

В.Ф. Монастырский, С.В. Монастырский, Л.А. Новиков

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена многокритериальная задача оптимизации конструкции загрузочных устройств ленточных конвейеров при нагружении их сыпным грузом.

Цель исследований: повысить эффективность работы ленточных конвейеров путем оптимизации срока службы конвейерной ленты при различных конструкциях загрузочных устройствах и условий их эксплуатации.

Решение задачи выполнялось в два этапа: оптимизация структурной схемы по критериям совершенства конструкции загрузочных устройств, при минимальной стоимости их изготовления и выбор наилучших вариантов решений с учетом критерия – разность скоростей груза и ленты в проекции на плоскость ее движения, при которой износ ленты и желоба будет минимальный. Установлено, что значение коэффициента совершенствования загрузочных устройств изменяется в пределах 0,86-0,88, а максимальный срок службы желоба в зависимости от типа загрузочного устройства и абразивности груза может изменяться в пределах от 8000 ч до 15000 ч.

Ключевые слова: конвейерная лента, загрузочное устройство, оптимизация, критерий, износ, горная масса.

Анализ исследований и публикаций. Вопросы оптимизации параметров загрузочных устройств подробно изложены в [1,2,3], в которой приведены уравнения цели по критериям производительности, силе взаимодействия груза с лентой, углу загрузки груза на ленту, геометрическим параметрам, а также ограничения области варьируемых параметров. Решение задачи оптимизации загрузочных устройств выполнено методом случайного поиска наилучших решений, позволяющим с минимальными затратами определить множество Парето. Однако выполненные исследования не учитывают структурной надежности загрузочного устройства и износа желоба под действием сыпного груза.

Постановка задачи оптимизации загрузочных устройств ленточных конвейеров представлена в следующем виде: горная масса из бункера пластинчатым питателем перегружается на приемный ленточный конвейер через загрузочное устройство, элементы которого, с точки зрения надежности, структурно

соединены причинно-логическими связями (без резервирования, с резервированием, переключением и другие). Под воздействием насыпного груза желоб загрузочного устройства подвергается износу на пути трения.

Цель исследований: повысить эффективность работы ленточных конвейеров путем оптимизации срока службы конвейерной ленты при различных конструкциях загрузочных устройств и условий их эксплуатации.

Содержание основного материала. Решение поставленной многокритериальной задачи выполнялось в два этапа. На первом этапе для оптимизации структурной схемы привлекались критерии технического совершенства конструкции (наиболее близкое соответствие конвейера мировым и отечественным стандартам) и минимальной стоимости $C_{заг}$ изготовления загрузочного устройства.

$$K_{nc} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k \frac{A_i}{M_{\alpha i}} \longrightarrow \max ; \quad (1)$$

$$C_{заг} \longrightarrow \min ,$$

где $A_i, M_{\alpha i}$ – соответственно значения i -го показателя работоспособности загрузочного устройства и базового (достигнутый уровень),

$K = 1, 2, 3 \dots$ - количество принятых показателей для определения коэффициента совершенствования конструкции,

$C_{заг}$ – стоимость изготовления загрузочного устройства.

Стоимость загрузочных устройств ленточных конвейеров принимали как сумму капитальных и эксплуатационных затрат, приходящихся на один год:

$$C_{год} = K_{кап} + \mathcal{E}_3, \quad (2)$$

где $K_{кап} = C_{заг} K_6 / K_{мс}$ – капитальные затраты;

$\mathcal{E}_3 = C_{заг} / T_{заг}$ - эксплуатационные затраты, которые определялись с учетом износа элементов загрузочных устройств под воздействием насыпного груза:

$K_6 = 0.15$ - коэффициента вложений;

$$T_{заг} = \frac{\delta_{жс} - [\delta_{жс}]}{3600 J V_{cp} \psi} - \text{ресурс загрузочного устройства};$$

$\delta_{жс}, [\delta_{\alpha}]$ - соответственно номинальная и допустимая толщины желоба с учетом его прочности;

J - интенсивность линейного износа материала желоба;

V_{cp} - средняя скорость движения груза по желобу;

ψ - коэффициент нагружения.

