

Автор еф.
Н-36

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Инженер
НАЧАТОЙ Дмитрий Егорович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ
ШТУЧНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ГРУЗОВ
НА КОНВЕЙЕРАХ ТИПА
«МАГНИТНЫЕ РЕЛЬСЫ»

Специальность № 05.02.14 «Машины и агрегаты
пищевой промышленности»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Переучет 1987

ОДЕССА — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

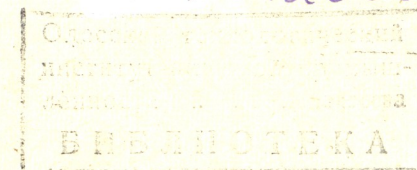
Инженер

НАЧАТОЙ Дмитрий Егорович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ
ШТУЧНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ГРУЗОВ
НА КОНВЕЙЕРАХ ТИПА
«МАГНИТНЫЕ РЕЛЬСЫ»

Специальность № 05.02.14 «Машины и агрегаты
пищевой промышленности»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук



ОПЛАТ 18.06.12
Исследование процесс



v012365

Автор. v 012365
Н-36 НАЧАТОЙ Д.Е.
Иссл. проц. движен.
1984 6/4

12

Работа выполнена на кафедре механики Донецкого института советской торговли.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор
Платонов П. Н.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии **Шахмейстер Л. Г.**,
кандидат технических наук, доцент **Ковтун А. П.**

Ведущее предприятие — Одесский экспериментальный завод упаковочных изделий имени **М. И. Калинина**.

Автореферат разослан 20 августа 1974 г.

Защита диссертации состоится 27 сентября 1974 г. в 14 часов на заседании ученого Совета механического и инженерно-экономического факультетов Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова, в аудитории №

Ваши отзывы и замечания на диссертацию и автореферат просьба направлять в адрес ученого Совета: г. Одесса-39, ул. Свердлова, 112.

Отзывы просьба присылать в двух экземплярах с подписями, скрепленными печатью.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОТИПП им. М. В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета
канд. техн. наук

Л. А. ЗАПОРОЖЕЦ

В решениях XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 годы отмечено, что «главная задача пятилетки состоит в том, чтобы обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда». Для решения этой задачи необходимо, как указано в решениях съезда, ускорить темпы научно-технического прогресса и сократить сроки внедрения результатов научных исследований в производство.

Намечен значительный рост производства продукции всеми видами промышленности, в том числе пищевой, мясо-молочной и рыбной промышленности на $33 \div 35\%$. Это возможно как за счет строительства новых предприятий пищевой промышленности, так и за счет реконструкции существующих и оснащения их современными видами высокопроизводительного оборудования, позволяющего механизировать и автоматизировать производственные процессы.

Значительная роль в решении задач механизации и автоматизации производственных процессов принадлежит конвейерному транспорту.

В настоящее время на предприятиях пищевой промышленности механизация погрузочно-разгрузочных и транспортных работ значительно отстает от механизации основных технологических операций, что значительно снижает производительность труда предприятия в целом. Одной из причин, тормозящих внедрение механизации на погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работах является то, что машиностроительная промышленность не выпускает пока в достаточном количестве многих подъемно-транспортных машин.

Одной из тенденций совершенствования конвейерного транспорта является применение транспортных средств, позволяющих реализовать в одной установке путь движения гру-

за, продиктованный технологическим процессом. Другими направлениями совершенствования конвейерного транспорта является увеличение скорости движения груза, увеличение нагрузки на единицу длины грузонесущего органа и автоматизация загрузки и разгрузки.

Анализ существующих конвейеров, позволяющих увеличить угол наклона и скорость транспортирования, показал, что они имеют ряд недостатков и не могут полностью удовлетворить возрастающим требованиям технологии. Одним из направлений, позволяющих более полно удовлетворить запросы практики, является применение магнитных систем из постоянных магнитов, создающих в области транспортируемого груза стационарное магнитное поле, воздействие которого на ферромагнитный штучный груз увеличивает нормальное давление на ленту последнего и этим самым расширяет возможности использования конвейерных установок.

В зарубежной литературе описывается ряд установок подобного типа, однако эти описания содержат рекламный характер. В этой связи перед исследованиями была поставлена задача раскрытия возможностей применения этого вида транспорта в пищевой промышленности, где широкое применение металлической тары позволит, используя ее ферромагнитные свойства, существенно расширить диапазон изменения геометрических параметров конвейеров.

Вопросами исследования, разработки и внедрения конвейеров, использующих для перемещения грузов электромагнитные поля, занимаются ряд институтов нашей страны: ДПИ, ИГД им. Скопинского, ИГД МЧМ СССР, УкрНИИпроект, ДонУГИ и др.

Целью настоящей диссертации является исследование процесса транспортирования ферромагнитных штучных грузов ленточными магнитными конвейерами и разработка на основе результатов исследования методов расчета нового вида транспортных средств. Это позволит расширить область применения ленточных конвейеров, увеличить скорость транспортирования и создать благоприятные условия для автоматизации процесса транспортирования по любым пространственным трассам.

Для достижения поставленной цели перед исследованиями были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать распределение напряженности магнитного поля по длине и толщине магнитопровода.
2. Исследовать силовое воздействие магнитного поля на

ферромагнитный штучный груз в зависимости от толщины ленты и коэффициента трения и определить размеры магнитной системы.

3. Исследовать устойчивость ферромагнитных штучных грузов на ленте конвейера при различных значениях угла наклона рабочей ветви.

4. Разработать основу теории и метод расчета конвейера типа «магнитные рельсы» при движении груза по прямолинейному участку и на магнитном барабане для установившихся и неуставившихся режимов работы.

5. Проверить предлагаемую методику на производственных испытаниях и произвести анализ экономической целесообразности применения конвейеров типа «магнитные рельсы».

