

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БЕЛЯКОВ Виктор Николаевич

УДК 621.867.6.001.5

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
ДВИЖЕНИЯ ШТУЧНОГО ГРУЗА, СОЗДАНИЯ И
РАСЧЕТА ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ВЕР-
ТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕГИБАХ РОЛИКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Специальность 05.05.05 - Подъемно-транспортные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище
им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук
доцент Колобов Л.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,

профессор

Зенков Р.Л.

кандидат технических наук,

доцент

Назаренко Б.П.

Ведущее предприятие- Владимирское производственное объеди-
нение "Точмаш"

Защита состоится " 17 " февраля 1986 г.
на заседании специализированного совета К053.15.10 по транс-
портному машиностроению при МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу :
107005, г. Москва Б-5, 3-я Бауманская ул. дом 5.

ба в

им.Н

ать, прось-

е МВТУ

1986 г.

с

С.ЦЫБИН

М434074

НА
НЕ ВЫДА

Актуальность проблемы. В программном документе "Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" поставлены задачи по "... созданию многофункциональных машин и оборудования, переналаживаемых при изменении технологических процессов...", по "... освоению серийного производства новых конструкций машин, оборудования, средств автоматизации и приборов, позволяющих использовать в широких масштабах высокопроизводительные, энерго- и материалосберегающие технологии...".

Поставленные задачи в полной мере относятся к оборудованию для комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ (ПРТСР), значение которой в современном производстве непрерывно возрастает.

М4434074
Неприводные роликовые конвейеры благодаря простоте конструкции, низкой стоимости, высокой надежности работы и удобству примыкания к самым разнообразным транспортным и технологическим машинам являются важным элементом оборудования для ПРТСР. В последнее время отмечается увеличение разработок, направленных на расширение функциональных возможностей роликовых конвейеров в современном производстве в части передачи штучных грузов по так называемому вертикальному перегибу (ВП), состоящему из наклонной и горизонтальной прямолинейных роликовых секций и установленного между ними главного элемента - вертикального передающего устройства (РГУ). Использование ВП в трассах роликовых конвейеров облегчает их стыковку со смежным оборудованием в переналаживаемых производствах, упрощает некоторые традиционные схемы передачи грузов, повышая при этом надежность работы и одновременно снижая энерго- и материалоемкость конструкций, что позволяет считать актуальным использование ВП в трассах роликовых конвейеров.

Широкое использование ВП сдерживается из-за отсутствия надежных и эффективных конструкций ВПУ и методик их проектирования, основанных на анализе закономерностей движения груза по этим устройствам. В этой связи установление закономерностей движения груза, разработка инженерных методик расчета параметров его движения по ВПУ и параметров конструкции, необходимых для создания рационального устройства представляет-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1434074

Беляков В.Н. Разработка мет



ся актуальной задачей, решение которой будет способствовать расширению возможностей систем роликовых конвейеров при комплексной механизации и автоматизации ПРТСР.

Цель работы заключается в научном обосновании выбора рациональной конструкции ВПУ, в установлении закономерностей движения штучного груза по устройству, в разработке инженерной методики расчета параметров движения груза и конструкции.

Методы исследования. Теоретическая часть работы основана на важнейших принципах и теоремах теоретической механики и аналитической геометрии. Экспериментальные исследования выполнены с помощью тензометрической и бесконтактной регистрирующей аппаратуры, а также новых оригинальных записывающих устройств. Часть теоретических задач решена на ЭВМ.

Научная новизна заключается в разработке основ теории движения штучного груза по ВПУ, включающих: научно-обоснованную методику выбора рациональной конструкции ВПУ; установление функциональных связей геометрических и весовых параметров конструкции ВПУ и транспортируемого груза; создание математической модели и определение кинематических характеристик движения груза и элементов ВПУ; вывод аналитических зависимостей для расчета усилий на груз и элементы устройства; усовершенствование известной методики экспериментального определения средней скорости груза при неустановившемся движении.

Достоверность результатов. Основные положения теории движения штучного груза по ВПУ подтверждены экспериментальными исследованиями с отклонением результатов не более, чем на 12%, а также положительными отзывами согласно опытной и промышленной эксплуатации этих устройств.

Практическая значимость состоит: в разработке теоретически обоснованной и экспериментально подтвержденной методики расчета параметров движения и нагрузок для груза и элементов ВПУ; в разработке классификаций ВП и ВПУ, требований к конструкции ВПУ с учетом особенностей транспортируемых грузов и схем механизации; в разработке рациональной схемы и конструкции ВПУ; в разработке экспериментального универсального стенда и оригинальной аппаратуры, повышающей точность

определения скорости движения груза и элементов ВПУ; в изготовлении отдельных видов конструкций ВПУ.