Ограничениями задачи оптимизации параметров загрузочного устройства являются:

$$\begin{aligned}
 Q_{\min} < Q_{\text{заг}} < Q_{\max}; \\
 V_{\min} < V_{\text{гр}} < V_{\max}; \\
 H_{\min} < H_{\text{гр}} < H_{\max}; \\
 C_{\max} \leq C_{\text{заг}} \leq C_{\min} \\
 D_{\min} \leq D \leq D_{\max} \\
 A_{\min} < A_{\text{к}} < A_{\max}, \\
 T_{\min} \leq T_{\text{заг}} \leq T_{\max}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

На рисунке 1 представлена структурная схема загрузочного устройства с различными причинно-логическими связями.

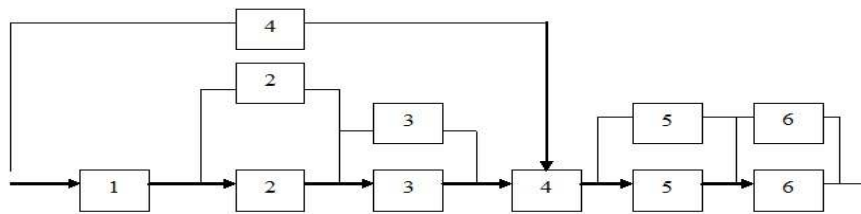


Рисунок 1 - Структурная схема загрузочного устройства. 1 – опорная металлоконструкция; 2 – упругие элементы, 3 – шарнирное закрепление, 4 – желоб, 5 – направляющие борта, 6 – резиновое ограждение

Варьируемыми параметрами принимались: Q_{\min} , Q_{\max} , V_{\min} , V_{\max} , H_{\min} , H_{\max} , C_{\max} , C_{\min} , D_{\min} , D_{\max} , T_{\min} , T_{\max} .

Значение коэффициента технического совершенства определяется с привлечением структурной схемы для $C_{\text{заг}} \rightarrow \min$ приведены на рисунке 2 и в таблице 1 для коэффициента «трудности» эксплуатации 150 и 117 баллов [3].

При этом для сравнительного анализа технического совершенства загрузочного устройства ленточных конвейеров отбирались следующие показатели надежности:

- наработка на отказ;
- вероятность безотказной работы в заданное время;
- интенсивность отказов;
- коэффициент готовности.

Значения показателей надежности принимали по результатам исследований эксплуатационной надежности [1], а базовые их значения – по достигнутому уровню отечественного и зарубежного опыта конвейеростроения [5,6]. Анализ полученных результатов (таблица 1) показал, что загрузочные устройства имеют $K_{\text{тс}} = 0,86...0,88$.

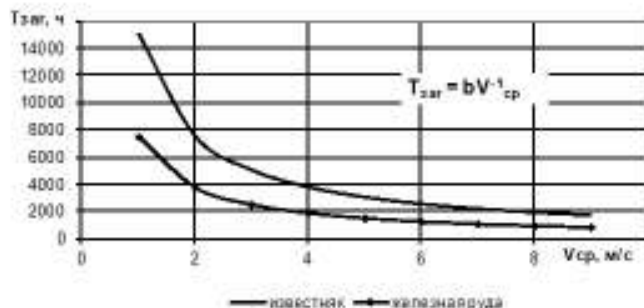


Рисунок 2 - Зависимости срока службы желоба загрузочного устройства от средней скорости движения насыпного груза

Задача оптимизации эксплуатационных затрат на поддержание желоба загрузочного устройства в работоспособном состоянии сводится к минимизации износа желоба под действием насыпного груза, который, разгружаясь с полотна питателя, движется равномерно ускоренно (замедленно) по желобу, истирая его на пути трения. Выбор наилучших вариантов конструкции загрузочного устройства в пункте перегрузки ленточного конвейера выполнялся в зависимости от средней скорости движения груза по желобу и вида груза (рисунок 2). При этом варьировали форму поперечного сечения желоба (прямоугольная, прямолинейная) и грансостав груза. Максимальный ресурс загрузочного устройства, соответствующего минимальному износу желоба при средней скорости движения груза 1 м/с составляет 8000-15000 часов, в зависимости от вида груза и криволинейного профиля желоба.

Критерием выбора наилучших решений при оптимизации срока службы конвейерной ленты в зависимости от конструкции загрузочного устройства была принята разность скоростей груза и ленты в проекции на плоскость ее движения, экономически целесообразное значение которой обеспечит минимальный износ ленты конвейера и желоба загрузочного устройства.

