

М 315898

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТ

На правах рукописи

НАУИОКАИТИС Зигмас Ионо

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЮ И МАШИННЫЙ РАСЧЕТ
НАТЯЖЕНИЙ В ТЯГОВОМ ЭЛЕМЕНТЕ
ПОДВЕСНОГО КОНВЕЙЕРА**

(05.05.05 — подъемно-транспортные машины)

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Москва — 1977

Работа выполнена в Институте проектирования промышленного строительства Госстроя Литовской ССР.

Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент Л.Н. КОЛОБОВ (МВТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный консультант — кандидат технических наук, доцент Л.И. ГАСТИЛА (Вильнюсский инженерно-строительный институт).

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор И.И. ИВАНКОВ, кандидат технических наук, заведующий отделом подвесных конвейеров ВНИИПТМАШа Ф.С. ИОФЕ.

Ведущее предприятие — проектный институт ГПИ-1 (г.Москва).

Защита диссертации состоится "13" июня 1977г. на заседании специализированного комитета МВТУ имени Н.Э. Баумана по адресу: М-33/10 МВТУ имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г.Москва

Автореферат

Отзывы в

вссылать по указанию

С диссертацией

на.

Ученый секретарь

К.Т.Н.,

МЗ15898

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ И МАШИННЫЙ РАСЧЕТ НАТЯЖЕНИЙ В ТЯГОВОМ ЭЛЕМЕНТЕ КОНВЕЙЕРА

Актуальность проблемы. В основных направлениях развития народного хозяйства, указанных XXV съездом КПСС, отмечена необходимость увеличения производства подвесных конвейеров как прогрессивного средства механизации транспорта.

Машинный расчет подвесного конвейера, позволяющий определить точные данные, необходимые для правильной компоновки трассы и выбора режима его работы, является актуальной проблемой.

Поставленная цель — установление критериев и разработка методики машинного расчета, обеспечивающих снижение уровня натяжения тягового элемента и уменьшение интенсивности износа конвейера.

Методом работы является аналитическое и экспериментальные исследования процесса образования натяжения тягового элемента в сложной трассе конвейера, анализ возможных вариантов алгоритма тягового расчета и выбор лучшего варианта, проверка предлагаемого метода расчета путем использования специальной измерительной установки, а также ЭВМ "Минск-22М" и "Наири-М".

Научная новизна — разработка математической модели процесса образования натяжения тягового элемента с учетом влияния неодинакового нагружения кареток на прямом участке трассы, звенчатого изгибания тягового элемента на горизонтальных и вертикальных поворотах, переменной нагрузки на всех участках сложной трассы. Разработан алгоритм машинного тягового расчета. В качестве главного критерия принято наименьшее значение эквивалентного натяжения $\bar{S}_i$, которое является основой выбора местоположения приводов и натяжных устройств и показателем интенсивности износа конвейера. Существенной новизной обладает методика дифференциального измерения сил местного сопротивления на поворотах трассы. Способ термокомпенсации полупроводниковых тензорезисторов измерительной установки нового типа, а также способ выявления дефектов трассы с помощью этой установки, защищены авторскими свидетельствами.

Практическое значение. Машинный расчет на ЭВМ по предложенному алгоритму обеспечивают снижение уровня натяжения тягового

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1315898

Научноакадемический центр 3.И. Исследования

элемента на трассе конвейера и увеличение его долговечности. Алгоритм запрограммирован для ЭВМ "Минск-22М" и внедрен в практику проектирования в институте "Литпромпроект", г.Каунас. Практическую ценность при улучшении конструкции и монтажа поворотных участков трассы имеет предложенный способ диагностики направляющих путей конвейера.

Апробация. Результаты исследований были доложены на республиканских научно-технических конференциях (г.Каунас, ежегодно 1968-72 гг. и в 1975 г.), в специальном конструкторском бюро средств механизации (г.Иваново, 1970 г.), на всесоюзных семинарах в Доме научно-технической пропаганды (г.Ленинград, 1971, 1973 гг.), на НТС кафедры ПТМ МВТУ им.Н.Э. Баумана (1975 г.), в Секции НТС института ВНИИПТМАШ по машинам непрерывного транспорта (г. Москва, 1976 г.).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 10 статей, 2 технических отчёта и 2 описания изобретений.