Реализация работы. Методика расчета параметров движения груза и конструкции ВПУ используется при проектировании транспортных систем ГАП в Научно-исследовательском институте, на кафедре ПТМ МВТУ им.Баумана, в том числе и учебном процессе. Разработанная рациональная конструкция ВПУ внедрена на „ПО" "Точмаш" и внедряется на ряде предприятий. Ожидаемый экономический эффект от использования ВПУ только для одного предприятия отрасли составляет 28,0 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на кафедре ПТМ МВТУ им.Баумана, на НТС Научно-исследовательского института, на отраслевом совещании "Новые технологические процессы автоматизации и механизации гальванических процессов" (г.Тула, 1982), на Всесоюзной научной конференции "Новое в подъемно-транспортной технике", посвященной 60-летию кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им.Баумана (г.Москва, 1985) и в других организациях.

Публикация. Основное содержание диссертации изложено в 6 печатных работах. По материалам диссертации получено 6 авторских свидетельств на изобретения.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 127 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, списка литературы на 82 наименования и приложения, содержит 86 рисунков и 10 таблиц.

Содержание работы

Во введении показана актуальность и новизна проблемы. Сформулировано направление исследования ВПУ, значительно расширяющих область применения роликовых конвейеров в современном производстве.

Первая глава посвящена характеристике общего состояния вопроса и постановке задач исследования. В существующих транспортных системах вертикальные перегибы относятся к редко встречающимся элементам, что объясняется отсутствием

эффективных конструкций ВПУ и методики их расчета. Передача грузов в этих системах осуществляется путем искривления секций роликовых или дисковых конвейеров с помощью ленточных или пластинчатых конвейеров и небольшого количества бессистемно разработанных специальных устройств, не отличающихся в ряде случаев надежностью действия. Отсутствие критериев оценки технического уровня, а также расчетных параметров этих устройств не позволяют провести научно-обоснованного выбора их конструкций в зависимости от свойств грузов и ограничений, налагаемых условиями производства.

Острая необходимость осуществления комплексной механизации и автоматизации ПРТСР в гальваническом производстве (ГП) потребовала разработки классификации широкой номенклатуры штучных грузов, распространенных в этом виде производства на машино- и приборостроительных заводах. В основу классификации были приняты способ размещения деталей в таре, соотношение размеров, требуемая плавность (безударность) транспортировки, за критерий которой принята величина перегрузки, возникающей при движении груза по ВПУ.

Для классификации ВП и ВПУ рассмотрены функциональные и конструктивные признаки и особенности применения устройств в схемах механизации ГП, позволившие определить наиболее перспективный тип ВП, представляющий собой вогнутый пологий неприводной перегиб с опорными роликовыми элементами, работающий на спуск груза. Перегиб упрощает транспортировку грузов, не имеет привода и механической передачи к рабочим органам, отличается повышенной надежностью работы, способствует снижению энерго- и материалоемкости транспортной системы.

С учетом особенностей схем механизации, свойств транспортируемого груза и структурного построения ВП сформулированы требования к конструкции ВПУ. Требования предусматривают: работоспособность устройства при передаче низких преимущественно симметричных грузов, поступающих на ВПУ со скоростью $0,0 \dots 0,5$ м/с; ограничение величины перегрузок в горизонтальной и вертикальной плоскостях до 2,7 и 1,0 единиц; безприводной принцип действия, возможность использования в ВП для углов наклона трассы $0 \dots 5^{\circ}$; малые габаритные размеры и удобство встраивания в перегиб. Проведенный обзор немногих существ-

вующих ВПУ показал отсутствие методик их расчета и несоответствие всем разработанным требованиям. В этой связи необходимость создания принципиально новой конструктивной схемы ВПУ для вогнутого пологого неприводного ВП, разработка основ теории движения груза по ВПУ, создание инженерной методики расчета параметров движения груза и конструкции становятся безусловно очевидной.

Вторая глава посвящена анализу работы передающих устройств и выбору рациональной конструкции. В основу анализа положен метод качественной оценки устройств с последующим экспериментальным определением их основных кинематических характеристик движения. Установлено, что для соответствия сформулированным требованиям конструкция ВПУ должна иметь наименьшие собственные сопротивления движению, обеспечивать передачу грузов по наиболее пологой и плавной траектории. Для выполнения этих условий предложено ВПУ в виде шарнирно-установленной балансирной рамки I (рис. I) с опорными роликами 2, поворачивающейся на угол, ограниченный упорами 3 и 6, с независимо от нее установленной эксцентриковой опорой 5.

Передача груза осуществляется под действием силы тяжести и сопровождается поворотом его в вертикальной плоскости относительно первого ролика горизонтальной роликовой секции. Эксцентриковая опора, вращаясь под воздействием транспортируемого груза, обеспечивает плавный переход его на горизонтальную секцию. После выхода груза с ВПУ балансирная рамка и эксцентриковая опора за счет собственной неуравновешенности возвращаются в исходное положение.

