

УДК 622.647.2

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНЕОРА И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МНОГОПРИВОДНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ВАКУУМ-ПРИВОДАМИ

К.А. ВАСИЛЬЕВ, Д.А. ЮНГМЕЙСТЕР

В последние годы в странах с развитой горно-добывающей промышленностью (СССР, США, ФРГ, Япония, ЧССР) интенсивно ведутся работы по созданию и внедрению многоприводных ленточных конвейеров (МПК), позволяющих транспортировать сыпучие грузы на значительные расстояния без перегрузки. Техничко-экономические преимущества МПК заключаются в возможности применения в их конструкции грузонесущей ленты пониженной прочности, а следовательно и стоимости, ликвидации перегрузочных узлов, упрощении схем и эксплуатационного обслуживания приводных станций.

В реализованных проектах МПК (СССР, ФРГ, ЧССР) [1, 3] в качестве их промежуточных приводов используются как правило фрикционные ленточные приводы с протяженным плоским контактом трения. Такие приводы при относительной простоте конструкции обладают невысокой удельной (на 1 м длины тягового контура) тяговой способностью, что требует увеличения длины их тягового контура до 100 м и более для обеспечения нужной силы тяги при незагруженной грузонесущей ленте конвейера.

Значительный расход конвейерной ленты для тяговых контуров приводов снижает технико-экономические показатели работы МПК с такими приводами. Для повышения удельной тяговой способности промежуточных ленточных приводов можно использовать дополнительные побудители сцепления тяговой ленты привода с грузонесущей лентой конвейера (механические прижимные устройства, магнитные силы, специальные профили конвейерных лент).

В Ленинградском горном институте предложена конструкция промежуточного вакуум-привода [2], у которого в качестве дополнительного побудителя сцепления грузонесущей и тяговой лент используется атмосферное давление путем создания вакуума на всей площади их фрикционного контакта. Работоспособность предложенной схемы вакуум-привода проверена в лабораторных условиях на экспериментальном стенде в лаборатории горных транспортных машин. Удельная тяговая способность вакуум-привода в десятки раз больше тяговой способности ленточного промежуточного привода обычной конструкции и значительно выше удельной тяговой способности промежуточных ленточных приводов с дополнительными побудителями сцепления, например магнитофрикционными. Это создает хорошие предпосылки для создания многоприводных ленточных конвейеров с промежуточными приводами небольшой длины

(15-20 м) и с высокой тяговой способностью, допускающей к тому же регулирование ее величины изменением величины вакуума на площади фрикционного контакта грузонесущей и тяговой лент.

Эффективность применения МПЛК с промежуточными вакуум-приводами существенно зависит от параметров оборудования конвейера и вакуумного режима работы приводов. Выбор параметров сопряжен с варьированием значительного числа исходных данных, поэтому задачу следует решать как оптимизационную, приняв в качестве критерия оптимальности минимум приведенных затрат на транспортирование горной массы, что позволяет обеспечить взаимосвязь расчетов технических параметров оборудования МПЛК с технико-экономическими показателями его работы.

При построении экономико-математической модели расчета МПЛК с промежуточными вакуум-приводами были приняты следующие положения:

- 1) моделируемый конвейер снабжен регулируемыми вакуум-приводами;
- 2) тяговое усилие вакуум-привода линейно зависит от величины разрежения в его вакуумной системе, а коэффициент трения между тяговой и грузонесущей лентами постоянен;
- 3) вакуум-приводы работают в режиме предельного использования тангенциальных сил трения грузонесущей и тяговой лент;
- 4) максимальная длина фрикционного контакта тяговой и грузонесущей лент принимается равной 15 м, так как при большей длине тягового контура сложно реализовать тяговое усилие и создать надежную систему поддержания определенной величины разрежения в вакуум-системе;
- 5) ширина тяговой ленты принимается равной ширине грузонесущей ленты;
- 6) соотношение длин промежуточного привода и ведомого им участка грузонесущей ленты выбирается в зависимости от прочности грузонесущей ленты.

В алгоритме предлагаемой модели используются некоторые эмпирические формулы и логические построения, примененные в аналогичной модели ИГД МЧМ [1].

Экономико-математическая модель состоит из пяти частей.

1. Исходные данные, начальные значения параметров, имеющих циклы, таблицы параметров лент.
2. Тяговый расчет конвейера и выбор его основных технических параметров.
3. Расчет экономических показателей.
4. Повторение тягового расчета и расчета экономических показателей при циклическом изменении параметров вакуум-привода (P , K_H , K_{np}).
5. Выбор вариантов с минимальными приведенными затратами и распечатка основных параметров по каждому варианту.