Структура и объём. Диссертационная работа состоит из введения и шести глав, изложенных на 180 машинописных листах (140 страниц текста, 32 рисунка, 12 таблиц и список литературы из 115 названий).

Во введении изложены вышеупомянутые доводы об актуальности темы и задачах данной работы.

В первой главе освещено современное состояние аналитического и экспериментального определения натяжений тягового элемента конвейера.

Исследованию и расчёту подвесных конвейеров посвящён ряд работ. В первую очередь следует назвать труды П.С.Козьмина, О.С. Спиваковского, Г. Ганфштенгеля (G. Hanffstengel). Весь комплекс вопросов, связанных с расчётом и конструированием подвесных конвейеров современной конструкции, рассмотрен и научно обобщен в статьях и монографиях В.К. Дьячкова. В последнее время много внимания уделяется приводу и динамике подвесного конвейера. Актуальным проблемам посвящены работы Ф.С. Иоффе, Е.М. Розенблюма, Ю.И. Скорописова, Б.З. Шрона, Р.П. Радева и других исследователей.

Не уменьшается внимание исследованию установившегося движения, поскольку именно оно определяет общий уровень действующих сил и интенсивность износа конвейера. Г. Фромме (H.-G. Fromme), М. Дашек (M. Dašek), К. Меллер (K. Möller) и другие ученые искали

возможности замены классического метода тягового расчета "по точкам" математическими обобщениями. Некоторым из них удалось вывести приближенные формулы, неприменяемые для сравнения вариантов и выбора лучшего из них. Первый полностью формализованный способ тягового расчета, равноценный по числу учтенных факторов расчету "по точкам", составил И.Челени (Csélényi J.) графические методы В.К.Дьячкова. Формулы И.Челени сложны, а предлагаемый критерий выбора местоположения привода не обеспечивает удовлетворительного решения.

К.И.Ивановским, Г.Пајером (G.Pajer) были предложены уточненные методы расчета сопротивлений на вертикальных поворотах, но при учете ограниченного числа факторов. Более точные результаты дает экспериментальное определение коэффициентов местного сопротивления. Известны современные способы измерения общего натяжения в тяговом элементе и сил сопротивления на прямых участках (В.К.Дьячков), однако, точного измерения сил местного сопротивления на поворотах не было, единое мнение о величине коэффициентов сопротивления отсутствует.

Настоящая работа является дальнейшим развитием исследований установившегося движения конвейера. Она направлена на выявление и учет новых критериев и факторов с применением современной вычислительной техники.

Во второй главе изложены теоретические основы процесса образования натяжения тягового элемента для сложной трассы конвейера, показана структура предложенного алгоритма машинного тягового расчета.

Согласно принятой обобщенной схеме конвейера, трасса делится на движимые или движущие элементарные участки, в пределах которых нагрузка q , коэффициент линейного сопротивления α и направление движения являются или принимаются постоянными. Надо считать, что эти параметры меняются в конечной точке участка. Проекция участка h и l и точка поворота обозначаются одним порядковым номером i .

Основу алгоритма составляет уравнение зависимости между натяжениями S_a и S_b в двух точках трассы $i = a, b$ при $a < b$

$$S_b = S_a \prod_{i=a+1}^b \beta_i + \sum_{i=a+1}^b A_i \prod_{i=i}^b \beta_i, \quad (I)$$

которое представляет собой сумму сопротивлений A_i на элементарных участках $i = a, \dots, i, \dots, b$ и исходного натяжения S_a , приведенных до точки $i = b$. Аналогично, для двух точек $i = a, c$ при $a > c$

$$S_c = \prod_{i=c+1}^a \beta_i^{-1} (S_a - \sum_{i=c+1}^a A_i \prod_i^a \beta_i). \quad (2)$$

$$A_i = (\alpha_0 q_0 + \alpha_i q_i) l_i + (q_0 + q_i) h_i + \theta. \quad (3)$$

Здесь β_i — коэффициент местного сопротивления на повороте (КМС); θ — сумма сосредоточенных сил, действующих на участке i (датчики, стрелки и т.п.); α_0, α_i — коэффициенты линейного сопротивления при нагрузках тягового и грузового путей q_0, q_i . При движении вниз проекция h_i принимается отрицательной.