Наибольшая плавность траектории передаваемого груза достигается при соблюдении максимального расстояния от его передней грани в начале поворота до второго ролика горизонтальной секции. С учетом выполнения этого требования и обеспечения продольной устойчивости груза при входе на ВПУ в балансирную рамку введены рычаги с роликами 4.

Предложенная конструктивная схема, являющаяся изобретением, удовлетворяет сформулированным требованиям и принята для дальнейшего исследования и внедрения в виде конструкции ВПУ.

Третья глава посвящена определению геометрических и весовых параметров ВПУ. Использование принципа возможных пере-

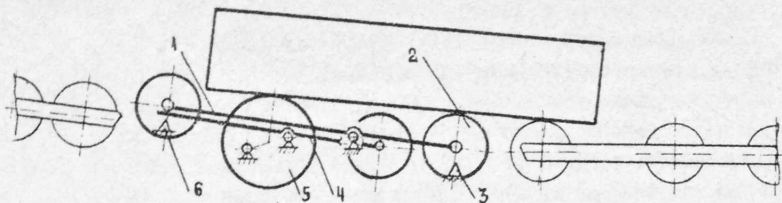


Рис.1. Схема вертикального передающего устройства

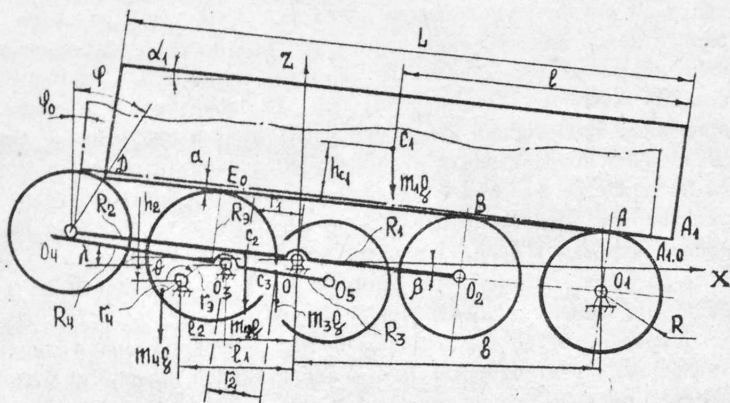


Рис.2. Параметры ВПУ

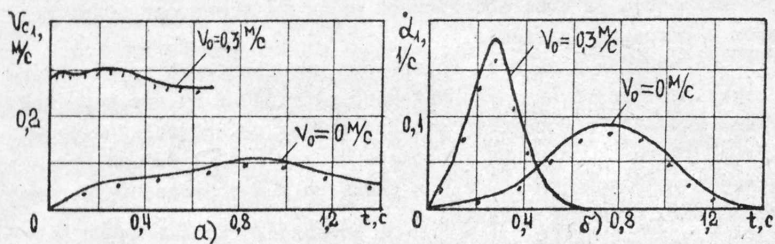


Рис.3. Сравнительные графики расчетных и экспериментальных значений изменения скорости груза: а) линейной; б) угловой

мешений и уравнений связей позволило получить зависимости для определения геометрических параметров устройства (рис. 2)

$$\begin{aligned} R_1 &= R_4 = 0,475\delta; & R_2 &= \delta; & R_3 &= l_2 = 0,525\delta; \\ R_3 &\approx [3\delta - L - (0,5 + \alpha_1)R - A_{10}A_{min}] / (\pi - \alpha_1); \\ l_1 &\approx \delta - R_3(\pi - \alpha_1) - A_{10}A_{min}; & h_2 &\approx R_3 - r_3 - R + \delta\alpha_1; \\ r_3 &\approx 0,5AE_0\alpha_1 \approx 0,5[L - \delta + (0,5 + \alpha_1)R + A_{10}A_{min}]\alpha_1; \\ A_{10}A_{min} &\approx R_4[3RR_1\delta - 2\alpha(6R_2 - R_1R_2 + 2R_1\delta)/3R_1R\delta] - \cos\varphi_0\}. \end{aligned}$$

Для исключения проскальзывания между грузом и эксцентриком необходимо, чтобы значение коэффициента трения пары удовлетворяло условию

$$f \geq [L - \delta + (0,5 + \alpha_1)R + A_{10}A_{min}]\alpha_1 / 2R_3.$$

Массы балансирующей рамки M_2 , рычага M_3 и эксцентриковой опоры M_4 определены по допускаемым условиям прочности и жесткости элементов, а также допускаемым значениям прогибов осей роликов, исходя из требований ГОСТ 8324-82 по плоскостности роликового полотна. С целью снижения общей массы конструкции балансирующая рамка, рычаг и оси изготовлены из трубчатых элементов. Для возврата системы в исходное положение требуется иметь соотношение

$$m_2 \approx 1,2m_3r_2^2/r_1R_4,$$

где r_1, r_2 — координаты центров масс балансирующей рамки и рычага.

