

УДК 622.61

А.Я. Грудачев, канд. техн. наук, проф.,
Н.В. Хиценко, канд. техн. наук, доц.,
А.В. Лавшонок, канд. техн. наук, доц.,
Донецкий национальный технический университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НА ПРИМЕНИМОСТЬ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ

Выполнена оценка влияния неточностей технического задания и неопределенности коэффициентов тягового расчета ленточного конвейера на результирующее значение коэффициента запаса прочности ленты. Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность расчета.

ленточный конвейер, тяговый расчет, коэффициент запаса прочности, конвейерная лента, моделирование

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Важным условием эффективной работы угледобывающих предприятий является снижение затрат на конвейерный транспорт при обеспечении высокого уровня безопасности и надежности функционирования. Наиболее дорогостоящим и быстро изнашиваемым элементом конструкции ленточного конвейера является лента. Как следствие, правильный выбор конвейерной ленты позволяет существенно снизить капитальные затраты. Таким образом, совершенствование методик тяговых расчетов ленточных конвейеров является актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций. Разработке и уточнению методик тягового расчета ленточных конвейеров посвящено большое количество работ [1-3]. Не смотря на более полное раскрытие физики процесса формирования сил сопротивления движению ленты в более поздних работах [2], практическое применение этих математических моделей и результатов затруднительно ввиду большого числа параметров, требующих экспериментальной оценки. В результате отраслевым стандартом [4] закреплена как норматив наиболее простая методика, основанная на применении общего коэффициента сопротивления движению ленты. Критерием применимости ленты является достаточное значение коэффициента запаса ее прочности. Вместе с тем, существующие методики тяговых расчетов содержат ряд параметров, для которых в справочной литературе приводятся диапазоны возможных значений. Также определенную погрешность

имеют данные технического задания (опросного листа) на выбор ленты.

Постановка задачи. Таким образом, целью работы является оценка влияния вариации исходных данных и принятых параметров на значение коэффициента запаса прочности ленты, определяемое в результате тягового расчета ленточного конвейера.

Изложение материала и результаты.

Анализ случайных факторов.

Факторы, влияющие на результаты тягового расчета ленточного конвейера, могут быть объединены в следующие группы:

I. Неточные данные технического задания:

- длины и углы наклона участков трассы;
- параметры расчетного грузопотока (определяют расчетную погонную массу груза на ленте);
- состояние рабочей зоны конвейерной установки: степень загрязненности, качество монтажа и обслуживания (влияет на коэффициент сопротивления движению ленты).

II. Неопределенность расчетных коэффициентов:

- коэффициента сопротивления движению ленты;
- коэффициентов местных сопротивлений движению ленты;
- коэффициента сцепления ленты с приводным барабаном.

III. Факторы, изменяющиеся в процессе эксплуатации:

- техническое состояние става и роликов (влияет на коэффициент сопротивления движению ленты);
- ширина ленты (значительное истирание бортов ленты приводит к повреждению каркаса и снижению ее прочности);
- длина транспортирования и грузопоток (в случае переоснащения, ввода в эксплуатацию или завершения работы находящихся выше в транспортной цепочке забоев).

IV. Отклонения в реализации проекта, проявляющиеся в принятии не соответствующих проекту:

- типа ленты (другая погонная масса при той же прочности);
- схемы заводки ленты на приводных барабанах (отклонения углов охвата);
- двигателя и редуктора (отклонения скорости движения ленты);
- параметров и типа натяжного устройства (действительное натяжное усилие, его стабильность в процессе работы конвейера при изменении нагрузки и вытяжке ленты).

Методика оценки влияния вариации параметров на коэффициент запаса прочности ленты.

Для исследования влияния случайных факторов на результат расчета коэффициента запаса прочности ленты был использован метод Монте-Карло. При этом были выделены следующие случайные параметры: расчетная производительность Q ; длина трассы конвейера L (расстояние между осями концевой и разгрузочной барабанов); средний угол транспортирования β ; скорость движения ленты V ; коэффициент сопротивления движению ленты ω' ; массы вращающихся частей роlikоопор на рабочей и холостой ветви $m_{ргр}$ и $m_{рпор}$; удельная масса ленты $q'_л$; угол охвата лентой приводных барабанов α ; коэффициент сцепления ленты с приводным барабаном μ ; коэффициент местных сопротивлений движению ленты на обводном барабане K_m . В первом приближении приняты нормальные законы распределения перечисленных случайных величин.