Проведенные исследования являются первой попыткой дать научное обоснование процесса транспортирования ферромагнитных штучных грузов в стационарном магнитном поле, создаваемом постоянными магнитами. Полученные результаты могут быть использованы на производстве для перемещения ферромагнитных штучных грузов.

Результаты проведенных исследований позволяют обосновано выбирать основные параметры магнитных систем конвейеров и производить расчет последних. Результаты работы положены в основу разработанного в Донецком институте советской торговли магнитного конвейера, установленного на Одесском экспериментальном заводе упаковочных изделий имени М. И. Калинина, а также для разработки рабочего проекта магнитных элеваторов для рыбокомбината «Пищевик» города Ленинграда.

Основные положения диссертационной работы доложены на научном семинаре механического факультета Одесского технологического института пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова, на научно-теоретической конференции этого института (1972 г.), научно-теоретических конференциях по результатам научно-исследовательских работ Донецкого института советской торговли 1967 ÷ 1973 гг., на заседании кафедры механики ДИСТ, на заседании кафедры «Подъемно-транспортные машины и элеваторы» Одесского технологического института пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова.

По теме диссертации опубликовано 6 статей.

Диссертационная работа изложена на 110 страницах, содержит 55 рисунков, библиографию по использованной в работе литературе и патентах и приложения.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В настоящее время в пищевой промышленности работают различные по конструкции транспортирующие и транспортно-технологические машины, которые позволяют устанавливать и регулировать темп производства. Значение механизации транспортных работ в технологических процессах на современных предприятиях заставляет исследователей и конструкторов непрерывно совершенствовать и создавать новые конструкции конвейерных машин.

Анализ конструкций основных типов конвейеров, разработанных в последнее время, вскрывает целый ряд общих, весьма характерных направлений их развития.

Первая проблема — достижение сквозного (бесперегрузочного) транспортирования грузов от начального до конечного пунктов по любой трассе.

Вторая проблема — повышение производительности конвейерных установок при тех же габаритах транспортирующих машин.

Третья проблема — повышение надежности и срока службы машин и их элементов, улучшение условий работы, упрощение их обслуживания в эксплуатации.

Четвертая проблема — автоматизация управления отдельными конвейерными машинами и комплексными установками, автоматизации загрузки, разгрузки и распределения грузов по отдельным, заранее намеченным пунктам.

Решение всех четырех проблем развития конвейерного транспорта на современном уровне технического прогресса возможно в том случае, если будет улучшена силовая связь транспортируемого груза с тяговым органом конвейера.

Наиболее перспективным направлением в решении указанных проблем является применение методов, улучшающих силовую связь транспортируемого груза с тяговым органом, обеспечивающих устойчивое положение груза при транспортировании и создающее благоприятные условия для механизации и автоматизации загрузочно-разгрузочных операций.

Одно из направлений, позволяющих решить эту проблему, является применение магнитных конвейеров, обеспечивающих необходимую силовую связь транспортируемого груза и тягового органа при помощи стационарного магнитного поля.

В настоящее время магнитные транспортные установки (преимущественно конвейеры) или их элементы выпускаются фирмами «Эрнез», «Хаувер», «Легмон», «Дженерал Электрик» и др. (США), «Мицубиси дэнки» (Япония), «Штэр»,

«Зальцгитер» (ФРГ), «М-н Стандарт Карпорейшн» (Англия) и др. Работы по теоретическим и экспериментальным исследованиям магнитных способов транспортирования ведутся и в СССР. К этим работам следует отнести электромагнитные способы транспортирования жидких металлов (ДонНИИЧермет), а также разработки методов электромагнитного транспортирования насыпных грузов. Большой вклад в развитие теории электромагнитных способов транспортирования твердых насыпных ферромагнитных и немагнитных грузов внесен профессором Штокманом И. Г.

Наряду с электромагнитными способами транспортирования в зарубежной практике широкое применение получили транспортирующие установки со стационарным магнитным полем, у которых для создания магнитных полей применяются постоянные магниты. Зарубежные фирмы США, Англии и ФРГ наиболее широко выпускают магнитные конвейеры подобного типа, обеспечивающие крутонаклонное транспортирование ферромагнитных штучных грузов и с высокими скоростями. Отечественная промышленность подобных устройств пока не выпускает.

Важные преимущества магнитных конвейеров позволяют считать целесообразным и актуальным проведение исследований в этом направлении. Необходимость исследований диктуется еще и тем, что в зарубежной литературе сведения по этим вопросам носят описательный характер и не содержат даже минимально необходимых данных для непосредственного практического применения этого принципа в инженерной практике.

Учитывая специфику предприятий пищевой промышленности, характеристику грузов, возможные грузопотоки на предприятиях этой отрасли, а также конструктивные особенности различных типов магнитных конвейеров можно предположить, что наиболее перспективным типом магнитного конвейера для этих целей будут «магнитные рельсы». Внедрение этого вида магнитного конвейерного транспорта в пищевой промышленности нашей страны приведет к значительному увеличению производительности технологического оборудования производственных цехов, улучшению транспортной связи между цехами, заготовительными и складскими помещениями, снижению деформации тары и упаковки продукции.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГРУЗОВ НА МАГНИТНОМ КОНВЕЙЕРЕ

Основной задачей теоретических исследований предлагаемого типа магнитных конвейеров является определение величины силы магнитного притяжения ферромагнитного штучного груза к ленте на любом участке конвейера при установившихся и неуставившихся режимах работы с целью обеспечения устойчивого транспортирования груза. Величина силы магнитного притяжения зависит от многих факторов — массы транспортируемого груза, скорости транспортирования, проводимости системы магнит-магнитопровод-лента-груз, формы участка транспортирования (прямолинейный или криволинейный), размеров и свойств груза и других факторов.