Минимальное значение массы M_1 транспортируемого груза, способного преодолевать неуровненность системы (балансирующая рамка-рычаг) в наиболее неблагоприятном положении (конец 4 этапа движения), равно

$$m_1 > N_B(\delta - R_1\cos\beta_k) / g(\delta - x_{c1}),$$

где N_B — сила реакции балансирующей рамки на груз в точке В; x_{c1} — координата центра масс груза в рассматриваемом положении; β_k — значение угла β в конце этапа.

Неуровненность эксцентриковой опоры достигается балансирующими грузами на каждом диске. Масса M_5 балансирующего груза равна

$$m_5 = k_z[2m_{22}r_3 + 0,5\mu d(2m_{22} + m_0)] / 2(x_0 - 0,5k_z\mu d),$$

где m_{22}, m_0 — массы эксцентрикового диска и его оси; μ — коэффициент трения в подшипнике; x_0 — расстояние от центра вращения опоры до центра балансирующего груза; $k_z = 1, 1$ — коэффи-

циент запаса.

Четвертая глава посвящена разработке теоретических основ движения груза по ВПУ и определению усилий на транспортируемый груз и элементы конструкции. Движение груза рассмотрено по этапам: второму — от начала поворота груза до наезда на эксцентриковую опору; третьему — разгону грузом эксцентриковой опоры до окружной скорости, равной скорости груза; четвертому — совместному движению груза с эксцентриковой опорой до выхода в горизонтальное положение. Первый и пятый этапы совпадают с известным движением груза по наклонной и горизонтальной роликовым секциям и не представляют интереса для изучения. На основании структурного анализа выявлено, что система груз-ВПУ имеет по одной степени свободы на втором и четвертом и две степени — на третьем этапах.

При исследовании принят ряд допущений: транспортируемый груз и опорные элементы ВПУ рассматриваются абсолютно твердыми телами, не имеющими отклонений от правильной геометрической формы; погрешности монтажа элементов ВПУ не учитываются; трение качения груза по опорным элементам ВПУ, силы сопротивлений в цапфах элементов, взаимодействие груза с ребрами опорных роликов, а также поперечные смещения груза по ним не принимаются в расчет; вращение опорных элементов под грузом после их разгона происходит без проскальзывания; нормальные (радиальные) ускорения при повороте балансирной рамки, рычага и эксцентриковой опоры также не учитываются.

На втором этапе движения груза известными параметрами являются начальные условия, массы, моменты инерции и геометрия элементов системы. Обратная задача динамики решается с использованием теоремы об изменении кинетической энергии неизменяемой системы материальных точек. Наличие одной обобщенной координаты обуславливает возможность выражения переменных параметров в функции угла поворота β . Анализ уравнений связей геометрических параметров α, λ, φ ВПУ выявил возможность использования линейных зависимостей их от угла β , что существенно упростило решение задачи. Применение теоремы о мгновенном центре скоростей груза дало аналитические зависимости для скоростей отдельных его точек и элементов ВПУ в функции обобщенной

координаты, а также с достаточным приближением равенство значений угловых скоростей опорных роликов ВПУ. Для малых интервалов приращения обобщенной координаты изменения геометрических параметров в свою очередь оказались близкими к линейным. Это позволило по теореме об изменении кинетической энергии системы определить значение угловой скорости обобщенной координаты в конце каждого i -го интервала

$$\dot{\beta}_{ik} = \sqrt{(2 \sum_{k=1}^n A(F_k^e)_i / B_{ik}) + \dot{\beta}_{i0}^2},$$

где $\sum_{k=1}^n A(F_k^e)_i = g[0,5 m_1 k_4 (\beta_{ik}^2 - \beta_{i0}^2) - m_1 B_{4i} (\beta_{ik} - \beta_{i0})] + [m_{p0} (R_1 - R_2 + R_3 k_2) - m_2 \ddot{r}_1 + m_3 \ddot{r}_2 k_2] (\beta_{ik} - \beta_{i0}) g$;

$$B_{ik} = J_{C1} + m_1 r_{C1ik}^2 \left(\frac{k_3 R}{r_{Aik}} \right)^2 + 4 J_{p0} k_3^2 + m_{p0} [R_1^2 + R_2^2 + \left(\frac{R_2 R_3}{R_4} \right)^2] + J_{p0} + J_{03} k_2^2.$$

