

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Московский ордена Трудового Красного знамени технологический  
институт мясной и молочной промышленности

На правах рукописи  
Для служебного пользования  
Экз. № \_\_\_\_\_

000031

АБДУЛЛАЕВ АНВЯРЬ АХМЕДУРИЕВИЧ

УДК 664.95.05;621.867.522.2

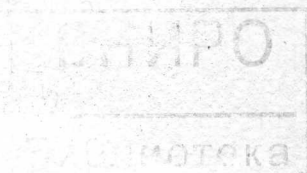
РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ МЕЛКОЙ  
РЫБЫ И КРИЛЯ

Специальности 05.02.14. - Машины и агрегаты  
пищевой промышлен-  
ности  
05.05.05. - Подъемно-транспорт-  
ные машины

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 1985

*с. работы Асейкова С.А.*



Работа выполнена на кафедре "Детали машин и ПТМ" Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства.

Научные руководители: доктор технических наук,  
профессор ГОНЧАРЕВИЧ И.Ф.  
кандидат технических наук,  
доцент ДЕКИН К.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
заслуженный деятель науки  
и техники РСФСР, профессор  
ГОРТИНСКИЙ В.В.  
кандидат технических наук,  
с.н.с. КОВАЛЕВ В.М.

Ведущее предприятие: ЦПКТБ "Азчеррыба"

Защита состоится "16" октября 1985 г. на заседании специализированного Совета Д.063.46.01 Московского ордена Трудового Красного Знамени технологического института мясной и молочной промышленности, город Москва, 109818, ул.Талалихина, д.33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке технологического института мясной и молочной промышленности.

Автореферат разослан "16" сентября 1985 года.

Ученый секретарь специализированного Совета, кандидат технических наук, доцент

С.Г.ЮРКОВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших задач, поставленных на XXVI съезде КПСС, в "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР" на 1981 - 1985 гг. и на период до 1990 г." и в Продовольственной программе СССР на период до 1990 года является удовлетворение потребности советских людей в пищевой продукции.

Предусматривается дальнейшее увеличение выпуска товарной рыбной продукции, расширение ассортимента и улучшение качества ее. С введением двухсотмильных рыболовных зон существенное внимание уделяется новым, перспективным объектам промысла (мелкие виды рыб, антарктическая креветка - криль). В СССР объем годового вылова криля с учетом его воспроизводства уже в ближайшие годы может быть доведен до 15 млн. тонн. Получение качественной продукции из этого сырья невозможно без комплексного подхода к разработке автоматизированных линий по переработке криля и мелкой рыбы. Решение этой проблемы требует знания физико-механических характеристик обрабатываемых объектов, закономерностей взаимодействия их с рабочими органами машин.

Наименее механизированными в процессе переработки мелкой рыбы и криля являются операции сортировки, инспекции, сушки и другие. Анализ эксплуатации существующего технологического оборудования в рыбоперерабатывающей промышленности позволил сделать вывод, что наиболее перспективными для механизации этих операций являются вибрационные машины. Отличительной особенностью вибрационных машин является возможность совмещения процесса вибрационного перемещения с другими технологическими операциями; ориентированием, сушкой, сортировкой, уплотнением и др.

Существующие методики расчета вибрационных транспортно-технологических машин базируются на значительно упрощающих этот процесс моделях и не учитывают весь комплекс факторов, влияющих на вибрационное перемещение рыбных грузов. Используемые в вибрационных устройствах гармонические колебания не позволяют добиться необходимой скорости транспортирования мелкой рыбы и криля, обладающих значительными адгезионными свойствами, без повышения динамических нагрузок на конструкцию и энергоёмкости.

Для повышения эффективности рассматриваемых процессов следует использовать специальные режимы колебаний грузонесущего органа. Опыт показывает, что при транспортировании подобных грузов

лучшие результаты дает применение бигармонических режимов колебаний.

Вопросы, связанные с созданием методики расчета вибрационных транспортных-технологических машин при бигармонических колебаниях грузонесущего органа с учетом всех факторов, влияющих на процесс перемещения, являются актуальными и требуют конкретных решений.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение технико-экономических показателей (производительности, технологичности конструкции, стабильности процесса и др.) вибрационных транспортно-технологических машин на основе применения бигармонических колебаний грузонесущего органа и учета специфических свойств объектов обработки.

Для выполнения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие конкретные задачи:

- Определение природы и величины сил сопротивлений, возникающих при взаимодействии рыбы и криля с рабочими поверхностями машин, исследование ориентирующего эффекта при перемещении рассматриваемых объектов.

- Экспериментальное определение физико-механических свойств рыбы и криля, влияющих на динамику процесса вибрационного перемещения; разработка феноменологической модели объекта транспортирования.

- Разработка математической модели и теоретическое исследование процесса вибрационного перемещения рыбы и криля при бигармонических колебаниях грузонесущего органа.