По величине силы магнитного притяжения можно будет установить способ создания магнитного поля требуемой напряженности и необходимый тип магнитного конвейера.

Настоящая работа выполнена применительно к ферромагнитным штучным грузам, широко применяющимся в пищевой промышленности. Представителями таких типов грузов является продукция консервных заводов в банках № 1, 2, 3, 5, 6, 8, 16, 17, 18, 21, 22, 30.

В работе рассмотрены различные типы магнитных конвейеров, произведен их анализ и определена возможность их применения в условиях пищевой промышленности.

В основу работы конвейеров типа «магнитные рельсы» заложен принцип увеличения силы нормального давления груза на ленту таким образом, чтобы она не зависела от угла наклона рабочей ветви. Для этой цели в зоне транспортирования груза создается стационарное магнитное поле, создаваемое постоянными магнитами. Таким путем можно получить необходимое значение удерживающей силы в нормальной плоскости для обеспечения равновесия груза на любом участке конвейера, которая названа в работе *силой магнитного притяжения* P_m .

Для устойчивого транспортирования ферромагнитного штучного груза требуется такое значение силы магнитного притяжения P_m , которое обеспечит силу трения на поверхности груз-лента (рис. 1).

Величина этой силы определяется из условий непроскальзывания (уравнение 1) и неопрокидывания (уравнение 2) груза.

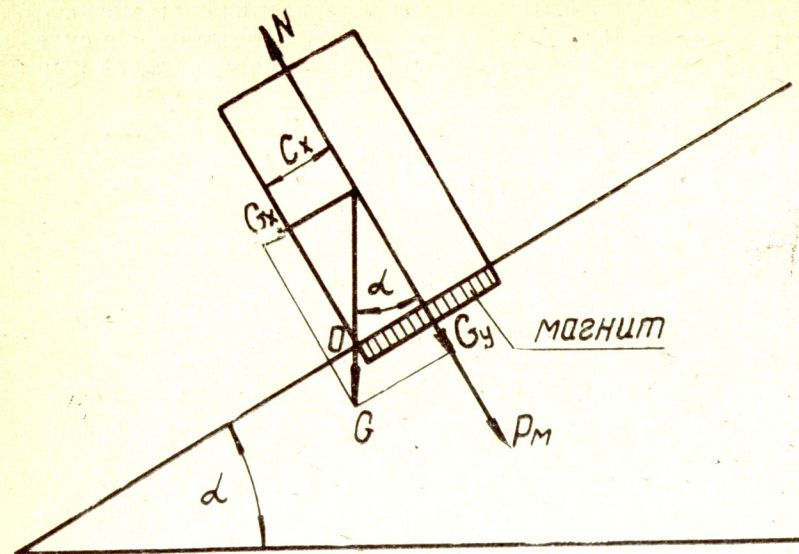


Рис. 1. Устойчивость груза на магнитной плоскости.

$$P_m = G \frac{\sin(\alpha - \rho)}{\sin \rho}; \quad (1)$$

$$P_m = G \left[\frac{g \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \cdot \sin(\alpha - \varphi_r) + \frac{dV}{dt} \cdot C_y}{g \cdot C_x} \right], \quad (2)$$

где

- G — вес груза;
- α — угол наклона конвейера;
- ρ — угол трения;
- g — ускорение силы тяжести;
- C_x и C_y — координаты центра тяжести груза;
- φ_r — угол, характеризующий соотношение координат центра тяжести груза.

$$\operatorname{tg} \varphi_r = \frac{C_x}{C_y},$$

$\frac{dV}{dt}$ — ускорение груза в момент пуска конвейера.

В работе рассмотрены варианты определения силы магнитного притяжения P_m для плоских и объемных грузов. По силе P_m определяется значение магнитной индукции над лентой конвейера из зависимости

$$P_m = \frac{1}{2} B_B \frac{S_n^2}{\left(\frac{S_n}{I_n} \rho_m + \lambda_6 \right)^2} \cdot \frac{d\lambda}{d\delta}, \quad (3)$$

где B_B — индукция в зазоре между магнитом и грузом;
 S_n — сечение постоянного магнита;
 I_n — расстояние между полюсами магнита;
 ρ_m — коэффициент возврата;
 λ — проводимость зазора;
 δ — суммарная величина зазора.

Устойчивость груза на магнитном барабане требует специального рассмотрения потому, что контакт груза с лентой происходит по линии. В силу этого между грузом и барабаном появляется зазор, который существенно влияет на величину силы магнитного притяжения (рис. 2).

Определение силы магнитного притяжения груза к барабану было определено при следующих условиях: в момент перехода из прямолинейного участка магнитного конвейера на магнитный барабан груз поворачивается на некоторый угол ψ и занимает асимметричное положение относительно точки касания В. Величина угла ψ будет зависеть от силы магнитного притяжения P_m , значение которой можно определить, пользуясь изменением кинетической энергии груза. Уравнение движения груза в Лагранжевой форме будет иметь вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \psi} = 0, \quad (4)$$

$$L = W_k - W_{om} - W_3,$$

где L — функция Лагранжа;
 W_k — кинетическая энергия груза;
 W_{om} — потенциальная энергия груза в магнитном поле барабана в нейтральном положении;
 W_3 — потенциальная энергия груза в поле сил тяжести.

Для определения энергии груза W_k , W_{om} и W_3 необходимо знать скорость движения груза в момент поворота.

