

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПРИВОДНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ И СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

Ткачук А.Н., ст. преп. Жаботин А.А.

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина

E-mail: TSL10@yandex.ru

Рассмотрены особенности работы приводных электродвигателей ленточных и скребковых конвейеров большой длины при неравномерной нагрузке на валу.

Ключевые слова: гранулометрический состав, насыпная плотность, перегрузочная способность.

Введение. Современный этап развития горнодобывающей промышленности характеризуется повышением роли транспорта. Из средств транспорта массовых насыпных грузов чаще отдается предпочтение машинам непрерывного действия, которые в сравнении с циклично действующими средствами транспорта обладают целым рядом преимуществ, таких как возможность длительного бесперегрузочного транспортирования, сохранение сортности и качества груза; широкая возможность автоматизации, вплоть до создания «безлюдного транспорта»; малая трудоемкость и удобство обслуживания; сравнительная простота и надежность конструкций и др.

Объединение ленточных и скребковых конвейеров в горнодобывающей промышленности в комплексно-механизированные технологические системы с другим оборудованием повышает требования, предъявляемые к надежности и долговечности элементов их конструкций. Решение данной задачи невозможно без повышения надежности их приводных электродвигателей. Как показывает практика, в настоящее время увеличилось количество отказов, приводящих весь электродвигатель в неремонтпригодное состояние, а именно, разрушение обмотки ротора (рис. 1).

Традиционно считается, что причинами этого отказа являются либо неправильная эксплуатация конвейера, либо брак при изготовлении двигателя. Однако частота его возникновения позволяет предположить, что существуют дополнительные причины выхода из строя приводных электродвигателей, которые, вероятно, связаны с изменившимися условиями эксплуатации конвейерных установок. В частности, в настоящее время наметилась устойчивая тенденция к увеличению длин и производительностей отдельных конвейеров.

Анализ предыдущих исследований. Обзор и анализ существующих литературных источников позволяет сформулировать вопросы, посвященные изучению работы приводных электродвигателей конвейерных установок, в числе которых:

- время пуска конвейера;
- пуск с постоянным моментом;
- пуск с линейно возрастающим моментом;
- выбор закона управления электроприводом;
- тепловые режимы приводных электродвигателей при пуске [2–5].

Анализа влияния длины конвейера и его фактической загрузки на работу приводного электродвигателя в установившемся режиме не выявлено. Но предварительные исследования показывают, что при расчетах конвейерных установок большой длины необходимо учитывать вероятностный характер насыпной плотности груза на несущем органе.



Рисунок 1 – Примеры выплавления обмотки ротора

Например, для каменного угля, значение насыпной плотности даётся в диапазоне ($\gamma = 0,65 : 0,8$) т/м³. Согласно методики расчета конвейеров [1, 2], погонная масса каменного угля также будет колебаться в диапазоне

$$q = g \cdot F = (0,65 \div 0,8) \cdot F, \frac{\text{т}}{\text{м}}$$

где F – площадь поперечного сечения струи материала, м².

Мгновенное значение массы угля на ленте $q_{\text{мгн}}$ рассчитывается по формуле

$$q_{\text{мгн}} = g \cdot F \cdot L, \text{ т}$$

где L – длина конвейера, м.

Интервал расхождения мгновенных значений массы угля на ленте

$$\Delta q_{\text{мгн.}} = \Delta g \cdot F \cdot L, \text{ т.}$$

Очевидно, что разброс значений насыпной плотности с увеличением длины конвейера может привести к существенным расхождениям в значениях его расчётных параметров.

Известно, что насыпная плотность:

$$g = K_p \cdot r,$$

где K_p – коэффициент разрыхления; r – плотность в целике, т/м³.

В настоящее время известно, что коэффициент разрыхления насыпного груза является функцией размеров его частиц [1, 2], количественной оценки коэффициента разрыхления транспортируемого груза не проводилось.