- Экспериментальное исследование процесса вибрационного перемещения рыбы и криля. Определение параметров колебаний, влияющих на скорость перемещения, разработка рекомендаций по выбору поверхности грузонесущего органа.

- Разработка методики инженерного расчета вибрационных транспортно-технологических машин.

Научная новизна.

- Разработана феноменологическая модель объекта исследования с учетом свойств, влияющих на процесс восприятия вибрации.

- Разработана, исследована и экспериментально проверена математическая модель процесса вибрационного перемещения мелкой рыбы и криля, установлены закономерности транспортирования их при бигармонических и гармонических колебаниях грузонесущего органа,

- Определены некоторые реологические характеристики мелкой рыбы и криля.

- Определены факторы, характеризующие силы сопротивлений, возникающие при перемещении рыбы и криля.

- Уточнена природа ориентирующего эффекта при перемещении рыбного сырья.

Практическая ценность. Разработана методика расчета вибрационных транспортно-технологических машин для мелкой рыбы и криля. Предложены рекомендации по выбору поверхности грузонесущего органа. Составлены исходные требования на проектирование вибрационного конвейера для криля и продуктов его переработки. Спроектирован инспекционный конвейер вибрационного типа для криля, опытный образец которого успешно прошел испытания на экспериментальной базе ВНИРО, РТИ "Керчь".

Экономический эффект от внедрения одного инспекционного конвейера на судах МРХ СССР составляет 2,09 тыс.руб., предполагается установка конвейеров на 28 судах.

Разработанная методика использовалась в ПТО "Касптехрыбпром" при проектировании автомата для разделки кильки и панировочной машины.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на:

- Всесоюзной конференции "Научно-технический прогресс и молодежь" - Калининград, 1981.

- Всесоюзной конференции по вибрационной технике - Кутаиси, 1981.

- Всесоюзной конференции "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания" - Москва, 1984.

- III межвузовской конференции "Молодые ученые и специалисты" - Калининград, 1984.

- Научно-техническом семинаре "Проблемы совершенствования технологии и оборудования для обработки объектов морского промысла" - Калининград, 1984.

- научных конференциях профессорско-преподавательского состава Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства - Астрахань, 1983, 1984.

Публикации. По теме диссертации опубликовано девять печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 160 страницах основного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 9 таблиц и 35 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы, показана ее научная и практическая значимость для рыбной промышленности.

В первой главе рассмотрены вопросы использования вибрационных транспортно-технологических машин для мелких видов рыбы и криля. На основе анализа литературных данных установлено, что применение вибрационных машин позволит механизировать наиболее трудоемкие процессы при переработке рыбного сырья.

В настоящее время в рыбообрабатывающей отрасли применяются вибрационные машины, в которых используются только гармонические колебания грузонесущего органа, что существенно снижает стабильность процесса перемещения и возможность использования их при транспортировании рыбных грузов малой массы, обладающих повышенными адгезионными свойствами, для которых адгезионные силы становятся соизмеримы с движущими силами инерции.

Исследования ряда авторов показывают, что при транспортировании грузов со значительными адгезионными свойствами необходимо использовать бигармонические колебания грузонесущего органа, которые препятствуют налипанию груза к грузонесущему органу и обеспечивают стабильность процесса вибротранспортирования, устраняют или уменьшают фазу обратного скольжения в каждом периоде колебаний.

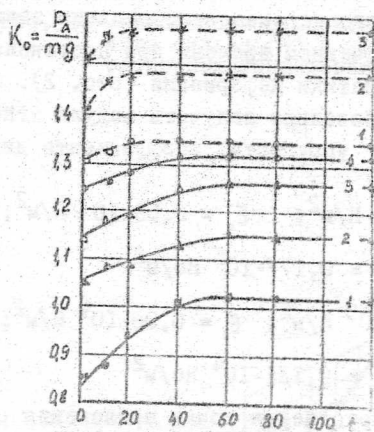
В главе также изучены вопросы, связанные с реологическими характеристиками рыбных грузов. Тело рыбы обладает упругими, вязкими и пластичными свойствами, что не учитывается до настоящего времени при расчете вибрационных машин.

Отсутствие литературных данных об использовании вибрационных машин для транспортирования криля и применения бигармонических колебаний в транспортно-технологических машинах для мелкой рыбы обусловило необходимость проведения самостоятельных исследований, направленных на разработку методики расчета вибрационных машин для мелкой рыбы и криля.

Во второй главе дается характеристика объектов исследования. При-

водятся методики экспериментов и описываются экспериментальными установками для определения свойств объектов, непосредственно влияющих на процесс вибрационного перемещения.