Исследования выполнялись согласно следующей методике:

1. Генерирование выборок перечисленных выше случайных величин, задающих условия работы и параметры конвейерной установки. Для моделирования использовалась формула Бокса-Мюллера [5], согласно которой i -тое случайное значение параметра x рассчитывалось по зависимости:

$$x_i = M(x) - 2S(x) \ln r_i \cos(2\pi r_i),$$

где $M(x)$, $S(x)$ - математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение параметра x ; r_i - i -тое значение случайной величины, равномерно распределенной в диапазоне $[0; 1]$.

2. Расчет выборки значений коэффициента запаса прочности ленты согласно методике тягового расчета [1]. В контуре ленты были выделены характерные точки (рис. 1).

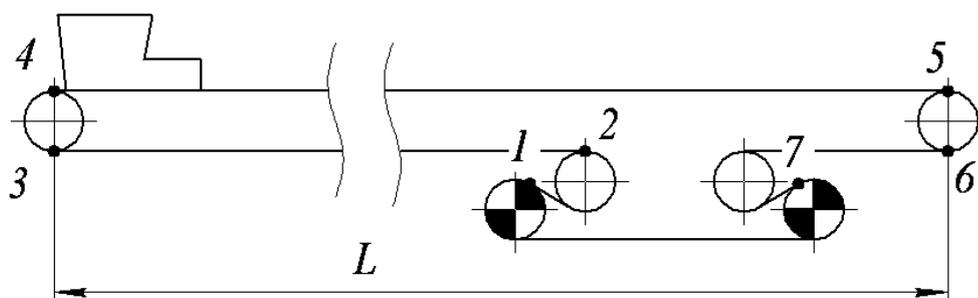


Рисунок 1 – Расчетная схема конвейера

Методом обхода по контуру получено выражение для расчета коэффициента запаса прочности ленты:

$$m = S_p / \max[S_{\max 1}, S_{\max 2}],$$

где S_p - разрывное усилие ленты; $S_{\max 1}, S_{\max 2}$ - максимальные натяжения в контуре ленты при тяговом расчете по условиям отсутствия пробуксовки на приводных барабанах и допустимому провесу между роlikоопорами на рабочей ветви ленты соответственно, определяются из соотношений

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{\text{нор}} = Lg \left[\left(q'_l B + \frac{m_{\text{пор}}}{l_{\text{пор}}} \right) \omega' \cos \beta - q'_l B \sin \beta \right]; \\ W_{\text{зр}} = Lg \left[\left(\frac{Q}{3.6V} + q'_l B + \frac{m_{\text{зр}}}{l_{\text{зр}}} \right) \omega' \cos \beta + \left(\frac{Q}{3.6V} + q'_l B \right) \sin \beta \right]; \\ S_{\max 1} = \frac{1,2(W_{\text{зр}} + W_{\text{нор}})K_m^4}{e^{\mu\alpha} - 1} + W_{\text{нор}}K_m^3 + W_{\text{зр}}K_m^2; \\ S_{\max 2} = \left[5 \left(\frac{Q}{3.6V} + q'_l B \right) l_{\text{зр}} g + W_{\text{зр}} \right] K_m^2, \end{array} \right.$$

где $W_{\text{зр}}, W_{\text{нор}}$ - сопротивления движению грузовой и порожней ветвей конвейера; $l_{\text{зр}}, l_{\text{пор}}$ - шаги установки роlikоопор на грузовой и порожней ветвях соответственно.

Полученная стохастическая модель имеет аддитивно-мультипликативный тип с наличием экспоненциальной и тригонометрических функций случайных величин. Поэтому аналитическое решение задачи поиска вида и параметров закона распределения коэффициента запаса прочности ленты затруднительно.

3. Статистическая обработка полученной выборки с построением гистограммы распределения плотности вероятности коэффициента запаса прочности ленты. Рассчитывается вероятность того, что лента имеет достаточную прочность:

$$p = N(m \geq [m]) / N,$$

где $N(m \geq [m])$ - количество значений коэффициента запаса прочности не менее допускаемого $[m]$ согласно [4]; N - объем выборки.

Анализ результатов моделирования.

Согласно разработанной методике был выполнен анализ влияния вариации параметров технического задания и расчетных коэффициентов на результаты расчета коэффициента запаса прочности ленты для типичных условий эксплуатации конвейера 2Л100У при уклонной (вариант 1) и горизонтальной (вариант 2) установке (см. табл. 1). В таблице указаны математические ожидания $M(x)$ и среднеквадратические отклонения $S(x)$ случайных параметров.