Кроме того, обзор основных групп общепромышленных приводных механизмов показывает, что в настоящее время существует следующая классификация их режимов работы – жесткая, экскаваторная и вентиляторная [6–8]. Анализ условий эксплуатации приводов горных машин показал, что данной классификации недостаточно для описания их режимов работы. Приводные электродвигатели горношахтного оборудования имеют жесткую характеристику с частыми набросами нагрузок.

Цель работы. Выявление особенностей работы конвейерных установок, вызванных увеличением длины и производительности, приводящих к выходу из строя их приводных электродвигателей.

Материал и результаты исследований. Известно, что насыпная плотность:

$$g = K_p \cdot r,$$

где K_p – коэффициент разрыхления; r – плотность в целике, т/м³.

Современные исследования показали, что коэффициент разрыхления свободно насыпанного груза является функцией размеров его частиц [1, 2]:

$$K_p = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_i),$$

где A_i – размеры частиц насыпного груза.

Для оценки влияния размера i -й частицы на величину K_p построим модель «идеального» насыпного груза на ленте конвейера. При построении данной модели приняты следующие допущения:

1) известно, что форма верхней части насыпного груза имеет вид, близкий к параболическому сегменту. При этом для удобства расчетов производительности конвейера, поперечного сечения груза на ленте, параболический сегмент заменяется треугольником [2]. Поэтому, в модели насыпного груза на ленте так же можно представить его поперечное сечение в виде многоугольника (рис. 2).

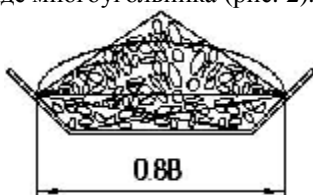


Рисунок 2 – Насыпной груз на желобчатой ленте

Любой многоугольник всегда можно представить как сумму треугольников (рис. 2). Поэтому в качестве расчетной схемы для определения K_p можно принять треугольное сечение груза на ленте.

2) В настоящее время при проверке ленты по кусковатости считают, что груз имеет форму эллипса. Кроме того, в результате вибраций груз занимает горизонтальное положение, как наиболее устойчивое [2], т.е. достаточно оснований принять, что частица груза имеет форму эллипса, который лежит на ленте горизонтально (рис. 3).

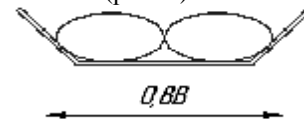


Рисунок 3

Таким образом, на первом этапе в качестве объекта исследований принята модель «идеального» насыпного груза, состоящего из частиц одного размера эллиптической формы, лежащих горизонтально и занимающих треугольное сечение на ленте конвейера.

При этом, для «идеального» груза коэффициент разрыхления:

$$K_p = \frac{F_{gp}}{F_{\Delta}},$$

где F_{gp} – площадь груза на ленте; F_{Δ} – площадь поперечного сечения ленты (согласно допущений-треугольника).

В данной модели поперечное сечение груза представлено в виде равнобедренного треугольника с вписанными в него эллипсами одинакового размера (рис. 4).



Рисунок 4

В результате поворота плоскости вокруг оси OX, проходящей через основание треугольника, можно получить равнобедренный треугольник с вписанными окружностями (рис. 5).

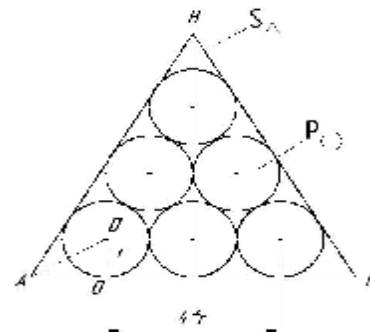


Рисунок 5

При этом, как известно, отношения площадей фигур при данном преобразовании пространства сохраняются [10]:

$$\frac{\sum P_i}{S_{\Delta}} = \frac{\sum P_0}{S_{\Delta}} = const ,$$

где S_{Δ} – площадь треугольника;

$\sum P_i$ – сумма площадей эллипсов;

$\sum P_0$ – сумма площадей окружностей.