Величину этой скорости можно определить из условия

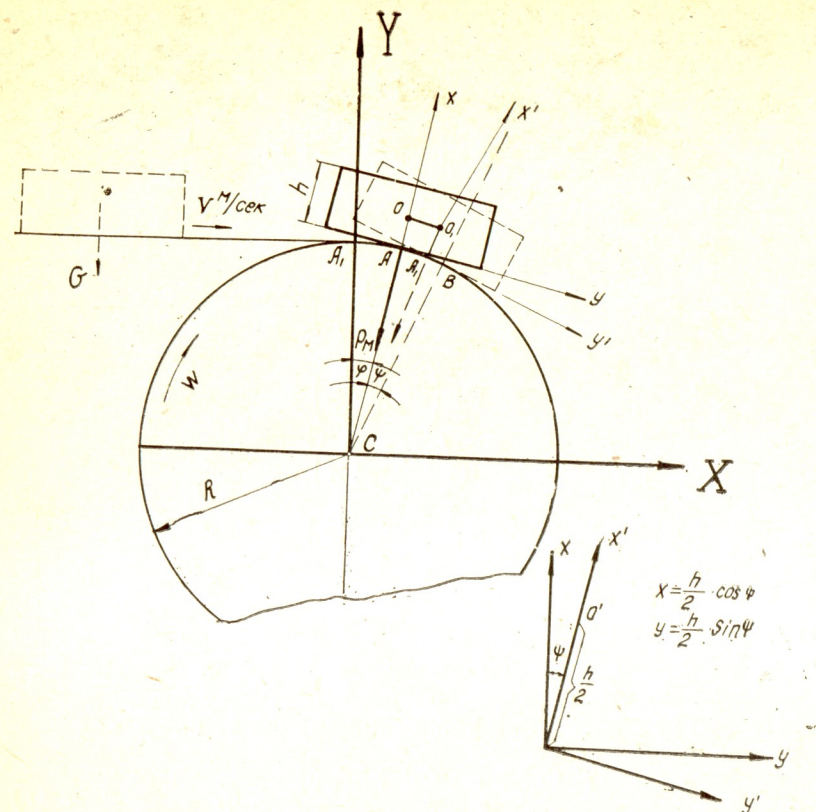
$$V = (\dot{X}o')^2 + (\dot{Y}o')^2. \quad (5)$$


Рис. 2. Устойчивость груза на магнитном барабане.

Для определения координат точки O' в системе XY необходимо знать координаты ее в системе $x'y'$. В работе приведено определение координат точки O' в обеих системах. Величина силы магнитного притяжения в этом случае определяется:

$$P_m = \frac{2\omega^2 \left(\frac{mh^2}{4} + I \right) [\gamma \cos \xi + \mu^2 (\alpha' + \sin \xi) \psi]}{\left(f - \frac{2R}{h} \psi \right) h}, \quad (6)$$

где m — масса груза;
 ω — угловая скорость барабана;

h — высота груза;
 I — центробежный момент инерции груза, $\xi = \omega t$

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{mgh}{2\omega^2 \left(\frac{mh^2}{4} + I \right)}; \\ \alpha' &= \frac{2K \frac{R(3R+h)}{(2R+h)} - \frac{mh^2}{4} \omega^2}{mg \left(3R - \frac{h}{2} \right)}; \\ \mu^2 &= \frac{mg \left(3R - \frac{h}{2} \right)}{\omega^2 \left(\frac{mh^2}{4} + I \right)};\end{aligned}\quad (6a)$$

R — радиус барабана;
 K — коэффициент жесткости магнитного поля;
 f — коэффициент трения.

Решение уравнения (6) было произведено на электронно-цифровой вычислительной машине типа «Урал-4», для чего уравнение (6) было приведено к безразмерному виду.

После преобразований уравнение (6) будет иметь вид

$$A = \frac{[\gamma \cos \xi + \mu^2 (\alpha' + \sin \xi) \psi]}{\beta - \psi} < q, \quad (7)$$

где

$$\beta = \frac{fh}{2R};$$

$$\frac{1}{q} = \frac{\omega^2 \left(\frac{mh^2}{4} + I \right)}{R \cdot P_m}.$$

Для устойчивого перемещения груза на барабане $\beta - \psi$ не должно равняться нулю, т. е. $\beta > \psi$

Кроме того груз не должен переворачиваться, что эквивалентно условию

$$R|\psi| > r_x, \quad (8)$$

где r_x — абсцисса центра тяжести груза.

Коэффициент жесткости магнитного поля K , входящий в формулу (6a), определяется экспериментально. Для этого груз необходимо установить на магнитном барабане в верхней точке и заставить его колебаться. При этом измеряется частота колебаний ω . Колебания груза в этом случае будут описываться уравнением:

$$-\frac{d^2\psi}{d\xi^2} + \mu^2(\alpha' + 1)\psi = 0. \quad (9)$$

Решая совместно уравнение (9) и уравнение (6a) коэффициент жесткости магнитного поля K определяется по зависимости

$$K = \frac{2R+h}{2R(3R+h)} \left[(2\pi)^2 \left(\frac{mh^2}{4} + I \right) \nu^2 + \frac{mh^2}{4} \omega^2 - mg \left(3R - \frac{h}{2} \right) \right].$$

По результатам вычислений были построены графики зависимостей $A = f(\xi)$ и $\psi = f(\xi)$, по которым можно определить значение силы магнитного притяжения P_m . Один из таких графиков показан на рис. 3.

Величину индукции магнитного поля в зазоре между грузом и барабаном можно определить по формуле (3), но для этого нужно знать проводимость зазора.

Проводимость элементарного слоя высоты dy (рис. 4) равна

$$d\lambda = \frac{b \cdot dy}{x} \mu_0, \quad (10)$$

где b — длина барабана;

μ_0 — магнитная проницаемость среды.

Производя интегрирование уравнения (10) в пределах от 0 до R и с учетом всех факторов рассматриваемой магнитной системы после решения уравнения (10) получим

$$\lambda = \mu_0 b \left(\frac{2R+2\delta}{2R+\delta} \sqrt{\frac{2R+\delta}{\delta}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{2R+\delta}{\delta}} - \frac{\pi}{2} \right). \quad (11)$$

Здесь R — радиус барабана;

δ — зазор между грузом и барабаном.