Уравнения 1-3 заменяют все операции расчета "по точкам" и вмещают исходные данные неограниченного числа участков. Написанные в разложенном виде уравнения 1 и 2 показывают последовательность изменения натяжения

$$S_b = (((\dots((S_a + A_{a+1})\beta_{a+1}^{-1} + A_{a+2})\beta_{a+2}^{-1} + \dots + A_i)\beta_i^{-1} + \dots + A_b)\beta_b^{-1}). \quad (4)$$

$$S_c = (((\dots((S_a \beta_a^{-1} - A_a)\beta_{a-1}^{-1} - \dots - A_i)\beta_i^{-1} - \dots - A_{c+2})\beta_{c+1}^{-1} - A_{c+1}). \quad (5)$$

Главным критерием для выбора оптимального положения приводных и натяжных устройств по предложенному алгоритму принято наименьшее эквивалентное натяжение $\bar{S}_i$ тягового элемента:

$$\bar{S}_i = \frac{1}{n_0 + 1} \sum_{i=iC}^{iB} S_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

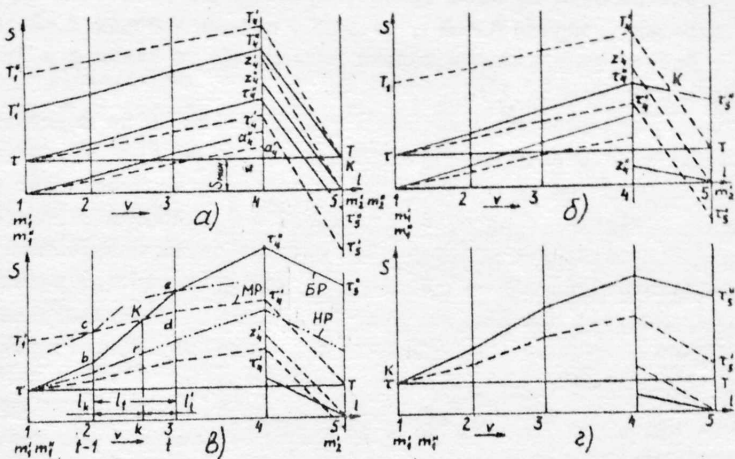
где S_i — значения натяжений в поворотных точках i ; n_0 — число участков интервала трассы между приводами; iC, iB — местоположение приводов (начало и конец межприводного участка). Износ элементов происходит на поворотах, поэтому долговечность конвейера прямо зависит от величины показателя $\bar{S}_i$. Необходимо учитывать и другие критерии, например:

$$P_i \rightarrow \min; \quad S_{iB} \rightarrow \min; \quad S_{(i)max}'' \rightarrow \min;$$

равенство окружных усилий P_i на всех приводах, а также критерий соответствия трассы технологическим требованиям. Здесь S_{iB} — натяжение в набегавшей ветви; $S_{(i)max}''$ — наибольшее натяжение на трассе при максимальной нагрузке конвейера.

В алгоритме принято изменение нагрузки на каждом участке i от минимальной q_i' до максимальной q_i'' . Достаточно выделить режимы номинального, минимального и наибольшего натяжения (НН, МН, БН), которым соответствует A_i, A_i', A_i'' и S_i, S_i', S_i'' .

чески на фиг. I а+г.



Фиг. 1.

Принимая в качестве первых возможных точек минимального натяжения m'_1 и m''_1 точку $i=iC=1$ и начиная от $i=\alpha=iC$, с помощью формулы I строим графики $\tau\tau'_4\tau'_5$ и $\tau\tau''_4\tau''_5$ по режимам МР и БР. Ординаты α'_4, α''_4 соответствуют линейным сопротивлениям на участках $i=1,2,3$, а z'_4, z''_4 — избыточной движущей силой спуска трассы $i=4$. На всех 4-х схемах они имеют различные соотношения. Когда окажется $\tau'_5 < S_{min}$, или $\tau''_5 < S_{min}$, точка 5 будет вторым возможным местом минимального натяжения m'_2 или m''_2 . В таком случае принимается $S'_{m_2} = S_{min}$ (или $S''_{m_2} = S_{min}$). К интервалу $i=iC+5$ последовательно присоединяются другие интервалы, содержащие один спуск, продолжая выявление возможных мест минимального натяжения до тех пор, пока будут найдены последние точки, в которых окажется $S'_i < S_{min}$ или $S''_i < S_{min}$. Эти точки и являются истинными точками минимального натяжения m' и m'' при режимах МР и БР.