Таблица 1 – Исходные данные для тягового расчета конвейера

Параметр (x)	Q , т/ч	β , град	L , м	V , м/с	ω , град	$m_{\text{пер}}$, кг	$m_{\text{пор}}$, кг	$q_{\text{л}}'$, кг/м ²	α , град	μ	K_m
---------------------	--------------	-------------------	---------	--------------	--------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------------------	--------------------	-------	-------

Вариант 1 (уклонная установка, лента ШР-1000/5-ЕР-200-4.0/2.0-ТГ)

$M(x)$	300	14	720	2.5	0.03	20.7	21.5	17.8	440	0.3	1.04
$S(x)$	10	0.3	5	0.04	0.003	0.3	0.3	0.3	5	0.015	0.003

Вариант 2 (горизонтальная установка, лента ШР-1000/3-ЕР-200-4.0/2.0-ТГ)

$M(x)$	850	0	1000	2.5	0.03	20.7	21.5	15.6	440	0.3	1.04
$S(x)$	10	0.3	5	0.04	0.003	0.3	0.3	0.3	5	0.015	0.003

Гистограммы распределения вероятности коэффициента запаса прочности ленты для двух рассмотренных вариантов приведены на рис. 1.

Максимальные снижения коэффициента относительно средних значений составляли для уклонного и горизонтального конвейеров соответственно 17,5 % и 42,5 %. Как видно из гистограмм, в каждом из рассмотренных случаев возможны сочетания значений параметров, при которых в результате тягового расчета можно сделать вывод, что принятая к расчету лента имеет как достаточную, так и недостаточную прочность. Вероятность получения допустимых значений коэффициента запаса прочности составила соответственно 8,3 % и 91,7 %. В первом случае применение ленты недопустимо без изменения средних значений параметров расчета, а, следовательно, и конструкции конвейера. Путем снижения неопределенности параметров (уточнения значений) можно сужать разброс значений коэффициента запаса прочности, повышая таким образом вероятность получения его допустимых значений.