Необходимая величина магнитной индукции на барабане была определена по формуле (3) для банок № 1, 2, 3, 5, 6,

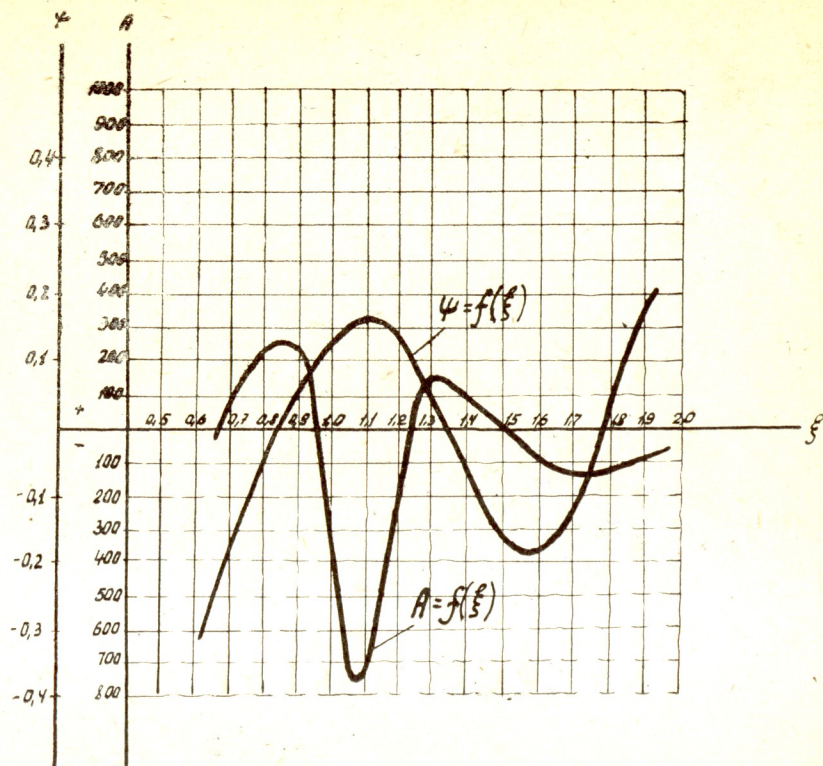


Рис. 3. Графики функций $A=f(\xi)$ и $\psi=f(\xi)$.

8, 16, 17, 18, 21, 22, 30, что позволило сконструировать магнитную систему конвейера. Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований показало, что расхождение величины напряженности магнитного поля порядка $+14 \div +23\%$. Учитывая то, что точность расчетных формул, применяемых для магнитных полей, находится в пределах 12%, полученные результаты можно считать приемлемыми для практики.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проверки полученных теоретических разработок был изготовлен экспериментальный образец магнитного конвейера со стационарным магнитным полем, создаваемым литыми

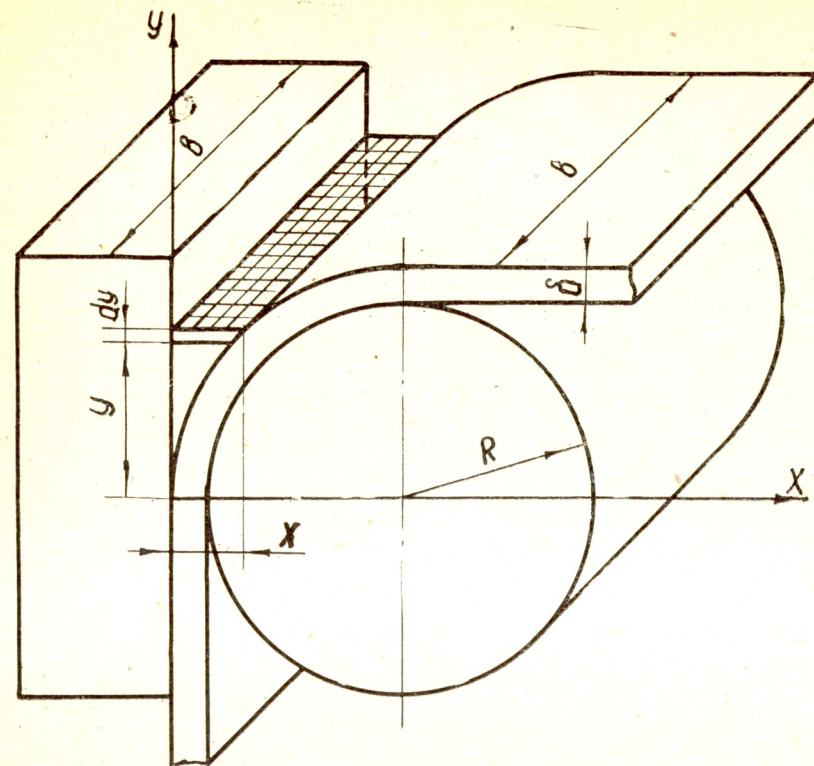


Рис. 4. Проводимость зазора между грузом и магнитным барабаном.

постоянными магнитами из сплава ЮНДК24 (рис. 5). При исследовании изменялись: рабочий зазор в системе магнито-провод—груз, вид ферромагнитного груза (форма и размеры), размеры и материал магнитопроводов, угол наклона рабочей ветви конвейера, расстояние между магнитами.