Исследуя процесс сопротивления сдвигу кильки и криля, определено, что, наряду с силами сухого трения, проявляются и значительные силы адгезии. Результаты исследований зависимости сил адгезии от вида контактирующей поверхности и времени контакта приведены на рис. 1. Установлено, что графики зависимости коэффициента удельного прилипания  $K_0$  от времени контакта имеют две зоны. В первой с увеличением времени контактирования увеличивается  $K_0$ . Это объясняется тем, что с течением времени количество установившихся адгезионных связей увеличивается до своего предельного значения, далее начинается вторая зона, в которой с дальнейшим увеличением  $t$  сила адгезии практически остается неизменной.



- 1 - Винилпласт ВНТ
- 2 - Сталь XI9N2T
- 3 - Алюминий АЛ3
- 4 - Лента конвейерная пищевая
- $P_A$  - усилие отрыва, Н

Рис. 1. Зависимость сил адгезии от материала поверхности грузонесущего органа для кильки (---) и криля (—)

Результаты экспериментальных исследований по нахождению факторов, определяющих сопротивление перемещению рыбы и криля по плоскости, показали, что на суммарную силу сопротивления движения влияют силы сухого трения  $P_T$ , силы адгезии  $P_A$  и силы вязких сопротивлений  $P_{\mu}$ , зависящих от скорости движения

$$P = P_T + P_A + P_{\mu} = f_2 mg + K_0 f_1 mg + c_2 V; \quad (I)$$

где  $f_z$  - коэффициент сухого трения;  
 $m$  - масса объекта, кг;  
 $g$  - ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  
 $k_0$  - коэффициент удельного прилипания;  
 $C_x$  - коэффициент вязких сопротивлений при прямой (+)  
и обратной (-) ориентации,  $Hc/m$ ;  
 $V$  - скорость движения крыля по плоскости,  $m/c$ .

Средленные экспериментальным путем значения коэффициентов вязких сопротивлений и коэффициента внешнего сопротивления сдвигу, учитывающего суммарное действие сил сухого трения и адгезии, соответственно равны:

$$C_x = 0,04 + 0,05 Hc/m;$$

$$C_x = 0,17 + 0,18 Hc/m$$

$$f_{c_0} = 0,9$$

$$f_{c_0} = 1,1$$

Для определения реологических характеристик рыбы и крыля, влияющих на процесс вибрационного перемещения, найдены зависимости деформации тела объекта с течением времени при постоянном напряжении и построены кривые кинетики деформации (рис. 2). Обратка полученных результатов позволила получить модули мгновенной  $E_0$  и запаздывающей  $E_1$  упругости, коэффициента динамической вязкости  $\gamma$ .

$$\text{Для кильки: } E_0 = 0,22 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2; \quad E_1 = 0,08 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2;$$

$$\gamma = 0,177 \cdot 10^5 \text{ Hc/m}^2$$

$$\text{Для крыля: } E_0 = 0,0402 \cdot 10^5 \text{ H/m}^2; \quad E_1 = 0,08 \cdot 10^4 \text{ H/m}^2;$$

$$\gamma = 0,131 \cdot 10^4 \text{ Hc/m}^2$$

Для разработки методики нахождения точки приложения равнодействующей касательных опорных реакций плоскости  $C_x$ , относительно которой происходит разворот мелкой рыбы и крыля при их ориентировании на колеблющейся плоскости, решена задача определения величины нормальных опорных реакций  $B$  и касательных опорных реакций  $C$ , действующих по всей площади контакта исследуемых объектов с плоскостью (рис. 3).

Проведенные во второй главе экспериментальные исследования выявили основные физико-механические характеристики мелкой рыбы и крыля, влияющие на характер восприятия вибрации исследуемыми объектами.

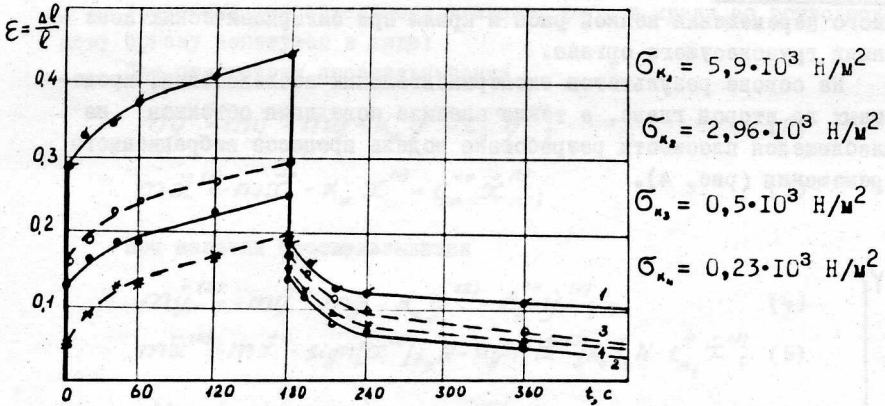


Рис. 2. Зависимости относительной деформации тела кильки (-) и криля (- - -) при различных напряжениях на контакте