Выводы. Решена многокритериальная задача оптимизации параметров конструкции загрузочных устройств, при которых достигается экономически целесообразный срок службы конвейерной ленты и желоба загрузочного устройства.

Таблица 1

Значения показателей надежности загрузочных устройств ленточных конвейеров, эксплуатируемых в различных условиях

Наименование конвейера	Коэффициент трудности эксплуатации, балл										K _{тс}
	155					117					
	$\lambda_3 / \lambda_6 \cdot 10^{-4}$	H ₃ / H ₆	P ₁ / P ₆	K _{т1} / K _{т6}	m ₆ / m ₁	$\lambda_3 / \lambda_6 \cdot 10^{-4}$	H ₃ / H ₆	P ₁ / P ₆	K _{т1} / K _{т6}	m ₆ / m ₁	
ГЛК-2 фабрика 12	$\frac{0,85}{0,98}$	$\frac{7350}{8930}$	$\frac{0,65}{0,8}$	$\frac{0,92}{0,97}$	$\frac{1,94}{2,2}$						0,88
2К-1 ИнГОК						$\frac{1,3}{1,61}$	$\frac{3600}{5600}$	$\frac{0,72}{0,8}$	$\frac{0,96}{0,98}$	$\frac{1,75}{1,94}$	0,86
РЛК 1 фабрика 12	$\frac{1,3}{1,58}$	$\frac{6950}{8930}$	$\frac{0,65}{0,75}$	$\frac{0,9}{0,96}$	$\frac{1,94}{2,2}$						0,89
К 3 ЦГОК						$\frac{1,3}{1,6}$	$\frac{3690}{5600}$	$\frac{0,65}{0,8}$	$\frac{0,96}{0,98}$	$\frac{1,75}{1,94}$	0,86

Примечание: λ_i, λ_6 – соответственно интенсивность отказов по данным эксплуатации и базовое значение;

N_i, N_6 - соответственно наработка на отказ по данным эксплуатации и базовое значение;

P_i, P_6 - соответственно вероятность безотказной работы по данным эксплуатации и базовое значение;

$K_{гi}, K_{г6}$ - соответственно коэффициент готовности по данным эксплуатации и базовое значение;

m_i, m_6 - масса грузозахватного устройства и базовое значение;

$K_{тс}$ – значение коэффициента совершенства конструкции ленточного конвейера.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Монастырский В.Ф. Разработка методов и средств управления надежностью мощных ленточных конвейеров: дис... д-ра техн. наук: 05.05.06 / В.Ф. Монастырский. - Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины.1990.-345 с.
2. Кирия Р.В. Оптимизация параметров пассивных грузозахватных узлов ленточных конвейеров горных предприятий: Дис.... канд. техн. наук: 05.05.06.- Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины.2004.-205 с.
3. Монастырский С.В. Научное обоснование показателей качества ленточных конвейеров для адаптации их к различным условиям эксплуатации. Дис...канд. техн. наук: 05.05.06 /С.В. Монастырский.- Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. 2007.-190 с.
4. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий /В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко [и др.].- М.: Из-во МГГУ, 2005.-543 с.
5. Астафьев Н.П. Добыча полезных ископаемых за рубежом.- М.:Недра,1993.-237 с.

REFERENCE

1. Monastyrsky V.F. Development of methods and tools for managing the reliability of powerful belt conveyors: dis ... dr. Tech. Sciences: 05.05.06 / V.F. Monastyrsky.- Dnepropetrovsk: IGTM NAS of Ukraine. 1990.-345 p.
2. Kiria R.V. Optimization of parameters of passive boot nodes of belt conveyors of mining enterprises: Dis ... Cand. tech. Sciences: 05.05.06.- Dnepropetrovsk: IGTM NAS of Ukraine. 2002.-205 p.
3. Monastyrsky S.V. Scientific substantiation of quality indicators of belt conveyors to adapt them to different operating conditions. Dis ... Cand. tech. Sciences: 05.05.06 /S.V. Monastyrsky.- Dnepropetrovsk: IGTM NASU.2007.-190p.
4. Modern theory of belt conveyors of mining enterprises / V.I. Galkin, V.G. Dmitriev, V.P. Dyachenko [et al.] .- M .: From-to MGGU, 2005.-543 p.
5. Astafyev N.P. Mining operations abroad. - M .: Nedra, 1993.- 237 p.