Для исследования влияния толщины и материала магнитопроводов были изготовлены и испытаны магнитные системы с толщиной магнитопроводов от 1,0 до 7,0 мм через каждые 0,5 мм для одного типоразмера магнита. Результаты эксперимента позволили определить толщину магнитопровода, которая для магнитных полей порядка 300–500 эрстед составляет $3,0 \div 3,5$ мм. Увеличение или уменьшение толщины магнитопроводов приводит к снижению величины напряжен-

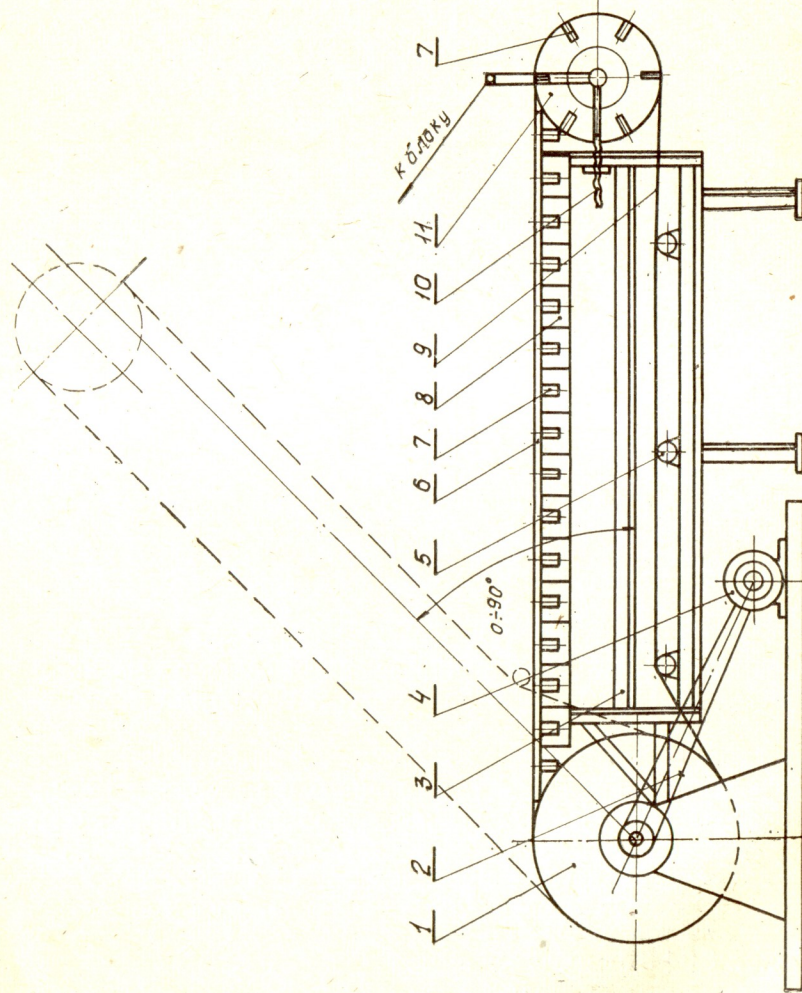


Рис. 5. Схема установки для экспериментальных исследований.
1. Барабан-редуктор. 2. Клиновидная передаточная пара. 3. Рама. 4. Электродвигатель. 5. Ролики холостой ветви. 6. Магнитопровод. 7. Поставляющие магниты. 8. Крепление магнитов и магнитопроводов. 9. Лента. 10. Натяжное устройство. 11. Натяжной барабан.

ности магнитного поля над лентой конвейера, к снижению эксплуатационной надежности последнего.

Исследование влияния зазора δ между грузом и магнитопроводом на величину напряженности магнитного поля H и силу магнитного притяжения P_m было изучено экспериментально. По результатам экспериментальных исследований были построены графики изменения напряженности магнитного поля H и силы магнитного притяжения P_m в зависимости от величины зазора δ (рис. 6). Из графика видно, что при величине зазора $\delta > 5$ мм сила магнитного притяжения P_m изменяется незначительно (при $\delta = 10$ мм $P_m = 0,18$ кг, а при