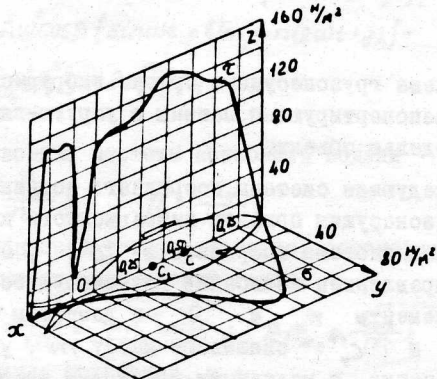


Рис. 3. Эпюра нормальных и касательных реакций плоскости

В третьей главе поставлена и теоретически решена задача вибри-  
онного перемещения мелкой рыбы и криля при бигармонических коле-  
баниях грузонесущего органа.

На основе результатов экспериментальных исследований, прове-  
денных во второй главе, а также анализа поведения объектов на  
колеблющейся плоскости разработана модель процесса вибрионного  
перемещения (рис. 4).

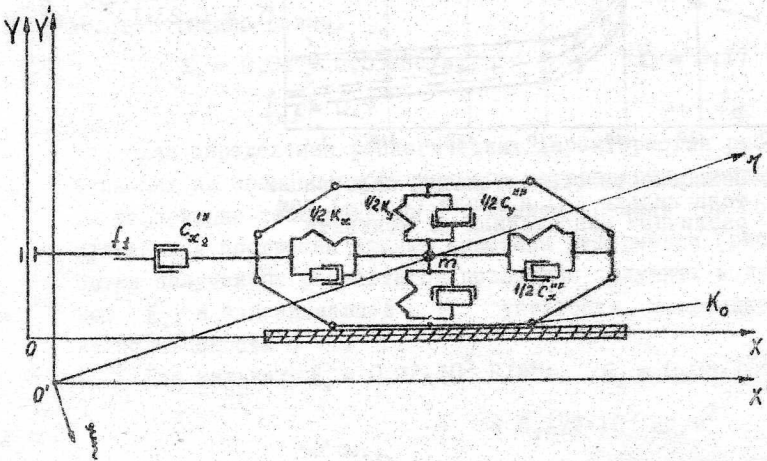


Рис. 4. Схема грузонесущего органа вибрионной  
транспортирующей машины с упруго-вязкой  
моделью объекта

Введены следующие системы координат: подвижная  $XOY$ , жестко  
связанная с грузонесущим органом вибрионного конвейера,  
 $X'O'Y'$  - неподвижная система координат и  $\gamma O'Z'$ , ось  $Z'$  которой  
совпадает с направлением колебаний грузонесущего органа.

Упругие элементы  $K_x$  и  $K_y$  и демпферы с коэффициентами  
вязкости  $C_x''$  и  $C_y''$  связывают массу  $m$ , условно сосредото-  
ченную в одной точке, с условными границами исследуемого объекта  
и учитывают внутренние сопротивления при его деформировании. Си-  
лы сухого трения учитываются коэффициентом трения  $f_2$ , силы  
прилипания - коэффициентом удельного прилипания  $K_0$ . Сопротивле-  
ние среды, в которой осуществляется перемещение, моделируется ко-

на суп  $Z$  силы сопротивления,  
 $= TP + адгезия + вязкость$

ээффициентом вязкости  $c_{x_{\pm}}^{1*}$ .

Уравнения относительного движения рыбы и крыла по грузонесущему органу запишутся в виде:

При отсутствии проскальзывания

$$m\ddot{y}^{(1)} = -m\dot{y}' - mg - K_y y^{(1)} - c_y^{**} \dot{y}^{(1)}; \quad (2)$$

$$m\ddot{x}^{(1)} = -m\dot{x}' - K_x x^{(1)} - c_x^{**} \dot{x}^{(1)}; \quad (3)$$

При наличии проскальзывания

$$m\ddot{y}^{(2)} = -m\dot{y}' - mg - K_y y^{(2)} - c_y^{**} \dot{y}^{(2)}; \quad (4)$$

$$m\ddot{x}^{(2)} = -m\dot{x}' - \text{sign}[\dot{x}^{(2)}] f_{\pm} N - \text{sign}[\dot{x}^{(2)}] K_0 [f_{\pm} N - c_{x_{\pm}}^{**} \dot{x}^{(2)}]; \quad (5)$$

где  $N$  - нормальная реакция груза:

$$N = K_y y^{(1)} + c_y^{**} \dot{y}^{(1)}; \quad (6)$$

- относительная скорость движения, м.