Допустим, в случае фиг. 1в оказалось $m' = m'_2 = 5$, $m'' = m''_1 = 1$. Принимая $S'_\alpha = S'_m = S_{\min}$, $S''_\alpha = S''_m = S_{\min}$, по формулам 1 и 2 строятся графики $\tau K \tau'_1$, $\tau K \tau''_2$. Это наименьшие уровни натяжения при предельных режимах МР и БР. Эти уровни имеют одну общую точку К в точке трассы k. Для вычисления ее параметров выведены формулы.

Натяжное устройство с усилием $S_r = S'_k = S''_k$, установленное в точке $r = k$, обеспечит наименьший высший уровень натяжения, а также

наименьший $\bar{S}_i$. Если НУ установить в интервале $iC \div k$, например, в точке 2, то потребуется $S_p = S_2'$, уровень БР поднимется до точки с, будет повышен на всей трассе, существенно повышая и $\bar{S}_i$. Более выгоден интервал $k \div iB$, особенно первый поворот $t=3$ с $S_p = S_t''$, поскольку повысится только уровень МР до точки е и лишь на коротком интервале $t \div iC$.

Точка $i=r$ берется в качестве исходной $i=\alpha$ и по формулам 1,2 вычисляются окончательные значения S_i , S_i' и S_i'' .

На одном и том же участке трассы холостая каретка имеет нагрузку G_x , каретка с порожней подвеской $-G_n$, каретка с грузом $-G_j$. Каждой каретке j с нагрузкой G_j соответствуют коэффициенты линейного сопротивления α_j , зависящие, как известно, от величины G_j . Предлагается для каждого участка i вычислить эквивалентный коэффициент линейного сопротивления α_i , сущность которого можно показать уравнением:

$$A_i = \alpha_i \sum_j G_j = \sum_j G_j \alpha_j. \quad (7)$$

Отсюда:

$$\alpha_i = \frac{G_x N_{ix} \alpha_x + G_n N_{in} \alpha_n + G_{iz} N_{iz} \alpha_z}{G_x N_{ix} + G_n N_{in} + G_{iz} N_{iz}}. \quad (8)$$

При вычислении A_i для конвейера с консольным подвешиванием грузов

$$\alpha_i = \frac{0,5 G_{iz} N_{iz} (\alpha_{iA2} + \alpha_{iB2}) + 0,5 G_{in} N_{in} (\alpha_{iAn} + \alpha_{iBn}) + G_x N_x \alpha_x \cos \varphi}{(G_{ix} N_{ix} + G_{in} N_{in} + G_x N_x) \cos \varphi}. \quad (9)$$

Здесь N_{iz} , α_{iA2} , α_{iB2} , N_{in} , α_{iAn} , α_{iBn} , N_x — числа подвесок и холостых кареток с нагрузками G_{iz} , G_{in} , G_x и коэффициенты линейного сопротивления отдельно для кареток А и В консольных подвесок, вычисляемые по формулам, приведенным в диссертации. В случае неконсольных подвесок и $\varphi = 0$ формула 9 преобразуется в формулу 8.

Возможен и принципиально иной способ расчета A_i . Сила сопротивления одной каретки A_j рассматривается состоящей из двух компонентов — независящего и зависящего от нагрузки:

$$G_j \alpha_j = \alpha + G_j \alpha^0. \quad (10)$$

Отсюда

$$\alpha_j = \frac{\alpha}{G_j} + \alpha^0. \quad (11)$$

Сила окружного сопротивления α и базовый коэффициент линейного сопротивления α^0 вычисляются эмпирическим путем после измерения нескольких значений α_j и G_j . Теперь,

$$A_i = A_{i\alpha} + A_{i\alpha^0} + A_{ik} + \theta_i, \quad (12)$$

где $A_{i\alpha}$, $A_{i\alpha^0}$, A_{ik} — компоненты от влияния α , α^0 и консольного подвешивания грузов.

$$A_{i\alpha} = \sqrt{l_i^2 + h_i^2} \left(\frac{\alpha_0}{T_k} + \frac{\alpha}{T_n} \right); \quad (13)$$

$$A_{i\alpha} = (\alpha_0 q_0 + \alpha q_i) l_i + (q_0 + q_i) h_i, \quad (14)$$

$$A_{ik} = [(R_{iA_2} + R_{iB_2} - G_{i2} \cos \varphi) N_{i2} + (R_{iA_n} + R_{iB_n} - G_{in} \cos \varphi) N_{in}] \alpha^0, \quad (15)$$

где α_0, α — константы сопротивления для кареток тягового пути; R_i — реакции на каретки консольной подвески.