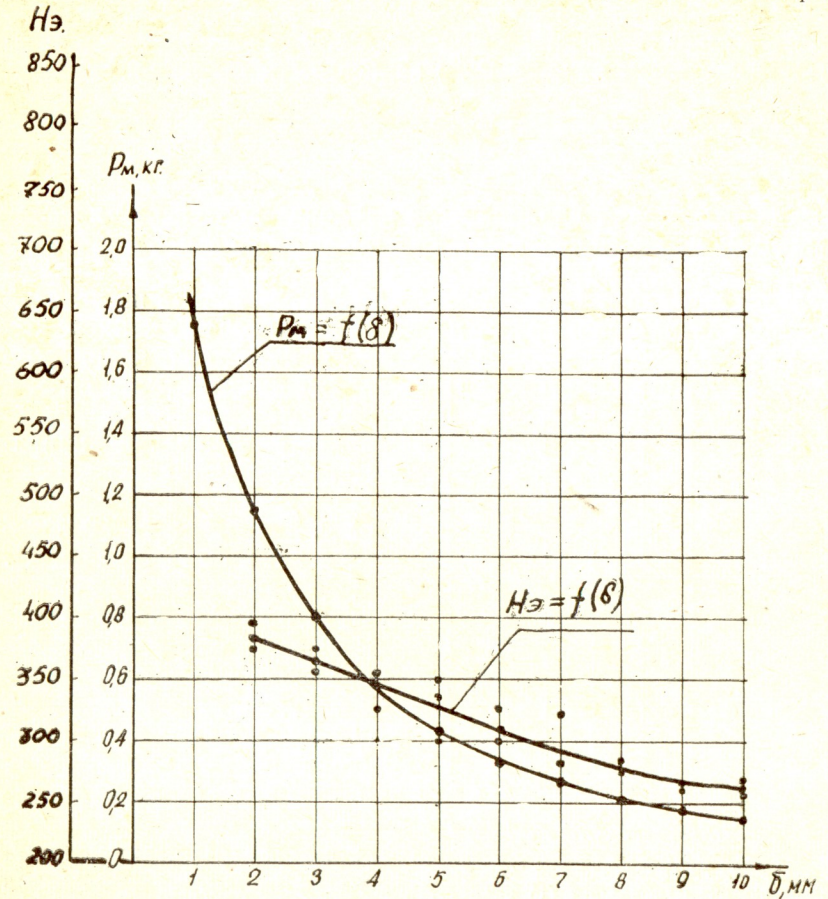


Рис. 6. Графики зависимостей $P_m = f(\delta)$ и $H = f(\delta)$

Ф. 0. 12365

$\delta = 5$ мм $P_m = 0,415$ кг). При уменьшении зазора $\delta < 5$ мм сила P_m резко возрастает (при $\delta = 3$ мм $P_m = 0,8$ кг, а при $\delta < 2$ мм $P_m = 1,17$ кг. Естественно, что для рационального использования магнитных систем рассматриваемого типа целесообразно применять конвейерные ленты толщиной до 5 мм.

Измерение магнитных полей производилось баллистическим методом и методом ядерного магнитного резонанса. В качестве регистрирующих приборов были использованы милливольтметр М119 и микроверметр Ф190 (при баллистическом методе) и измеритель магнитной индукции Е11-2 (при методе ядерного магнитного резонанса).

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую расчетную формулу для определения силы магнитного притяжения P_m в зависимости от величины зазора δ .

$$P_m = \frac{0,129\delta - 2,056}{-0,495\delta - 0,6} \quad (12)$$

При изучении влияния угла наклона конвейера на силу магнитного притяжения P_m ставилась задача проверки правильности принятых теоретических предпосылок. С этой целью была определена сила магнитного притяжения P_m из условий неспоскальзывания груза, по величине которой найдено необходимое значение напряженности магнитного поля H . Графическая зависимость изменения напряженности магнитного поля H от угла наклона конвейера α , для банки № 30 показана на рис. 7 (кривая 1). Для сравнения показана теоретическая кривая изменения H от α (кривая 2).

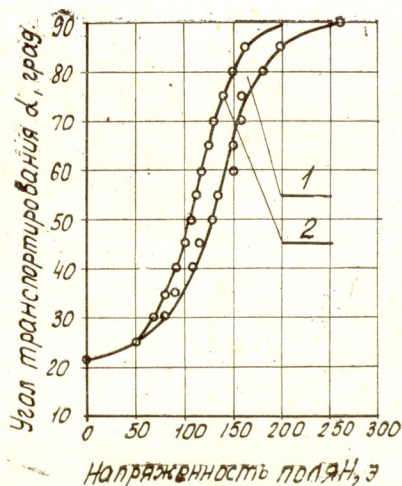


Рис. 7. Теоретическая (2) и экспериментальная (1) зависимости H от α .

Экспериментально было проверено влияние коэффициента трения f и угла наклона конвейера α на силу магнитного притяжения P_m при транспортировании груза весом G . При проведении эксперимента изменялись напряженность магнитного

поля, коэффициент трения, угол наклона конвейера и вес груза. Графическая зависимость изменения силы магнитного притяжения P_m от веса груза G , при различных значениях коэффициента трения f , при угле наклона конвейера $\alpha = 90^\circ$ показана на рис. 8. Из приведенного графика видно, что величина силы магнитного притяжения P_m увеличивается пропорционально весу груза G . Этот характер сохраняется при различных значениях коэффициента трения f и углах наклона конвейера α . Это позволяет установить коэффициент пропорциональности K_m между силой P_m и весом груза G для различных значений угла наклона конвейера α и коэффициента трения. Значение этого коэффициента приведено в таблице 1.

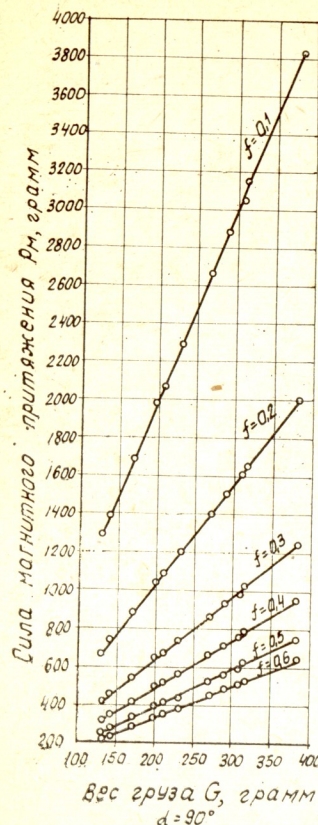


Рис. 8. Зависимость изменения P_m от G при $\alpha = 90^\circ$ для $f = 0,1 \div 0,6$.

экспериментально путем киносъемки. Объектом исследований служила продукция отечественных консервных заводов в металлической таре. При проведении эксперимента изменялись вес и форма груза, угол наклона конвейера, напряженность магнитного поля, скорость движения груза и скорость съемки. Съемка производилась с помощью кинокамеры «Киев-16» на 16-миллиметровую черно-белую пленку.

Анализ киносъемки показал следующее: в момент перехода груза с прямолинейного участка конвейера на магнитный барабан центр тяжести штучного груза располагается аси-

поля, коэффициент трения, угол наклона конвейера и вес груза. Графическая зависимость изменения силы магнитного притяжения P_m от веса груза G , при различных значениях коэффициента трения f , при угле наклона конвейера $\alpha = 90^\circ$ показана на рис. 8. Из приведенного графика видно, что величина силы магнитного притяжения P_m увеличивается пропорционально весу груза G . Этот характер сохраняется при различных значениях коэффициента трения f и углах наклона конвейера α . Это позволяет установить коэффициент пропорциональности K_m между силой P_m и весом груза G для различных значений угла наклона конвейера α и коэффициента трения. Значение этого коэффициента приведено в таблице 1.