После преобразования эти уравнения (1, 2, 5) примут вид:

$$\ddot{y} + 2n_y^{**} \dot{y} + p_y^2 y = A\omega^2 \sin\beta [\sin\omega t + 4/m_1 \sin(2\omega t + \gamma)] - g; \quad (7)$$

$$\ddot{x}^{(1)} + 2n_x^{**} \dot{x}^{(1)} + p_x^2 x = A\omega^2 \cos\beta [\sin\omega t + 4/m_1 \sin(2\omega t + \gamma)]; \quad (8)$$

$$\ddot{x}^{(2)} + 2n_{x_{\pm}}^{**} \dot{x}^{(2)} = A\omega^2 \cos\beta [\sin\omega t + 4/m_1 \sin(2\omega t + \gamma)] - \text{sign}[\dot{x}^{(2)}] f_{\pm} (p_y^2 y + 2n_y^{**} \dot{y}); \quad (9)$$

где  $p_x, p_y$  - собственные частоты колебаний модели

$$p_x^2 = \frac{K_x}{m}; \quad p_y^2 = \frac{K_y}{m};$$

$n_x^{**}, n_y^{**}, n_{x_{\pm}}^{**}$  - коэффициенты демпфирования, обусловленные сопротивлениями перемещению груза,

$$2n_x^{**} = \frac{c_x^{**}}{m}; \quad 2n_y^{**} = \frac{c_y^{**}}{m}; \quad 2n_{x_{\pm}}^{**} = \frac{c_{x_{\pm}}^{**}}{m};$$

$A$  - амплитуда колебаний, м;

$\omega$  - частота колебаний,  $\text{с}^{-1}$ ;

$m_1$  - соотношение амплитуд двух гармоник, создающих бигармонические колебаний грузонесущего органа;

$\gamma$  - сдвиг фаз между гармониками;

$f_{\sigma_2}$  - суммарный коэффициент сил, сухого трения и адгезии.

Решение этих уравнений дает относительные перемещения ( $x, y$ ) и скорости ( $\dot{x}, \dot{y}$ ) в каждый момент времени на любом из рассматриваемых этапов.

Определяющим при нахождении скорости вибрационного перемещения является этап относительного движения груза вдоль грузонесущего органа (этап с проскальзыванием)

$$x^{(2)} = x_n - K_1 - \frac{K_2 - \dot{x}_n^{(2)}}{2n_{x_2}^{(2)}} [1 + e^{-2n_{x_2}^{(2)}(t-t_n)}]; \quad (10)$$

$$\dot{x}^{(2)} = [K_2 - \dot{x}_n^{(2)}] e^{-2n_{x_2}^{(2)}(t-t_n)}; \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} K_1 &= A_5 e^{x_{1y} P_1 t_n} + B_5 e^{x_{2y} P_2 t_n} + A_6 \sin \omega t_n + B_6 \cos \omega t_n + \\ &+ A_7 \sin(2\omega t_n + \gamma) + B_7 \cos(2\omega t_n + \gamma) + A_8 t_n; \\ K_2 &= x_{1y} P_1 A_5 e^{x_{1y} P_1 t_n} + x_{2y} P_2 B_5 e^{x_{2y} P_2 t_n} + \omega A_6 \cos \omega t_n + \\ &+ \omega B_6 \sin \omega t_n + 2\omega A_7 \cos(2\omega t_n + \gamma) - 2\omega B_7 \sin(2\omega t_n + \gamma) + A_8; \end{aligned}$$

где:  $A_5, \dots, A_8 = f_1(A, \omega, n_{x_2}, m_1, f_{\sigma_2})$  - постоянные величины;

$B_5, \dots, B_7 = f_2(A, \omega, n_{x_2}, m_1, f_{\sigma_2})$  - постоянные величины;

$$x_{1,2} = -\nu \pm \sqrt{\nu^2 - 1}$$

$\nu = \frac{n}{p}$  - коэффициент расстройки.

Моменты перехода от этапа относительного покоя к скольжению определяются в результате решения трансцендентного уравнения, полученного приравниванием продольной, сдвигающей объект, силы силе его статического трения о поверхность грузонесущего органа

$$K_x x^{(1)} + C_x \dot{x}^{(1)} = f_{\sigma_2} (K_y y^{(1)} + C_y \dot{y}^{(1)}); \quad (12)$$

Момент перехода от этапа скольжения к остановке определяется в результате решения трансцендентного уравнения, полученного приравниванием нулю скорости груза

$$\dot{x}^{(2)} = (\dot{x}_n^{(2)} - K_2) e^{-2n_{x_2}^{(2)}(t-t_n)}; \quad (13)$$