В качестве исходных данных в модели приняты следующие параметры конвейера: производительность Q , т/ч; длина транспортирования L , м; угол установки β ; скорость движения ленты v , м/с; насыпная плотность груза ρ , т/м³; максимальный размер кусков транспортируемого материала a , м.

Исходные данные по грузонесущей (с учетом прокладок) и тяговой лентам вводятся в память ЭВМ в виде таблиц, в которых необходимы следующие данные:

Лента	Грузонесущая	Тяговая
Тип ленты	i	j
Стоимость 1 м ² , руб	$\Pi_{ли i}$	$\Pi_{ли j}$
Линейная масса ленты, кг/м	$q_{ли i}$	$q_{ли j}$
Разрывное усилие, Н/см	$\sigma_{н i}$	$\sigma_{т j}$
Число отверстий на 1 м ²	—	$n_{от}$

Величины, изменяющиеся циклично в модели, имеют следующие первоначальные значения: величина разрежения в вакуум-системе $P = 20$ кПа; коэффициент, учитывающий неравномерность распределения вакуума по площади контакта грузонесущей и тяговой лент, $K_{н} = 0,2$; коэффициент увеличения стоимости привода, учитывающий затраты на средства создания вакуума, $K_{пр} = 1,2$; $i = 1$ и $j = 1$ (из таблиц исходных данных выбираются первые по порядку типы грузонесущей и тяговой лент).

Переменные величины, меняющиеся при расчете по одному набору исходных данных, обозначены следующим образом: B , B_1 и B_2 — ширина лент,

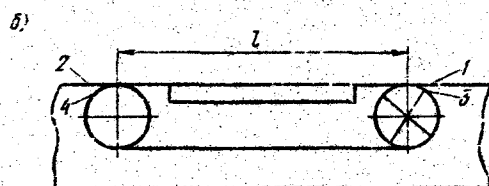
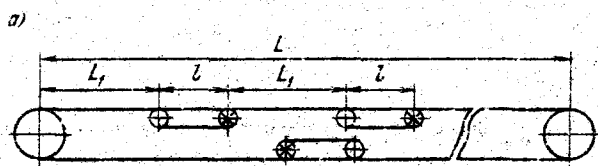


Рис.1. Схемы к расчету МПЛК с промежуточными вакуум-приводами: а — общая расчетная схема; б — схема к расчету натяжений грузонесущей и тяговой лент МПЛК с вакуум-приводами

расчетная, по производительности и по крупности кусков, м; ρ_a — сила дополнительного прижатия обеих лент, возникающая вследствие создания вакуума между ними, Н/м; $S_{он}$ и $S_{дн}$ — натяжение грузонесущей ленты предварительное в точке 1 и допустимое в точке 2 (рис.1), Н; K — коэффициент соотношения длины промежуточного привода и ведомого участка промежуточного привода; l — длина фрикционного контакта лент, м; L_1' и L_1 — длина участка грузонесущей ленты, ведомого одним промежуточным приводом, расчетная и уточненная, м; $q_{рн}$ и $q_{рт}$ — линейная масса вращающихся частей роликсопор соответственно грузонесущей и тяговой лент, кг/м; n_1' , n_1 и n — число приводов, расчетное и округленное из грузовой ветви и общее; $S_{тт}$ и $S_{от}$ — натяжение в тяговой ленте в точке 3 и в точке 4 (рис.1), Н; $S_{дт}$ — допустимое натяжение в тяговой ленте, Н; N — мощность двигателей промежуточного привода, кВт; $G_{пр1}$,