Received 25.02.2019.

Accepted 01.03.2019.

Оптимізація конструкції завантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів

Мета досліджень: підвищити ефективність роботи стрічкових конвеєрів шляхом оптимізації терміну служби конвеєрної стрічки при різних конструкціях завантажувальних пристроїв і умов їх експлуатації.

Питання оптимізації параметрів завантажувальних пристроїв детально викладені в [1], в якій наведено рівняння мети за критеріями продуктивності, силі взаємодії вантажу зі стрічкою, кутку завантаження вантажу на стрічку, геометричним параметрам, а також

обмеження області варіюваних параметрів. Рішення задачі оптимізації завантажувальних пристроїв виконано методом випадкового пошуку найкращих рішень, що дозволяє з мінімальними витратами визначити безліч Поретта. Однак, виконані дослідження не враховують структурної надійності завантажувального пристрою і зносу жолоба під дією насипного вантажу.

У цій статті розглянуто багатокритеріальна задача оптимізації конструкції завантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів при навантаженні їх насипним вантажем. Рішення завдання виконувалося в два етапи: оптимізація структурної схеми за критеріями досконалості конструкції завантажувальних пристроїв, при мінімальній вартості їх виготовлення і вибір найкращих варіантів рішення з урахуванням критерію - різниця швидкостей стрічки і вантажу в проекції на площину її руху при якій знос стрічки мінімальний. Встановлено, що значення коефіцієнта досконалості завантажувальних пристроїв змінюються в межах 0,86-0,88, а мінімальний термін служби стрічки в залежності від типу застосовуваних завантажувальних пристроїв, довжини конвеєра і абразивності матеріалу - в межах від 2000 до 12000 годин.

Вирішено багатокритеріальна задача оптимізації параметрів конструкції завантажувальних пристроїв різного типу, при яких в промислових умовах досягається максимальний термін служби конвеєрної.

Optimization of loading constructions belt conveyor devices

The purpose of research: to improve the efficiency of belt conveyors by optimizing the service life of the conveyor belt for various designs of loading devices and their operating conditions.

The issues of optimizing the parameters of loading devices are described in detail in [1], in which the equations of the goal are given in terms of performance criteria, the strength of the interaction of the load with the belt, the loading angle of the load on the tape, geometric parameters and the limitations of the range of variable parameters. The solution to the problem of optimizing loading devices is performed by randomly searching for the best solutions, which allows determining the Pareto set at minimal cost. However, the studies performed do not take into account the structural reliability of the loading device and the chute wear under the action of bulk cargo.

This article discusses the multi-criteria task of optimizing the design of the loading devices of belt conveyors when loaded with bulk cargo. The solution of the task was carried out in two stages: optimization of the structural scheme according to the criteria of perfect construction of loading devices at the minimum cost of their manufacture and selection of the best options, taking into account the criterion - the difference between the speeds of the load the tape and projected onto its plane of movement at which the tape wear is minimal. It is established that the values of the coefficient of perfection of loading devices vary within 0,86-0,88, and the minimum service life of the chute, depending on the type of loading and the abrasiveness of bulk cargo ranges from 2000 to 12000 hours.

The multi-criteria problem of optimizing the design parameters of various types of loading devices has been solved, under which the economically viable service life of a conveyor and chute of loading device.

Монастирський В.Ф. - старший науковий співробітник ІГТМ НАН України.

Монастирський С.В. - молодший науковий співробітник ІГТМ НАН України.

Новіков Л.А. - молодший науковий співробітник ІГТМ НАН України.

Монастырский В.Ф. - старший научный сотрудник ИГТМ НАН Украины.

Монастырский С.В. - младший научный сотрудник ИГТМ НАН Украины.

Новиков Л.А. - молодший научный сотрудник ИГТМ НАН Украины.

Monastyirskiy V.F. - senior scientific scholar IGTM NAS of Ukraine.

Monastirskiy S.V. - the youngest on the science school IGTM NAS of Ukraine.

Novikov L.A. - the youngest scientific employee IGTM NAS of Ukraine.