В результате интегрирования текущих скоростей движения на каждом этапе в соответствующих пределах найдена средняя скорость вибрационного перемещения рыбы и крыля:

$$V_{cp} = \frac{n_{x_1}}{\lambda_1} e^{\lambda_1^* (t_{x_0} - t_{n_0})} + \frac{n_{x_2}}{\lambda_2} e^{\lambda_2^* (t_{x_0} - t_{n_0})} + A_8 \cos \omega (t_{x_0} - t_{n_0}) +$$

$$\begin{aligned}
 & + B_2 \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + A_4 \cos [2\omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + \gamma] + \\
 & + B_4 \sin [2\omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + \gamma] + A \cos \beta \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + \\
 & + A/m_1 \cos \beta \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + \frac{\dot{x}_{n_2} - K_2}{\lambda_2^{**}} e^{-\lambda_2^{**} t_{n_2} (t_{n_0} - t_{n_0})} + \\
 & + \frac{x_{n_2} - K_2}{\lambda_2^{**}} e^{-\lambda_2^{**} t_{n_2}} e^{\lambda_2^{**} (t_{n_0} - t_{n_0})} + A \cos \beta \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + \\
 & + A \cos \beta \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + A/m_1 \cos \beta \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}) + \\
 & + A/m_1 \cos \beta \sin \omega (t_{n_0} - t_{n_0}); \tag{14}
 \end{aligned}$$

где

$$\lambda_{1,2}^{*(n,n)} = -n \pm \sqrt{n^2 - \rho^2};$$

Решение этих уравнений проводилось на ЭВМ по специально разработанной программе.

Анализ результатов теоретических исследований движения модели подтверждает необходимость учета специфичных свойств объекта, связанных с проявлением сил адгезии и внутренних упруго-вязких деформации. Решение уравнений движения модели по разработанной программе позволяет определить приемлемое сочетание параметров колебаний грузонесущего органа для обеспечения требуемой скорости движения объекта.

Получены также аналитические выражения сил сопротивлений движению грузонесущего органа, оказываемых самим грузом, затраты энергии на транспортирование рыбы и крыля.

В четвертой главе проведены экспериментальные исследования процесса вибрационного перемещения мелкой рыбы и крыля, которые необходимы для проверки правильности выбора математической модели. Для проведения экспериментов был изготовлен специальный вибростенд, позволяющий получать гармонические и бигармонические колебания грузонесущего органа.

Анализ зависимостей скорости транспортирования криля  $V$  от амплитуды  $A$  и частоты  $\omega$  при гармонических колебаниях показал (рис. 5), что при  $\omega < 40 \text{ с}^{-1}$  интенсивность роста скорости транспортирования криля незначительна, что объясняется соизмеримостью инерционных усилий, движущих груз относительно рабочего органа конвейера, с силами адгезии. При дальнейшем увеличении частот интенсивность роста скорости увеличивается. Отмечена зависимость средней скорости вибрационного перемещения криля от амплитуды. Проведены исследования по определению зависимости скорости транспортирования от частоты при разных углах вибрации (рис. 6). Увеличение угла вибрации  $\beta$  до  $30 \pm 35^\circ$  способствует повышению скорости. Дальнейшее увеличение  $\beta$  приводит к снижению средней скорости вследствие уменьшения горизонтальной составляющей движущих сил.

Угол наклона грузонесущего органа  $\alpha$  однозначно влияет на скорость: с возрастанием  $\alpha$  скорость увеличивается (рис. 7).

Результаты экспериментальных исследований при бигармонических колебаниях грузонесущего органа приведены на рис. 8.

Рассматривалось влияние сдвига фаз между двумя гармониками  $\delta$ , соотношения амплитуд  $m_1$ , и соотношения частот  $n$  на скорость транспортирования. Максимальная скорость достигается при угле сдвига фаз  $\gamma = 90^\circ$ . Также заметно повышение скорости вибротранспортирования при изменении соотношения амплитуд  $m_1$  от 1 до 2. Далее рост скорости незначителен, что связано с уменьшением эффективности воздействия второй гармоники.

Влияние соотношения частот  $n$  на процесс вибрационного перемещения рыбы и криля рассматривалось при действии первой и второй гармоник, так как высшие гармоники вызывают большие динамические нагрузки на конструкцию и поэтому не приемлемы. Повышение скорости транспортирования при изменении соотношения частот двух гармоник от 1 до 0 связано с ослаблением влияния сил адгезии при воздействии второй гармоники с удвоенной частотой.

Полученные значения скорости транспортирования рыбы и криля при гармонических и бигармонических колебаниях грузонесущего органа показали большую эффективность бигармонических колебаний.