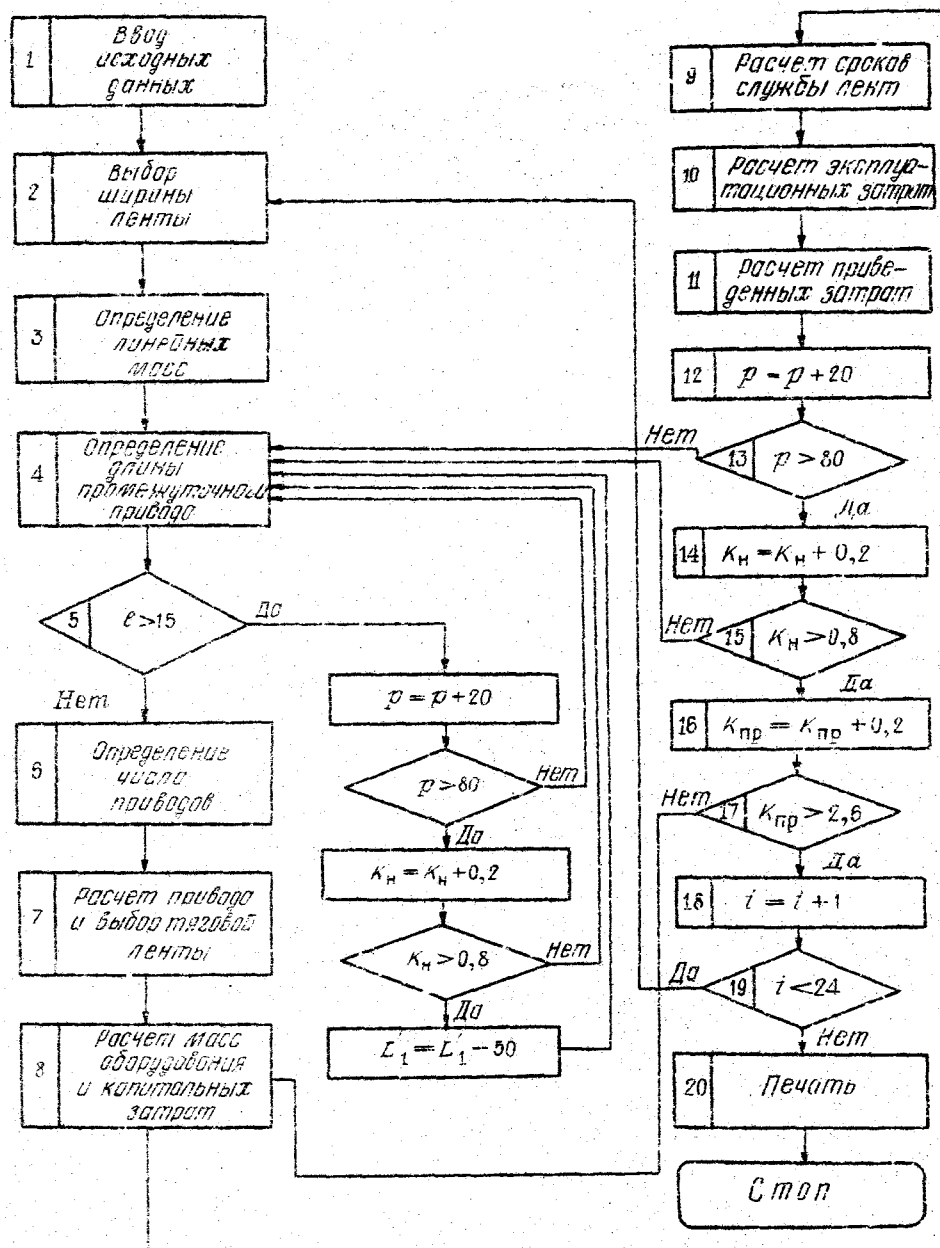


Рис.2. Блок-схема экономико-математической модели расчета МПЛК с промежуточными вакуум-приводами

$G_{рв1}$, $G_{рн1}$ и $G_{мк1}$ - масса приводных станций, роликов верхней ветви, роликов нижней ветви и поддерживающих металлоконструкций промежуточного привода, т; $G_{рв}$, $G_{рн}$ и $G_{мк}$ - масса роликов верхней ветви, роликов нижней ветви и поддерживающих конструкций на участке L_1 , т; $T_{лн}$ и $T_{лт}$ - срок службы грузонесущей и тяговой ленты, месяцев; K_3 и $\mathcal{E}$ - капитальные и эксплуатационные затраты, руб; $\mathcal{S}$ - приведенные затраты, руб/т.

При расчете по одному набору исходных данных постоянные значения сохраняют следующие величины: A и $K_{3п}$ - коэффициент производительности и неравномерности; q - линейная плотность груза, кг/м; r - диаметр отверстий в тяговой ленте, м; g - ускорение свободного падения, м/с²; f - коэффициент трения между лентами; w - коэффициент сопротивления движению; m_H и m_T - коэффициенты запаса прочности соответственно грузонесущей и тяговой лент; $K_{3т}$ - коэффициент запаса сил трения; $e^{\mu\alpha}$ - тяговый фактор приводных барабанов промежуточного привода; K_p - коэффициент резерва мощности; η - КПД механической передачи; $c_{пр}$, $c_{рв}$, $c_{рн}$ и $c_{мк}$ - стоимость изготовления и т. оборудования приводных станций, роликов верхней и нижней ветви и поддерживающих металлоконструкций, руб; $l_{рв}$ и $l_{рн}$ - расстояния между роlikоопорами верхней и нижней ветвей МПЛК, м; $K_{рг}$ - коэффициент разрыхления транспортируемого груза; m - коэффициент использования конвейера во времени; $T_{рв}$ и $T_{рн}$ - сроки службы роликов верхней и нижней ветвей, годы; c_1 - стоимость израсходованной электроэнергии, коп/(кВт·ч); c_2 - стоимость 1 кВт·А установленной мощности, руб; η_0 и η_1 - коэффициенты потерь в сети и спроса; $n_{см}$ - число смен в году; $c_{оп}$, $c_{поп}$, c_3 , c_c , c_p , $c_{рп}$ - тарифные ставки обслуживающего персонала, руб; T - годовое время работы, ч.

