатывать без дополнительных затрат.

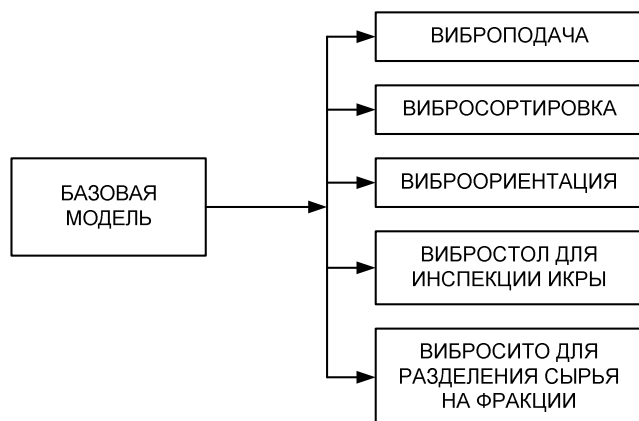


Рис. 4. Варианты широкого использования навесного оборудования на базовой модели  
Fig. 4. Options for wider use of replacement equipment on the base model

### Список литературы

1. Гончаревич И.Ф., Урьев Н.Б., Телейсник М.А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищ. пром-сть, 1977. – 278 с.
2. Ассенов С.А., Декин К.Д., Медведкин С.И. и др. Вибрационные машины в рыбной промышленности. – М.: Пищ. пром-сть, 1974, – 120 с.
3. Потураев В.Н., Франчук В.Н., Червоненко А.Г. Вибрационные транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1964. – 272 с.
4. Пат. Российская Федерация. Устройство вибрационного перемещения гидробионтов / Дерябин А.А., Проскура Д.Ю., Мельников К.Ю., Угрюмова С.Д.; № 91987; заявл. 10.03.2010.
5. Проскура Д.Ю., Дерябин А.А. Практические решения по совершенствованию вибрационного перемещения материалов. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011.
6. Поспелов Ю.В., Тушко А.А., Погонец В.И. Основы расчета и проектирования оборудования для первичной обработки рыбы. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 1985.
7. Поспелов Ю.В. Механизированные разделочные линии рыбообрабатывающих производств. – Владивосток, 1987.
8. Поспелов Ю.В., Зонов С.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 1995.
9. Пат. Российская Федерация. Устройство вибрационного перемещения гидробионтов / Проскура Д.Ю., Дерябин А.А., Максисмова В.И.; № 2012131982/11 (050502); заявл. 25.07.12.
10. Угрюмова С.Д., Дерябин А.А., Мельников К.Ю. Физические основы вибрационного перемещения гидробионтов // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: сб. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010.
11. Угрюмова С.Д., Мельников К.Ю., Дерябин А.А. Исследование влияния вибрационных параметров на действительную скорость транспортирования рыбы: науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – № 20.

**Сведения об авторах:** Проскура Дмитрий Юрьевич, старший преподаватель, e-mail: dim.proskura@.ru;

Дерябин Андрей Анатольевич, старший преподаватель, e-mail: reolog@mail.ru;

Григорьева Светлана Петровна, главный специалист ИЗО, e-mail: SPU\_vl@list.ru.