Сравнение результатов экспериментальных исследований с теоретическими показало хорошую сходимость (максимальная погрешность средней скорости транспортирования не превышает 11%), что подтверждает правильность выбора математической модели процесса вибра-

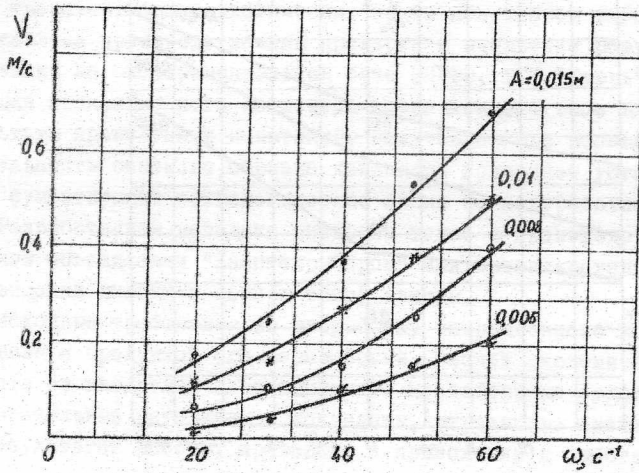


Рис. 5. Зависимость скорости транспортирования крыла от частоты и амплитуды колебаний грузонесущего органа ( $\beta = 30^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$ )

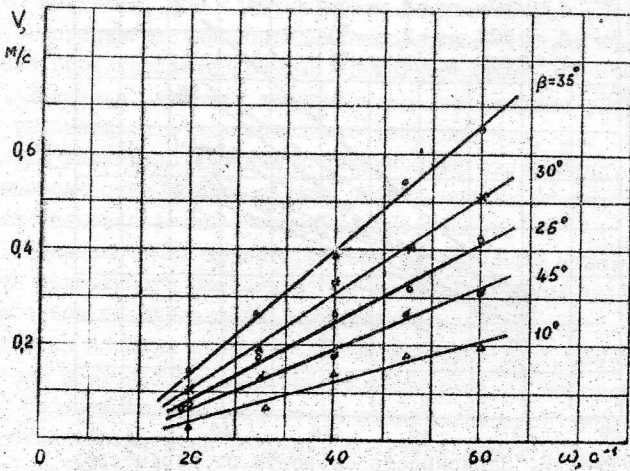


Рис. 6. Зависимость скорости транспортирования крыла от угла вибрации ( $A = 0,01$  м ,  $\alpha = 0^\circ$ )

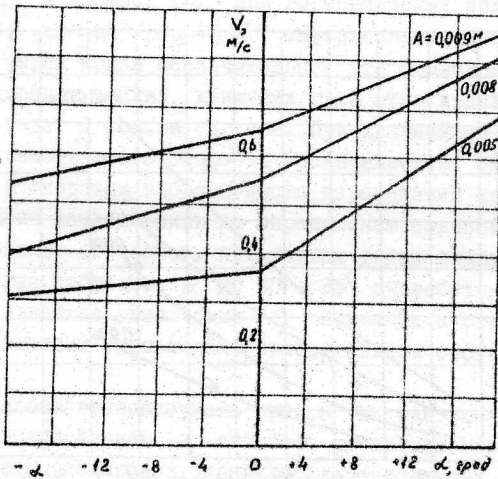


Рис. 7. Зависимость скорости транспортирования крыла от угла наклона грузонесущего органа ( $\omega = 60 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta = 30^\circ$ )

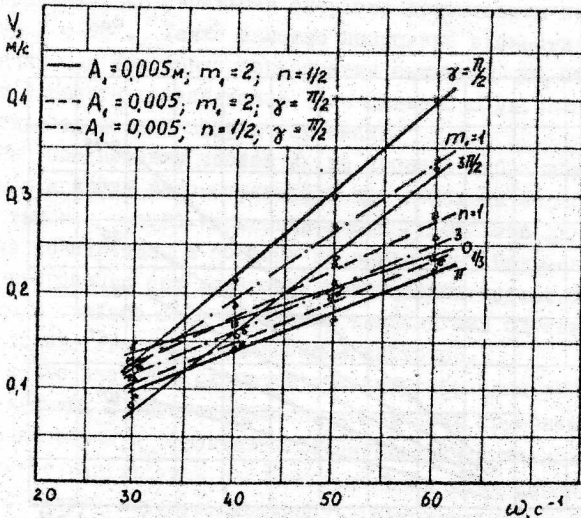


Рис. 8. Зависимость скорости от параметров бигармонических колебаний ( $\beta = 0^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$ )

ционного перемещения мелкой рыбы и криля.

В пятой главе разработана методика инженерного расчета вибрационных транспортно-технологических машин для мелкой рыбы и криля. Представлена производственная проверка и внедрение результатов исследований на экспериментальной базе ВНИРО, РТМ "Керчь". Дана конструкция инспекционного конвейера вибрационного типа для криля и результаты проведенных испытаний. Полученная при испытаниях производительность опытного образца конвейера позволяет устанавливать его в существующие технологические линии по переработке криля.

Разработанная методика внедрена также в производственно-техническом объединении "Касптехрыбпром" при проектировании автомата для разделки кильки и панировочной машины.

Исходные требования на разработку вибрационного конвейера для криля и продуктов его переработки, расчет экономической эффективности от внедрения инспекционного конвейера на судах МРХ СССР, вспомогательные материалы и документы, отражающие степень внедрения результатов работы, приведены в приложении к работе.

#### ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено, что при контактировании мелкой рыбы и криля с поверхностью грузонесущего органа возникают силы сопротивлений, складывающиеся из силы непосредственного фрикционного контакта, сил адгезии и сил вязких сопротивлений.

2. Экспериментально определена зависимость сил адгезии от материала поверхности и времени контактирования.

3. Доказано, что при вибрационном перемещении рыбу и криль нельзя рассматривать как абсолютно твердые тела, они обладают значительными упругими, вязкими и пластичными свойствами. Разработана феноменологическая модель мелкой рыбы и криля. Определены количественные значения реологических характеристик.

4. Доказано, что ориентирование исследуемых объектов на вибрирующей поверхности происходит из-за несовпадения центра масс объекта с точкой приложения равнодействующей касательных реакций плоскости на площади контакта. Дана методика определения точки приложения равнодействующей касательных реакций плоскости.

5. Составлена математическая модель процесса вибрационного перемещения мелкой рыбы и криля. Получены аналитические зависимости для определения средней скорости транспортирования, динамических нагрузок и затрат энергии.

6. Экспериментально установлены зависимости между параметрами колебаний и скоростью транспортирования мелкой рыбы и криля. Доказана большая эффективность бигармонических колебаний для транспортирования влажных и липких рыбных грузов. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало достаточную сходимость результатов, что подтверждает правильность выбора математической модели процесса вибрационного перемещения.

7. Разработана методика расчета вибрационных транспортно-технологических машин, позволяющая определить приемлемое сочетание параметров колебаний грузонесущего органа для обеспечения требуемой скорости движения рыбы и криля.

8. Разработаны исходные требования на разработку вибрационного конвейера для криля и продуктов его переработки.

Результаты исследований, проведенных в настоящей диссертации, проверены при создании и испытании опытного образца инспекционного конвейера вибрационного типа для криля на экспериментальной базе ВНИРО, РТМ "Керчь" и проектировании автомата для разделки кильки и панирочной машины в ПТО "Касптехрыбпром".

Экономический эффект от внедрения одного вибрационного конвейера для криля составляет 2099 руб., предполагается установка конвейеров на 28 судах МРХ СССР.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Абдуллаев А.А. Исследования вопросов вибрационного транспортирования и ориентирования рыбных грузов. - В кн.: Научно-технический прогресс и молодежь: Тез. докл. Всесоюз. конф. Калининград, 1981, с. 77.

2. Абдуллаев А.А. и др. Устройство для фиксации траектории движения тела при фотографировании. - Межотраслевой информационный листок (Астраханский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды). - Астрахань, 1981, № 220 - 81, с. 2, илл. 1.

3. Абдуллаев А.А., Комаров М.П., Дёкине Ю.И. Инженерный расчет вибрационных конвейеров с применением ЭВМ: Межотраслевой информационный листок (Астраханский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды). - Астрахань, 1984, № 83-84, с. 4, илл. 1.

4. Абдуллаев А.А., Гончаревич И.Ф. Разработка машины для ориентированного вибротранспортирования объектов с анизотропными свойствами. - В кн.: Всесоюзная конференция по вибрационной тех -

нике: тез. докл. Тбилиси, 1981, с. 191.

5. Абдуллаев А.А., Горст П.Р. Применение механореологической модели для исследования процесса вибротранспортирования рыбных грузов. - В кн.: Ш Межвузовская конференция молодых ученых и специалистов: тез. докл. Калининград, 1984, с. 174.

6. Абдуллаев А.А. Исследование процесса вибрационного перемещения мелкой рыбы при бигармонических колебаниях грузонесущего органа. - Астрахань, 1983 - 15с. Рукопись представлена Астрахан. техн. ин-том рыбн. пром. и х-ва. Деп. в ЦНИИДЭИРХе №558рх-Д83 от 17.01.84.

7. Абдуллаев А.А., Гончаревич И.Ф., Декин К.Д., Никулин Ю.И. Виброустановка для транспортирования и ориентирования рыбопродуктов. - В кн.: Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания: тез. докл. Всесоюз. конф. ДСП, М., 1984, с. 193.

8. Декин К.Д., Декина Ю.И., Абдуллаев А.А., Никулин Ю.И. Вибрационное транспортирование и ориентирование мелкой рыбы морепродуктов. - В кн.: Проблемы совершенствования технологического оборудования для обработки объектов морского промысла: Калининград, 1984, с. 17.

9. Декин К.Д., Абдуллаев А.А. Вибрационный способ ориентировки криветок. - Э.И. Серия "Технологическое совершенствование промышленности", вып. I, ДСП, - М., ЦНИИТ

Астрибвтуз Зак. 6 Тир 88 12.09.1985 г.