Здесь $k_4 = \frac{F_{ik} - F_{i0}}{\beta_{ik} - \beta_{i0}}$; $B_{4i} = k_4 \beta_{ik} - F_{4ik}$; $F_{4ik} = \frac{r_{C1ik} k_3 R}{r_{Aik}} \sin(\psi_{ik} + \alpha_{ik})$; $F_{i0} = \frac{r_{C1i0} k_3 R}{r_{Ai0}} \sin(\psi_{i0} + \alpha_{i0})$;

k_2, k_3 - постоянные коэффициенты линеаризованных уравнений для углов λ и φ ; J_{p0}, J_{p0}, J_{03} - моменты инерции элементов ВПУ относительно осей вращения; J_{C1} - момент инерции груза относительно оси, перпендикулярной вертикальной плоскости и проходящей через точку C_1 ; $r_{C1ik}, r_{Aik}, \beta_{ik}, \psi_{ik}, \alpha_{ik}, r_{C1i0}, r_{Ai0}, \beta_{i0}, \psi_{i0}, \alpha_{i0}$ - геометрические параметры в конце и начале i -го интервала; $\beta_{i0}, \dot{\beta}_{i0}$ - значение угла и угловая скорость обобщенной координаты в начале i -го интервала; $\sum_{k=1}^n A(F_k^e)_i$ - сумма работ внешних сил, совершаемых при перемещении системы груз-ВПУ из положения β_{i0} в положение β_{ik} ; B_{ik} - приведенный момент инерции системы в положении β_{ik} .

Время продолжительности i -го интервала

$$t = (\beta_{ik} - \beta_{i0}) / \dot{\beta}_{icp} = 2 (\beta_{ik} - \beta_{i0}) / (\dot{\beta}_{i0} + \dot{\beta}_{ik}).$$

Уравнения движения груза для i -го интервала

$$x_{C1ik} = k_5 [0,5 t_i \dot{\beta}_{icp} + \beta_{i0}] - B_5; \quad z_{C1ik} = -k_6 [0,5 t_i \dot{\beta}_{icp} + \beta_{i0}] + B_6;$$

$$\alpha_{ik} = -k_1 (0,5 t_i \dot{\beta}_{icp} + \beta_{i0}) + B_1.$$

Здесь $x_{C1ik}, z_{C1ik}, \alpha_{ik}$ - координаты центр масс и угол наклона груза в конце i -го интервала; $k_1, k_5, k_6, B_1, B_5, B_6$ - постоянные коэффициенты линеаризованных уравнений связей параметров x_{C1}, z_{C1}, α ;

$\dot{\beta}_{icp}$ - среднее для интервала значение угловой скорости.

Скорость и ускорение груза на i -м интервале движе

$$\begin{aligned}\ddot{\chi}_{\text{цик}} &= k_5 \ddot{\beta}_{\text{ик}}; & \ddot{\chi}_{\text{цик}} &= -k_6 \ddot{\beta}_{\text{ик}}; & \ddot{\alpha}_{\text{ик}} &= -k_1 \ddot{\beta}_{\text{ик}}; \\ \ddot{\chi}_{\text{цир}} &= k_5 \ddot{\beta}_{\text{ир}}; & \ddot{\chi}_{\text{цир}} &= -k_6 \ddot{\beta}_{\text{ир}}; & \ddot{\alpha}_{\text{ир}} &= -k_1 \ddot{\beta}_{\text{ир}},\end{aligned}$$

где $\ddot{\beta}_{\text{ир}} = (\ddot{\beta}_{\text{ик}} - \ddot{\beta}_{\text{и0}}) / t_i$ - среднее для интервала значение углового ускорения. Последовательные расчеты для всего ряда интервалов изменения обобщенной координаты позволяют определить закономерности движения элементов системы груз-ВЛУ на втором этапе движения.

Аналогичный подход использован также и для четвертого этапа движения груза. В этом случае за обобщенную координату был принят угол θ поворота эксцентриковой опоры. Угловая скорость обобщенной координаты в конце i -го интервала изменения последней

$$\dot{\theta}_{\text{ик}} = \sqrt{\left(2 \sum_{k=1}^n A(F_k^e)_i / B_{2\text{ик}}\right) + \dot{\theta}_{\text{и0}}^2},$$

$$\text{где } \sum_{k=1}^n A(F_k^e)_i = m_1 g \left[k_{8i} \left(\frac{\theta_{\text{ик}}^2 - \theta_{\text{и0}}^2}{2} \right) + B_{8i} (\theta_{\text{ик}} - \theta_{\text{и0}}) \right] + g B_3 \left[k_{9i} \left(\frac{\theta_{\text{ик}}^2 - \theta_{\text{и0}}^2}{2} \right) + B_{9i} (\theta_{\text{ик}} - \theta_{\text{и0}}) \right] - m_4 g r_4;$$