Блок схема модели (рис.2) предусматривает расчет по пяти циклам. В первом цикле (блок 5) проверяется длина промежуточного привода, причем если не выполняется условие $l < 15$, то увеличивают сначала разрежение в вакуумной системе с шагом 20 кПа, затем коэффициент неравномерности K_H с шагом 0,2. Если условие все еще не выполнено, уменьшают длину ведомого участка L'_1 с шагом 50 м.

Второй (блок 13) и третий (блок 15) циклы необходимы для расчетов МПЛК при различных режимах работы вакуумной системы. Здесь, после проверки величины разрежения, производятся расчеты с изменением сначала P с шагом 20 кПа, затем K_H с шагом 0,2.

В четвертом цикле (блок 17) меняется коэффициент увеличения стоимости промежуточного привода с шагом 0,2. Расчеты в этом цикле позволяют изучить, как влияет на приведенные затраты $\mathcal{S}$ увеличение стоимости приводов, которое можно менять, устанавливая на приводах различные средства создания вакуума и типы коллекторов вакуум-приводов.

С помощью пятого цикла (блок 19) перебирают все типы грузонесущей ленты, заложенные в исходных данных.

Алгоритм расчета приведен в таблице.

Предложенная модель будет использована при проектировании МПЛК с промежуточными вакуум-приводами в калийной промышленности.