Величина коэффициента пропорциональности K_m для промежуточных углов наклона конвейера α может быть определена методом интерполяции.

Правомерность предпосылок кинематики движения ферромагнитного груза на магнитном барабане, принятых при теоретическом исследовании устойчивости, проверены

Таблица 1

Значение коэффициента пропорциональности K_M при различных значениях коэффициента трения f и угла наклона конвейера α

		Значения K_M					
$\alpha \backslash f$		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
45°		6,0	2,9	1,67	1,0	0,69	0,46
60°		7,7	4,0	2,3	1,64	1,2	0,94
75°		9,0	4,7	2,9	2,1	1,6	1,15
90°		9,945	5,2	3,2	2,45	1,95	1,66

метрично по отношению к точке касания его с барабаном. При этом имеет место угол ψ (см. рис. 2). При изменении угла поворота барабана φ величина угла ψ сохраняется постоянной до выхода груза на барабан в крайнее верхнее положение. В этот момент ордината центра тяжести груза проходит через линию касания.

При дальнейшем движении поведение груза на барабане аналогично описанному, однако смещение центра тяжести происходит в обратную сторону.

На основании всех проведенных экспериментальных исследований можно сделать выводы о правильности предположений, заложенных при решении задач динамики устойчивого движения ферромагнитного груза на прямолинейном участке магнитного конвейера и магнитном барабане.

Проведенные экспериментальные исследования позволили предложить методику расчета магнитной системы конвейера типа «магнитные рельсы», изложенную в диссертации. По предлагаемой методике была спроектирована и смонтирована транспортная линия с применением магнитных конвейеров на Одесском экспериментальном заводе упаковочных изделий имени М. И. Калинина и выполнен рабочий проект магнитных элеваторов для рыбокомбината «Пищевик» г. Ленинграда.

Проведенные исследования транспортной линии в производственных условиях подтвердили выводы, сделанные на основании теоретических и лабораторных исследований, и показали экономическую целесообразность применения конвейеров подобного типа. Установка магнитных конвейеров позволила увеличить производительность цеха на 15% и сократить обслуживающий персонал на два человека (по 1 человеку в смену).

Расчеты показали, что экономическая эффективность применения магнитных конвейеров на производствах подобного профиля составляет около 45 000 рублей в год.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Впервые в лабораторных и производственных условиях исследован вопрос транспортирования ферромагнитных штучных грузов на магнитных конвейерах со стационарным магнитным полем.

2. Обоснована возможность применения литых постоянных магнитов для увеличения силы нормального давления на прямолинейных участках магнитного конвейера для увеличения скорости транспортирования груза и угла наклона рабочей ветви. Скорость транспортирования может быть доведена до 2 м/сек, угол подъема рабочей ветви — до 90°.

3. Показана возможность транспортирования груза в области магнитного поля на магнитном барабане при наличии зазоров между грузом и лентой при установившихся и неуставившихся режимах.

4. Установлено, что величина силы магнитного притяжения зависит от веса груза, его размеров, радиуса кривизны барабана, индукции магнитного поля в зоне транспортирования груза, коэффициента трения и угла наклона конвейера.

5. Предложена методика инженерного расчета ленточных магнитных конвейеров, определены основные параметры конвейера, обеспечивающие его нормальную работу.

6. Рекомендуется для ленточных магнитных конвейеров магнитопроводы изготавливать из низкоуглеродистых сталей. При транспортировании грузов в магнитных полях порядка 300÷500 эрстед толщину магнитопроводов следует принимать 3,0÷3,5 мм.

7. Определена рациональная толщина конвейерной ленты, которая для магнитных полей напряженностью 300÷500 эрстед составляет 3÷5 мм.

8. Экспериментально доказано, что равномерное распределение магнитного потока по длине магнитопровода достигается при шаге магнитов 100÷150 мм для полей порядка 300÷500 эрстед.

9. Внедрение результатов данной работы на Одесском экспериментальном заводе упаковочных изделий имени М. И. Калинина позволило увеличить производительность

цеха на 15%. Экономическая эффективность внедрения составила 45 000 рублей в год.

10. Применение подобных типов конвейеров целесообразно в технологических линиях консервных заводов, использующих жестяную тару, а также для механизации погрузочно-разгрузочных работ с ферромагнитными грузами в других отраслях народного хозяйства.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Стенд для транспортирования ферромагнитных штучных грузов с применением постоянных магнитов. Материалы научно-теоретической конференции. Д., 1967 г. (в соавторстве).
2. К вопросу создания плоского многополюсного резинового магнита. Материалы научной конференции по проблемам торговли и общественного питания. Д., 1968 г. (в соавторстве).
3. Определение исходных параметров для инженерного расчета магнитных конвейеров. Тематический сборник «Вопросы эксплуатации и ремонта торгово-технологического оборудования. Д., 1972 г.
4. Теоретические и экспериментальные исследования транспортирования ферромагнитных штучных грузов на магнитном конвейере. Материалы научно-теоретической конференции по проблемам торговли и общественного питания. Д., 1970 г. (в соавторстве).
5. Исследование и разработка механизированной линии для транспортирования обрезки жести с использованием магнитных конвейеров. Материалы научно-теоретической конференции по проблемам торговли и общественного питания. Д., 1970 г. (в соавторстве).
6. Механизированная линия для транспортирования и подготовки к использованию обрезки жести. «Консервная и овощесушильная промышленность». № 6, 1971 г. (в соавторстве).

БП 00064. 2.IV.74 г. Формат 60×84¹/₁₆. Печ. л. 1,42. Бум. л. 0,71. Зак. 101.
Тираж 250 экз.

Типография издательства «Радянська Донеччина», г. Донецк,
ул. газ. «Социалистический Донбасс», 26.