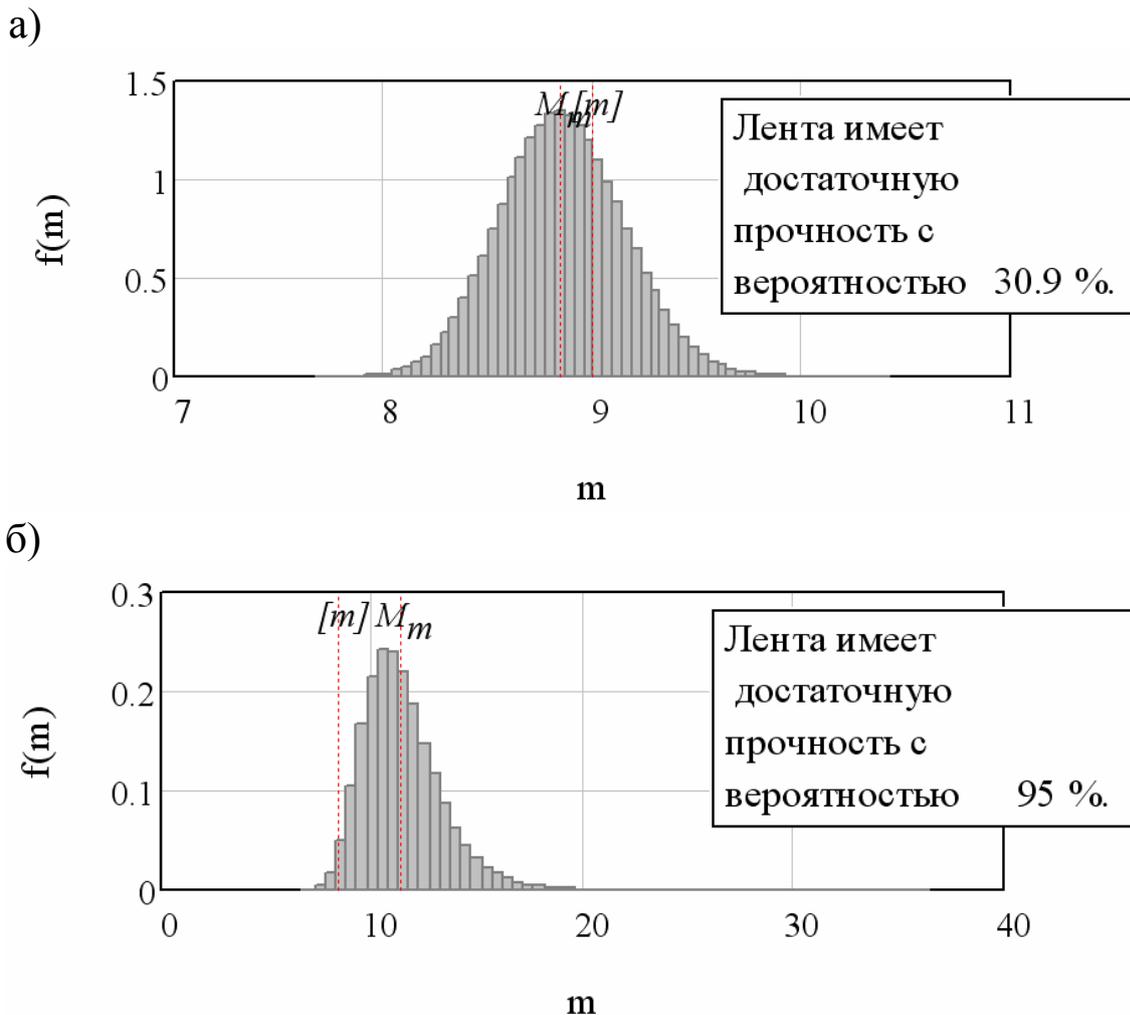


Рисунок 1 – Распределение коэффициента запаса прочности ленты уклонного (а) и горизонтального (б) конвейера

На рис. 2 приведена диаграмма, отражающая влияние вариации отдельных параметров на результат расчета коэффициента запаса прочности ленты.

На диаграмме приведены значения максимального снижения значений коэффициента относительно среднего по выборке значения в случае вариации каждого параметра расчета согласно табл. 1 при постоянных значениях остальных параметров. Очевидно, для уклонной установки наибольшее влияние имеет вариация грузопотока и угла установки конвейера. Вариацией значений массы вращающихся частей роlikоопор, угла охвата и коэффициента сцепления ленты с приводным барабаном можно пренебречь. В случае горизонтальной установки конвейера значительно возрастает влияние коэффициента сопротивления движению ленты и угла установки конвейера. Также значительное влияние оказывает коэффициент сцепления ленты с приводным барабаном.

а)



б)



Рисунок 2 - Влияние вариации отдельных параметров на результат расчета коэффициента запаса прочности ленты для уклонного (а) и горизонтального (б) конвейера

Выводы и направление дальнейших исследований. Неточности технического задания и расчетных коэффициентов приводят при расчете ленточных конвейеров к существенным погрешностям, особенно для горизонтальных установок. (в рассмотренных расчетных случаях для уклонного конвейера 17,5 %, а для горизонтального – 42,5 %), что необходимо учитывать в инженерных расчетах. Критерием применимости принятой к расчету ленты в заданных условиях должна быть вероятность, с которой коэффициент запаса прочности ленты принимает допустимые значения. Для уклонного конвейера наибольшее влияние на точность расчета коэффициента запаса прочности ленты оказывают угол установки конвейера и величина грузопотока. В случае горизонтальной установки значительно возрастает влияние коэффициента сопротивления движению ленты и угла установки конвейера.

Список літератури

1. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1983. -504 с.
2. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров: 2-е изд., перераб. и доп. / Л.Г.Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987.– 336 с.
3. Комарова Н.В. Алгоритм расчета ленточного конвейера на ЭВМ / Н.В. Комарова // Шахтный и карьерный транспорт. – 1983. – Вып. 8. - С.50-52.
4. Конвеєри шахтні стрічкові. Вимоги до проектування, монтажу, технічного обслуговування та ремонту / Стандарт Мінвуглепрому України СОУ 10.1.00185790.004-2006. – К.: Мінвуглепром України, 2006. - 90 с.
5. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський. – К.: Вид. група ВНУ, 2005. – 352 с.

А.Я. Грудачев, М.В. Хиценко, А.В. Лавшонок. Оцінка впливу варіації параметрів на застосовність конвеєрної стрічки. Виконана оцінка впливу неточностей технічного завдання і невизначеності коефіцієнтів тягового розрахунку стрічкового конвеєра на результуюче значення коефіцієнта запасу міцності стрічки. Виявлені чинники, що роблять найбільший вплив на точність розрахунку.

стрічковий конвеєр, тяговий розрахунок, коефіцієнт запасу міцності, конвеєрна стрічка, моделювання

A. Grudachev, N. Khitsenko, A. Lavshonok. Estimation of the Influence of Parameters Variation on Conveyor Belt Applicability. The estimation of the influence of discrepancies of the technical project and the uncertainty of the factors of traction calculation of the belt conveyor on the resultant value of safety factor of the belt is carried out. The factors making the greatest impact on the accuracy of calculation are revealed.

belt conveyor, traction calculation, safety factor, conveyor belt, modelling

Стаття надійшла до редколегії 04.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.О. Подкопаєв

© Грудачев А.Я., Хиценко Н.В., Лавшонок А.В., 2010