В главе 2 приведена структура алгоритма с полной механизацией математических и логических операций на ЭВМ. Уменьшение степени механизации с целью снижения стоимости расчета привело к оптимальному по структуре и объему алгоритму [6]. В этом случае необходимо предварительно выбрать точки $i = iB$ и $i = f$, где возможна установка приводов и НУ. Номера этих точек заносятся в таблицу вместе с параметрами $l_i, h_i, q_i, q'_i, q''_i, \alpha_i, \alpha'_i, \alpha''_i, \beta_i, \theta_i$. На ЭВМ вычисляются $S_i, S'_i, S''_i, P_i, P'_i, P''_i, \bar{S}_i$, мощности приводов и массы грузов НУ, как при положении НУ в точке $r = f$, так и при $r = t$, найденного ЭВМ по критерию $\bar{S}_i \rightarrow \min$. Конструктор легко выбирает вариант, оптимальный по наиболее важным критериям. Предусмотрена также проверка на ЭВМ правильности исходных данных по условиям $\sum h_i = 0, q'_i \leq q_i \leq q''_i$ и т.п. Объем алгоритма [6] — 41 стр. машинописного текста.

Алгоритм запрограммирован для ЭВМ "Минск-22М" на языке МАЛГОЛ. При максимальном числе участков и приводов ($n=99, z=5$) время расчета 9 мин.

В третьей главе изложены теоретические основы расчета и измерения сил сопротивления на поворотных участках трассы.

Предложена общая схема поворотного участка трассы с неподвижными направляющими. Горизонтальный и вертикальный повороты являются ее частными случаями. Прирост натяжения ds в пределах угла поворота $d\nu$ можно представить как сумму дифференциалов:

$$ds = \sum F_i(\nu; s) d\nu. \quad (16)$$

Например, дифференциал влияния радиального усилия dN , выраженный через базовый коэффициент линейного сопротивления α^0 , равен

$$F_i d\nu = \alpha^0_i s d\nu. \quad (17)$$

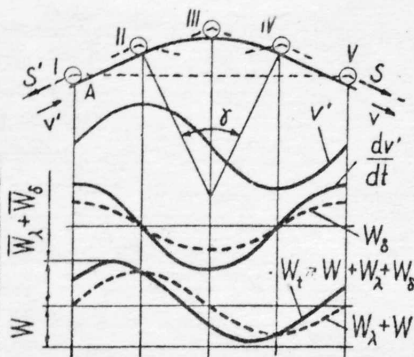
Из уравнения 16:

$$\frac{ds}{d\nu} + P(\nu)s = Q(\nu); \quad (18)$$

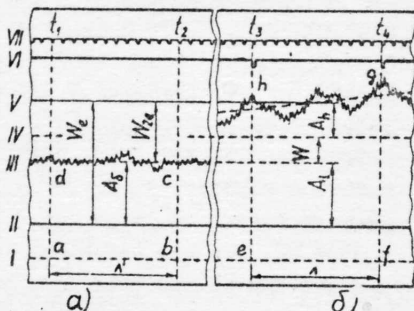
$$s = e^{-\int P(\nu) d\nu} [\int Q(\nu) e^{\int P(\nu) d\nu} d\nu + C], \quad (19)$$

где $Q(v)$ и $P(v)$ — функции переменного v .