$$B_{2\text{ик}} = m_4 \left(0_6 E_{\text{ик}} \frac{T C_{\text{ик}}}{T E_{\text{ик}}} \right)^2 + \left(\frac{0_6 E_{\text{ик}}}{T E_{\text{ик}}} \right)^2 (\eta_{\text{и1}} + J_0 k_1^2 + J_0 k_2^2 + m_1 T C_{\text{ик}}^2) + \left(0_6 E_{\text{ик}} \frac{T A_{\text{ик}}}{T E_{\text{ик}}} \right)^2 \left[4 J_0 + m_0 (R_1^2 + R_2^2 + R_3^2) \right] + m_0 \left(0_6 E_{\text{ик}} \frac{T B_{\text{ик}}}{T E_{\text{ик}}} \right)^2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_{\text{ик}} \right) \left[1 + \left(\frac{R_3}{R_1} \right)^2 + \left(\frac{R_2 R_3}{R_1 R_4} \right)^2 \right] + J_0 g;$$

$$k_{8i} = \frac{F_{2\text{ик}} - F_{2\text{и0}}}{\theta_{\text{ик}} - \theta_{\text{и0}}}; \quad k_{9i} = \frac{F_{3\text{ик}} - F_{3\text{и0}}}{\theta_{\text{ик}} - \theta_{\text{и0}}}; \quad B_{8i} = F_{2\text{ик}} - k_{8i} \theta_{\text{ик}}; \quad B_{9i} = F_{3\text{ик}} - k_{9i} \theta_{\text{ик}};$$

$$F_{2\text{ик}} = \frac{0_6 E_{\text{ик}}}{T E_{\text{ик}}} T C_{\text{ик}} \sin(\psi_{\text{ик}} + \alpha_{\text{ик}}); \quad F_{3\text{ик}} = \frac{0_6 E_{\text{ик}}}{T E_{\text{ик}}}; \quad F_{2\text{и0}} = \frac{0_6 E_{\text{и0}}}{T E_{\text{и0}}} T C_{\text{и0}} \sin(\psi_{\text{и0}} + \alpha_{\text{и0}}); \quad F_{3\text{и0}} = \frac{0_6 E_{\text{и0}}}{T E_{\text{и0}}};$$

$$B_3 = [(R_1 - R_2) |k_1| + R_3 |k_2|] m_0 + m_3 |r_2| |k_2| - m_2 |r_1| |k_1|.$$

Здесь $\theta_{\text{и0}}, \dot{\theta}_{\text{и0}}$ - значение угла и угловая скорость обобщенной координаты для начала i -го интервала; $m_4, J_0 g$ - масса и момент инерции эксцентриковой опоры; $0_6 E_{\text{ик}}, T E_{\text{ик}}, T B_{\text{ик}}, \psi_{\text{ик}}, 0_6 E_{\text{и0}}, T E_{\text{и0}}, T B_{\text{и0}}, \psi_{\text{и0}}$ - геометрические параметры в конце и начале i -го интервала;

$\sum_{k=1}^n A(F_k^e)_i$ - сумма работ внешних сил, совершаемых при перемещении системы груз-ВЛУ из положения $\theta_{\text{и0}}$ в положение $\theta_{\text{ик}}$; $B_{2\text{ик}}$ - приведенный момент инерции системы в положении $\theta_{\text{ик}}$.

Уравнение движения эксцентриковой опоры на i интервале

$$\theta_{\text{ик}} = 0,5 (\dot{\theta}_{\text{и0}} + \dot{\theta}_{\text{ик}}) t_i + \theta_{\text{и0}}.$$

Время продолжительности и ускорение эксцентриковой опоры на i - интервале

$$t_i = (\theta_{\text{ик}} - \theta_{\text{и0}}) / \dot{\theta}_{\text{ир}} = 2 (\theta_{\text{ик}} - \theta_{\text{и0}}) / (\dot{\theta}_{\text{и0}} + \dot{\theta}_{\text{ик}}); \quad \ddot{\theta}_{\text{ир}} = (\dot{\theta}_{\text{ик}} - \dot{\theta}_{\text{и0}}) / t_i.$$

Полученные для каждого интервала изменения обобщенной ко-

ординаты уравнение $\vartheta_{ik} = \vartheta_{ik}(t_i)$, а также уравнения связей позволяют определить закон движения груза в виде

$$X_{iik} = X_{iik}(t_i);$$

$$Z_{iik} = Z_{iik}(t_i);$$

$$\alpha_{iik} = \alpha_{iik}(t_i).$$

В свою очередь зависимости $\dot{\vartheta}_i = \dot{\vartheta}_i(t_i)$, $\ddot{\vartheta}_i = \ddot{\vartheta}_i(t_i)$ - позволяют найти выражения для определения скорости и ускорения груза на i - интервале

$$V_{xiik} = \frac{0_6 E_{ik} T_{iik}}{T E_{ik}} \dot{\vartheta}_{ik} \cos(\psi_{zik} + \alpha_{iik}); \quad a_{xiik} = \frac{V_{xiik} - V_{xi0}}{t_i};$$

$$V_{ziik} = \frac{0_6 E_{ik} T_{iik}}{T E_{ik}} \dot{\vartheta}_{ik} \sin(\psi_{zik} + \alpha_{iik}); \quad a_{ziik} = \frac{V_{ziik} - V_{zi0}}{t_i};$$

$$\dot{\alpha}_{iik} = 0_6 E_{ik} \dot{\vartheta}_{ik} / T E_{ik}; \quad \ddot{\alpha}_{ii} = (\dot{\alpha}_{iik} - \dot{\alpha}_{ii0}) / t_i.$$