Алгоритм расчета экономико-математической модели

Номер блока	Расчетные формулы	Примечания
1		Ввод исходных данных
2	$B_1 = 1,1 \sqrt{\frac{K_{\text{эл}} q}{A p v}} + 0,05$; $B_2 = 2,5a$. Если $B_1 > B_2$, то $B = B_1$, иначе $B = B_2$	$K_{\text{эл}} = 1,5$; $A = 350$
3	$q_{\text{Г}} = a/3,6v$; $q_{\text{РН}} = 86 \sqrt{B^3}$; $q_{\text{РТ}} = B(4,1 \sqrt{B} + 0,01636_{\text{АТ}} + 33)$; $p_a = \left[1 + K_{\text{н}} \left(\frac{1}{\pi n_0 r^2} - 1 \right) \right] \pi p n_0 s r^2$	$q_{\text{АН}}$ и $q_{\text{АТ}}$ (выбираются из таблицы исходных данных)
4	$S_{\text{ОН}} = 8 l_{\text{рв}} q (q_{\text{Г}} + q_{\text{АН}})$; $k = \frac{1}{1 + \frac{(g q_{\text{АН}} \cos \rho + p_a) f}{g (q_{\text{Г}} + q_{\text{АН}} + q_{\text{Р}}) (w \cos \rho + \sin \rho)}}$; $S_{\text{ДН}} = \frac{1}{\pi_{\text{н}}} B \sigma_{\text{н}} i$; $L'_1 = \frac{S_{\text{ДН}} - S_{\text{ОН}}}{g(1-k)(q_{\text{Г}} + q_{\text{АН}} + q_{\text{Р}})(w \cos \rho + \sin \rho)}$; $l = k L'_1$	$l_{\text{рв}} = 1,2$ м; $f = 0,3$; $w = 0,03$; $m_{\text{н}} = 10$
6	$n'_r = \frac{L}{L'_1 + l}$; $L_1 = \frac{L}{n_r} - l$; $n = r_{\text{Г}} + 1$	n'_r округляется в большую сторону. $n_r \Rightarrow n_{\text{Г}}$
7	$S_{\text{ТТ}} = L_1 (q_{\text{Г}} + q_{\text{АН}} + q_{\text{РН}})(w \cos \rho + \sin \rho) + w l [g(q_{\text{Г}} + q_{\text{АН}} + q_{\text{Р}} + q_{\text{РН}} + q_{\text{АТ}}) + p_a]$; $S_{\text{СТ}} = \frac{K_{\text{СТ}} S_{\text{ТТ}}}{e^{\mu_{\text{СТ}} - 1}} = 0,182 S_{\text{ТТ}}$; $S_{\text{ДТ}} = S_{\text{СТ}} + S_{\text{ТТ}}$; $\sigma_{\text{Т}} = m_{\text{Т}} q_{\text{ДТ}} / 100 B$; $N = \frac{1,2 [(S_{\text{ТТ}} - S_{\text{СТ}}) + 0,05 (S_{\text{ТТ}} + S_{\text{СТ}})]}{1000 \eta}$	$K_{\text{СТ}} = 1,2$; $e^{\mu_{\text{СТ}} - 1} = 6$; $m_{\text{Т}} = 8,5$; $\eta = 0,9$
8	$C_{\text{пр1}} = (0,06 N + 10)$; $C_{\text{рв1}} = \frac{50 \sqrt{B^3} l}{10^3 l_{\text{рв}}}$; $C_{\text{РН1}} = \frac{(37 B - 7) l}{10^3 l_{\text{РН}}}$; $C_{\text{МК1}} = (0,16 B + 0,02) l$; $C_{\text{ра}} = \frac{50 \sqrt{B^3} L_1 n}{10^3 l_{\text{рв}}}$; $C_{\text{РН}} = \frac{(37 B - 7) L}{10^3 l_{\text{РН}}}$; $C_{\text{МК}} = (0,16 B + 0,02) L$; $K_3 = 1,2 [C_{\text{рв}} C_{\text{рв}} + C_{\text{РН}} C_{\text{РН}} + C_{\text{МК}} C_{\text{МК}} + 2,05 \Pi_{\text{АН}} B l + n K_{\text{пр}} (C_{\text{пр}} C_{\text{пр1}} + C_{\text{рв1}} C_{\text{рв1}} + C_{\text{РН1}} C_{\text{РН1}} + C_{\text{МК1}} C_{\text{МК1}} + 2,05 \Pi_{\text{АТ}} B l)]$	$l_{\text{РН}} = 2,5$ м; $C_{\text{пр}} = 750$ руб; $C_{\text{ра}} = 540$ руб; $C_{\text{РН}} = 480$ руб; $C_{\text{МК}} = 350$ руб
9	$T_{\text{АН}} = \frac{48 L}{(160 K_{\text{пр}} \rho_a + L_1 n_r \sqrt{K_{\text{пр}} \rho_a} + 60) v m}$; $T_{\text{АТ}} = \frac{48 l}{(160 K_{\text{пр}} \rho_a + L_1 n_r \sqrt{K_{\text{пр}} \rho_a} + 60) v m}$	$K_{\text{пр}} = 1,2$; $m = T/T_{\text{Г}} \leq 1$
10	$\vartheta = \frac{C_{\text{рв}} C_{\text{рв}}}{T_{\text{рв}}} + \frac{C_{\text{РН}} C_{\text{РН}}}{T_{\text{РН}}} + 0,18 [C_{\text{МК}} C_{\text{МК}} + K_{\text{пр}} n (C_{\text{пр}} C_{\text{пр1}} + C_{\text{рв}} C_{\text{рв1}} + C_{\text{РН}} C_{\text{РН1}} + C_{\text{МК}} C_{\text{МК1}} + 2,05 \Pi_{\text{АТ}} B l)] + 24,6 B \left(\frac{\Pi_{\text{АН}} L}{T_{\text{АН}}} + \frac{\Pi_{\text{АТ}} l}{T_{\text{АТ}}} \right) + 0,0833 K_3 + 0,01 c_1 N n \eta_0 \eta_1 T + \frac{N n c_2}{0,9} + 1,523 n_{\text{см}} [C_{\text{оп}} + C_{\text{поп}} + C_3 \frac{L}{3000} + (C_{\text{с}} - C_{\text{р}}) \frac{L}{500} + C_{\text{рп}}]$	$T_{\text{рв}} = 4,8$ года; $T_{\text{РН}} = 2,5$ года; $c_1 = 0,4$ коп./кВт.ч; $c_2 = 18$ руб; $\eta_0 = 1,1$; $\eta_1 = 0,7$; $T = 5400$ ч; $n_{\text{см}} = 800$
11	$S = (\vartheta + 0,2 K_3) / T \theta$	

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев М.В., Волотевский В.С., Кармаев Г.Д. Конвейеры большой протяженности на открытых работах. М., Недра, 1977.
2. Васильев К.А., Юнгмейстер Д.А. Проблема создания многоприводных ленточных конвейеров с промежуточными вакуум-приводами. - Зап. ЛПИ, 1981, т. 88.
3. Гуленко Г.И., Орешкин В.А. Тенденция развития ленточных конвейеров специальных конструкций. - Промышленный транспорт, 1980, № 2.