Более надежным является определение КМС путем измерения силы сопротивления на повороте. Для выбора метода измерения выяснено влияние звенчатого изгибания тягового элемента на моментную величину перепада натяжения $S - S' = W_t$.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

На фиг. 2 показаны положения I—V каретки A при обходе вертикального поворота δ , а также графики изменения v' и W_t , когда $v = \text{const}$ и $S' = \text{const}$. Установлено, что

$$S = S' + S'(\beta - 1) + S'(\lambda - 1) + \beta m'v \frac{d\lambda}{dt}, \quad (20)$$

где 2-ой член — местное сопротивление W (фиг.2); 3-ий и 4-ый члены — статическое и динамическое составляющие W_λ и W_δ периодического изменения перепада W_t ; m' — масса набегавшей ветви; λ — функция углов несовпадения направлений движения и действующих усилий на всех точках изгибания тягового элемента на поворотном участке. Отсюда видно, что измеренное W должно определяться как интегральное среднее графика перепада $(S - S')$ в течение прохода целого числа шагов кареток.

Измерение сил сопротивления на поворотах предложено производить путем записи дифференциальных сигналов сил S_1 и S_2 в коротком интервале тягового элемента между тензометрическими преобразователями A1 и A2, движущимися по трассе конвейера. На фиг. 3а и 3б показаны графики, когда A1—A2 движется прямо и на повороте.

$$S_1 - S_2 = W_e = W + A_h + A_l, \quad (21)$$

где A_h и $A_l = A_d$ - влияние веса и линейное сопротивление движению измерительной базы. С целью исключения A_l и влияния дрейфа нулевого уровня II, предложен способ "разности двух разностей":

$$(S_1 - S_2) - (S'_1 - S'_2) = W_{2e} = W + W_h, \quad (22)$$

где S'_1 и S'_2 - сигналы датчиков А1 и А2, когда база находится перед поворотом.

$$W_{2e} = \mu \left(\frac{F}{\lambda} - \frac{F'}{\lambda'} \right), \quad (23)$$

где F и F' - площади фигур $ghcf$ и $abcd$, построенных на произвольном уровне I; λ , λ' - длина отрезков осциллограммы; μ - масштаб записи.

Выведены формулы для расчета длины измерительной базы и формулы для вычисления β в горизонтальном повороте, а также на нижних и верхних поворотах вертикальных перегибов при движении вверх и вниз. Например, формула в случае верхнего поворота при движении вверх имеет вид:

$$\beta_{va} = \frac{S_1}{S'_1 - W_{2a} + q(h_{1a} + h_{2a})}. \quad (24)$$

где h_{1a} , h_{2a} - постоянная часть и средняя величина переменной части вертикальной проекции измерительной базы (вычисляются по специальным формулам).

Произведен теоретический анализ точности тарировки сигнала W . Датчики А1 и А2 подвергаются натяжению в вертикальной раме стенда, S_1 тарируется по динамометру, а W - с помощью эталонных грузов.

Четвертая глава содержит описание тензометрической установки ДИС-I для дифференциального измерения сил местного сопротивления на поворотах, а также анализ точности и устойчивости работы установки.

В качестве преобразователей применены полупроводниковые тензорезисторы, представляющие собой миниатюрные бруски, вырезанные из кристалла кремния. Их чувствительность в 50-70 раз выше чувствительности проволочных тензорезисторов.

Установка состоит из двух тензочувствительных сегментов цепи, усилителя, шлейфового осциллографа, аккумулятора, командопарата и пульта дистанционного управления. При обходе трассы

конвейера в нужных местах включаются измерительные циклы.

Много внимания уделено специальному способу термокомпенсации. Точность дифференциального измерения (5%) лимитируется остаточной разностью чувствительности измерительных сегментов А1 и А2.

В пятой главе приведен анализ результатов экспериментального исследования.

Замеры производились в 1969 г. на подвесном пространственном конвейере Каунасской хлопкопрядильной фабрики им. А. Петраускаса. Длина конвейера 440 м, тяговый элемент собран из отрезков втулочно-роликовой цепи.

Статистическая обработка значений КМС произведена в соответствии с нормальным законом распределения. Для горизонтальных поворотов среднее арифметическое $\bar{\beta}_h = 1,0365$, среднее квадратичное отклонение $s = 0,0185$, генеральное среднее квадратичное отклонение по закону χ^2 - распределения находится в пределах $0,0150 < s < 0,024$ с надежностью $u = 0,90$. Коэффициент вариации $w = 52\%$, ошибка измерения составляет 10% от s . Доверительный интервал среднего арифметического получен $\beta_h = 1,0365 \pm 0,04$ с надежностью $u = 0,70$. В случае вертикальных поворотов он равен $\beta_v = 1,015 \pm 0,0064$.