Определение закона движения груза на третьем этапе проведено по теореме об изменении кинетической энергии системы. При этом благодаря пренебрежимо малому изменению угла наклона груза его движение принято поступательным, нагрузка на эксцентриковую опору в виду малой продолжительности этапа - постоянной. Значение скорости груза в конце разгона эксцентриковой опоры

$$V_k = (C_2 + \sqrt{C_2^2 + 4C_1C_3}) / 2C_1,$$

где

$$C_1 = \frac{1}{2} (m_4 + 2 \frac{J_{p0}}{R^2} + \frac{J_{06}}{0_6 n^2}) - \frac{m_4 (\alpha_1 - f) J_{06}}{0,74 m_1 B_{10} + m_4 B_{11}};$$

$$C_2 = \frac{m_4 (\alpha_1 - f) J_{06} V_0}{0,74 m_1 B_{10} + m_4 B_{11}}; \quad C_3 = \frac{1}{2} V_0^2 (m_4 + 2 \frac{J_{p0}}{R^2}).$$

Здесь J_{06} - момент инерции эксцентриковой опоры; V_0 - начальная скорость груза перед наездом на опору; B_{10}, B_{11} - геометрические параметры, равные

$$B_{10} = 2(0_6 n_6 + f 0_6 n_7) 0_6 n_7; \quad B_{11} = 2 0_6 n_8 \cdot 0_6 n_7;$$

$$0_6 n_6 = -r_2 \cos(\theta + \alpha_1); \quad 0_6 n_7 = r_2 \sin(\theta + \alpha_1) + R_2; \quad 0_6 n_8 = -r_4 \cos \theta.$$

Закон движения груза на рассматриваемом этапе

$$x = 0,5 (V_0 + V_k) t_p.$$

Время продолжительности этапа

$$t_p \approx V_k J_{06} / [0,74 m_4 (0_6 n_6 + f 0_6 n_7) - m_4 0_6 n_8] 0_6 n_7.$$

Ускорение груза при разгоне эксцентриковой опоры

$$a_{xi} = (V_k - V_0) / t_p.$$

Рассчитанные значения параметров движения груза и элементов ВПУ, дифференциальные уравнения движения твердого тела и уравнения геометрических связей позволили определить зависимости усилий на элементы системы груз-ВПУ от всех ее параметров. Анализ зависимостей показал малое влияние ускорений элементов на изменение максимальных значений действующих усилий. С погрешностью до 10% этими изменениями усилий в точках В, Е и Д можно пренебречь. Учитываемое поправочным коэффициентом увеличение на 10% усилия в точке А позволяет производить расчет действующих нагрузок по теоремам статики.

Анализ полученных в главе результатов показал возможность практически оправданного применения линейных зависимостей изменения параметров движения на втором и третьем этапах. Для четвертого этапа сохранена нелинейная зависимость параметров движения, в связи с чем разработана программа и дано решение задачи на ЭВМ ЕС-1030.

Пятая глава характеризует экспериментальные исследования движения груза по ВПУ. Исследование включает количественную оценку работы различных типов ВПУ по основным характеристикам (траекториям, скоростям, ускорениям груза и элементов ВПУ, усилиям, возникающим в процессе движения). Приведено описание спроектированных и изготовленных стенда, воспроизводящего реальный ВП и элементов измерительной аппаратуры, а также методики проведения и обработки результатов экспериментов. Отражена модернизация известной методики для определения средней скорости груза при неустановившемся поступательном движении, которая обеспечила получение значений скорости груза при плоском движении и повысила точность результата не менее, чем на порядок за счет уменьшения шага зубцов измерительных гребенок, изготовленных фот-методом, а также применения специального усилителя. Запись действующих нагрузок произведена известным методом с использованием тензометрических осей.

Полученные экспериментальные данные убедительно подтвердили преимущества предложенной конструктивной схемы ВПУ по сравнению с другими рассмотренными устройствами. Проведенная оценка систематических и случайных ошибок показала высокую достоверность полученных данных. При сопоставлении экспериментальных и расчетных значений исследуемых параметров уста-

новлена хорошая их сходимость с максимальной погрешностью 12% (см. рис.3).

В шестой главе приведены основные результаты диссертационной работы и рекомендуемая методика расчета ВПУ.

В качестве основных результатов работы следует отметить: разработку методик выбора рациональной конструкции ВПУ, расчета параметров движения груза и параметров устройства, экспериментальное исследование движения груза, изготовление экспериментального стенда с элементами оригинальной регистрирующей аппаратуры и некоторых типов ВПУ, внедренных в производство.