С помощью ЭВМ "Найри-М" определены экспериментальные поправки к расчетным формулам, вычислены значения β_h и β_v при различных значениях γ, D, R и составлена таблица КМС для конвейера со секционной цепью данного вида.

Одновременно измерялись силы общего натяжения с обеих сторон привода $S_{нд}, S_{сб}$ и производился точный учет нагрузки на всех участках трассы. В формулу I подставлялись измеренные $S_{\alpha} = S_{сб}, q_i$, эквивалентные α_i и вычислялись $S_{св}$. Доверительный интервал, в котором уместается величина несогласия $S_{нд}$ и $S_{св}$, равен $\delta = (-5,6 \pm 4,6)\%$ с надежностью $u = 0,7$, где $\bar{\delta} = -5,6\%$ является систематической ошибкой.

Ошибка принятой математической модели образования натяжения вычислена по формуле:

$$\Delta_M = \sqrt{\Delta^2 - \Delta_F^2 - \Delta_1^2}, \quad (25)$$

где $\Delta = 360H$ — абсолютное среднее несогласие величин $S_{нд}$ и $S_{св}$;

$\Delta_f = 230H$ — суммарная ошибка исходных данных, подставляемых в расчетную формулу (основную ее часть составляет неточность коэффициентов β_i); $\Delta_1 = 75H$ — ошибка измерения $S_{нд}$. Процентная ошибка модели равна $\delta = 7,8\%$, а после вычета систематической ошибки:

$$\delta_o = \sqrt{\delta_m^2 - |\delta|^2} = \sqrt{7,8^2 - 5,6^2} = 3,1\%.$$

Таким образом, с надежностью $\mu = 0,7$ можно полагать, что ошибка формулы I после введения поправки — 5% не превышает 3%. При $\mu = 0,95$ она может увеличиться до 6%, что для конструкторских расчетов приемлемо.

В шестой главе приведен пример тягового расчета подвешного конвейера по предложенному методу с таблицей исходных данных и таблицей результатов расчета, напечатанной ЭВМ "Минск-22М".

Для расчета экономической эффективности применения нового метода выполнен тяговый расчет конвейера при 12 различных вариантах расположения приводов и НУ. Разность наименьшего значения $\bar{S}_i$ по сравнению с наибольшим составляет 60%, причем на 30% за счет перемещения НУ при постоянном месте привода. Принимая, что без применения новой методики вероятность выбора худшего варианта равна 0,5, а от величины $\bar{S}_i$ прямо зависит долговечность половины элементов конвейера, в качестве эффективного снижения $\bar{S}_i$ можно принять $60 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 15\%$. Износ конвейера, тем самым расходы на его ремонт и содержание, соответственно уменьшаются, капитальные вложения распределяются на большее число лет. Это дает экономический эффект 1350 руб. в год на один конвейер длиной 800 м. Ежегодно вводятся в эксплуатацию около 680 подвешных конвейеров (при перерасчете на эту длину), поэтому экономический эффект в масштабе страны составляет 900 тыс. руб. в год.

Сообщается также о применении установки ДИС-I для диагностики путей подвешного конвейера на Каунасской хлопкопрядильной фабрике им. А. Петраускаса и опыте внедрения расчета конвейеров на ЭВМ в учебную практику в Каунаском политехническом институте.

В ы в о д ы

I. Предложенная универсальная математическая модель процесса образования натяжения в тяговом элементе подвешного конвейера

и обобщенные формулы зависимости значений натяжения в двух точках трассы дают возможность составить алгоритм для эффективного машинного тягового расчета.

2. Важнейшим критерием для выбора оптимальных мест установки приводов и ПУ является наименьшее значение эквивалентного натяжения $\bar{S}_i$, определяющее интенсивность износа большинства элементов конвейера.

3. Для машинного расчета конвейеров со сложными трассами необходим анализ влияния переменного нагружения элементарных участков трассы по режимам наименьшего (МР) и наибольшего (БР) натяжений. Наиболее удаленные от привода точки минимального натяжения при МР и БР являются исходными точками для тягового расчета. При установке ПУ в точке пересечения графиков натяжения по МР и БР величина $\bar{S}_i$ имеет наименьшее значение.

4. Предлагаемый алгоритм [6] может применяться для проектирования конвейеров различных типов со сложными трассами, как одноприводных, так и многоприводных. Являясь базовым, он может дополняться подпрограммами для определения различных специальных параметров.

5. По данным экспериментальной проверки систематическая ошибка предложенной математической модели равна +5%, а дополнительная случайная ошибка находится в интервале $\pm 6\%$ при надежности 0,95.

6. Алгоритм [6], запрограммированный для ЭВМ "Минск-22М", испытан на практике проектирования. Ожидаемый экономический эффект внедрения расчета по критерию $\bar{S}_i \rightarrow \min$ в масштабе страны равен 900 тыс.руб. в год.

7. Общий переменный коэффициент линейного сопротивления движению каретки целесообразно заменить двумя контактами — силой окружного сопротивления α и базовым коэффициентом α^0 , или для каждого участка i вычислить эквивалентный коэффициент линейного сопротивления α_i .

8. Предложенные обобщенные математические модели образования сопротивления на поворотных участках могут использоваться для вывода расчетных формул сопротивления на поворотах различных видов. Учет влияния звенчатого изгибания тягового элемента уточняет расчетные формулы.

9. При движении тягового элемента на повороте по нестационарной кривой (ввиду его звенчатого изгиба или эксцентричности поворотного блока) возникают периодические изменения натяжения со статистической и динамической составляющими. По данным измерения их суммарная амплитуда достигает 30% от средней величины натяжения и значительно превышает амплитуды колебаний, вызываемые другими факторами.

10. Предложенный дифференциальный способ измерения силы местного сопротивления на повороте трассы, заключающийся в непосредственном измерении разности силы общего натяжения за и перед поворотом, обеспечивает реальную возможность определения фактического КМС поворотного участка.

11. Полупроводниковые тензорезисторы, примененные в исследовании транспортирующих машин впервые, обеспечивают достаточную чувствительность при измерении сил местного сопротивления. Специальный метод термокомпенсации защищен авторским свидетельством № 3055347. Сконструированная измерительная установка ДИС-I с дистанционным полуавтоматическим управлением является эффективным средством исследования сил, действующих в конвейере. Установку можно использовать для определения КМС и для совершенствования узлов конвейера.

12. Путем измерения фактических сил сопротивления и сравнения их с допускаемыми можно производить диагностику направляющих путей конвейера (авторское свидетельство № 415557).

Содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Предпосылки механизации тягового расчета конвейеров со сложными трассами. "Механизация и автоматизация производства", № 9, Москва, 1968.

2. Расчет натяжения цепи конвейеров на ЭВМ. "Моколас ир техника", № II, Вильнюс, 1969 (на литов.яз.).

3. Процесс образования и передачи натяжения цепи в трассе подвешенного конвейера. "Труды ВУЗ Лит.ССР. Механическая технология", № 3, изд. "Минтис", Вильнюс, 1971.

4. Способ компенсации влияния температуры на тензочувствительность полупроводниковых тензорезисторов. Авторское свидетельство № 305347, приоритет от 1969 г. (совместно с Л. Гасилой).

5. Новый метод определения коэффициентов местных сопротивлений на трассе конвейера. "Механизация и автоматизация производства", № 10, Москва, 1971 (совместно с В.К. Дзячковым).

6. Алгоритм тягового расчета конвейера на ЭВМ, тема УМ5-1.2-31М, вторая редакция, ин-т "Литпромпроект", Каунас, 1973.

7. Способ выявления дефектов трассы конвейера. Авторское свидетельство № 415557. Приоритет от 16.01.1969 г.

8. Изменения натяжения конвейерной цепи, вызываемые вертикальным поворотом конвейера. "Мокслас ир техника", № 12, Вильнюс, 1974 (на литовск.яз.).

9. Обобщенные уравнения для расчета силы сопротивления движению ходовой части конвейера на поворотах трассы. Об. "Механизация и автоматизация производственных процессов легкой промышленности". Материалы конференции (31.02.1975 г.) КПИ, Каунас, 1976.

Ротапринт ЛИТПРОМПРОЕКТА, Каунас, ул. Ю. Янониса, 6.

Заказ 64, тираж 100, объем 1 п.л., LV 09080 от 13.4.1977.