Методика расчета предусматривает определение геометрических и весовых параметров ВПУ в зависимости от размеров и массы транспортируемого груза, а также кинематических характеристик движения груза в зависимости от начальной скорости.

ВЫВОДЫ

1. Для расширения областей применения роликовых конвейеров в транспортных системах комплексной механизации и автоматизации ГП необходимо использование вертикальных перегибов с надежными вертикальными передающими устройствами, применение которых отличается наибольшей эффективностью на вогнутых участках трасс при движении груза под уклон с углом наклона не более 5° .

2. Анализ свойств транспортируемых грузов и условий ГП позволил сформулировать ряд требований, как основы методики выбора типа рациональной конструкции ВПУ, обеспечивающей надежную и плавную передачу грузов для начальных скоростей в интервале $0 \dots 0,5$ м/с.

3. Для надежной работы ВПУ необходимо сочетание поворота груза в вертикальной плоскости с понижением его центра масс при наименьших собственных сопротивлениях движению элементов устройства.

4. Разработанная методика упрощенного экспериментально-аналитического исследования различных типов передающих устройств позволила выявить рациональную конструктивную схему ВПУ, удовлетворяющую сформулированным требованиям.

5. Впервые разработанная методика расчета параметров движения груза и конструкции БПУ дала возможность определить геометрические и весовые характеристики нового передающего устройства, а также их зависимость от размеров и массы транспортируемого груза, определить закономерности движения элементов конструкции и груза, включая его выход с устройства.

6. Для получения пологой и плавной траектории движения груза шаг расстановки опорных элементов БПУ должен быть равен $\delta = 0,45 L$. С уменьшением шага до предельного значения $\delta \geq 0,42 L$ возрастает крутизна траектории и возникает необходимость увеличения коэффициента трения пары груз-эксцентрик опоры.

7. Разработана методика и создана оригинальная регистрирующая аппаратура, позволяющая с высокой точностью определять кинематические параметры при плоскопараллельном движении груза.

8. Экспериментальные исследования подтвердили приемлемость принятых допущений, следовательно, теоретические зависимости достаточно точно описывают происходящие процессы.

9. По результатам работы создан и внедрен в производство ряд передающих устройств, защищенных авторскими свидетельствами.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.с. 686945 (СССР), Гравитационный роликовый конвейер /В.Н.Беляков, Л.Н.Колобов, -опубл. в БИ, 1979, № 35.

2. А.с. 713778 (СССР), Гравитационный роликовый конвейер /В.Н.Беляков, В.А.Маркин, Л.Н.Колобов, -опубл. в БИ, 1980, № 5.

3. А.с. 740628 (СССР), Гравитационный роликовый конвейер /В.Н.Беляков, Л.Н.Колобов, -опубл. в БИ, 1980, № 22.

4. А.с. 829516 (СССР), Устройство для передачи грузов /В.Н.Беляков, Л.Н.Колобов, -опубл. в БИ, 1981, № 18.

5. А.с. 865752 (СССР), Устройство для передачи грузов с наклонной роликовой секции на прямолинейную /В.Н.Беляков, Л.Н.Колобов, В.А.Маркин, -опубл. в БИ, 1981, № 35.

6. А.с. 1041453 (СССР), Устройство для передачи грузов с наклонной секции гравитационного конвейера на горизонтальную секцию /В.Н.Беляков, - опубл. в БИ, 1983, № 34.

7.Беляков В.Н.,Маркин В.А. Комплексная автоматизация транспортных операций в гальваническом производстве. -Механизация и автоматизация производства,1982,№6,с.3-5.

8. Колобов Л.Н.,Беляков В.Н. Передающее устройство ременного типа. -Машины,приборы,стенды.Каталог. -М.,1984,с.20.

9.Колобов Л.Н.,Беляков В.Н. Передающее устройство балансирного типа. -Машины,приборы,стенды. Каталог. -М.,1984,с.20.

10.Колобов Л.Н.,Беляков В.Н. Экспериментальное исследование движения грузов по передающим устройствам вертикального перегиба неприводных роликовых конвейеров. Теория, расчет и исследование ПТМ. -Труды /Каз. ПТИ,Алма-Ата,1984,с. 54-63.

11. Колобов Л.Н.,Беляков В.Н. Исследование движения штучного груза на балансирном передающем устройстве роликового конвейера. Труды / МВТУ, 1985, № 438, с.58-73.

12. Колобов Л.Н.,Беляков В.Н. Передающие устройства вертикальных перегибов роликовых конвейеров: Тез.докл. Всесоюзн. научной конференции. -М.:МВТУ,1985,с.40-41.

Беляков В.Н.



Объем - I п.л. тираж 100 экз. Типография МВТУ

Л - 62537 зак. 30 . Подписано к печати 10 . 01 . 86 г.