Тогда K_p можно представить как

$$K_p = \frac{\sum P_0}{S_{\Delta}}$$

Путем геометрических расчетов площадей получаем (рис. 5):

$$K_p(n) = \frac{p}{2\sqrt{3}} \frac{n^2 + n}{n^2 + 1.46n + 0.73} \quad (1)$$

где K_p – коэффициент разрыхления; n – количество вписанных окружностей, расположенных параллельно одной стороне треугольника и имеющих (каждая) одну точку касания с этой стороной;

При этих

$$n = \frac{0,8 \cdot B}{2 \cdot r} , \quad (2)$$

где B – ширина ленты, м.

В результате подстановки (2) в (1) получаем:

$$K_p(r) = \frac{p}{2\sqrt{3}} \frac{0,64 \cdot B^2 + 1,6 \cdot B \cdot r}{0,64 \cdot B^2 + 2,34 \cdot B \cdot r + 2,92 \cdot r^2} \quad (3)$$

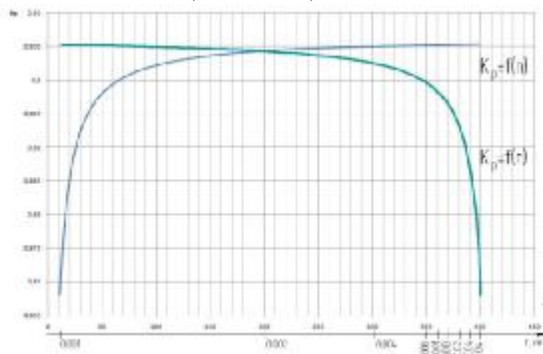


Рисунок 6 – График зависимости

$$K_p = f(n) \text{ и } K_p = f(r)$$

При этом:

$$K_p(n)|_{n=1} = 0,5672$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} K_p(n) = 0,9054$$

Таким образом, для «идеального» насыпного груза получено однозначное соответствие K_p значению n и r , т.е. K_p полностью определяется размерами частиц и для «идеального» насыпного груза находится в диапазоне $K_p = 0,5672 \div 0,9054$. Данная оценка значения K_p справедлива для любых насыпных грузов.

При этом n – дискретная величина, является скачкообразной, «скачки» которой уменьшаются с уменьшением фракции груза. Анализ зависимости при больших значениях r (рис. 7) показал, что при расчете K_p для мелкокусковых грузов

($n \geq 18$; $r \leq 0,022$ м) функцию $f(n(r))$ можно считать непрерывной.

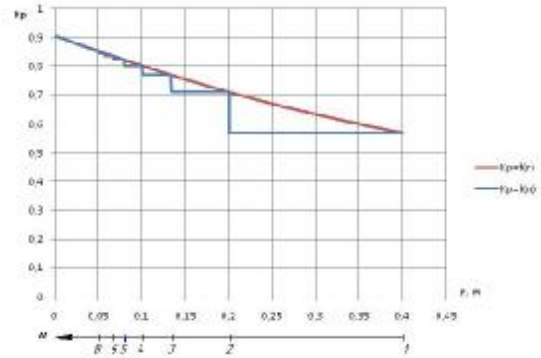


Рисунок 7 – Графики $K_p = f(n)$ и $K_p = f(r)$ в зависимости от размера

K_p является сложной функцией $f(n(r))$. Для крупнокусковых грузов ($n \leq 18$; $r \geq 0,022$ м), необходимо учитывать дискретный характер $f(n(r))$ (рис. 7).

Так как модель «идеального» насыпного груза на ленте конвейера позволяет оценить влияние размера частиц на коэффициент разрыхления, то для грузов с частицами разной фракции K_p можно определить по следующей методике:

$$K_{p\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} K_{p_i} \cdot p_i}{100} , \quad (4)$$

где K_{p_i} – коэффициент разрыхления, для частиц одинаковой фракции, определяемый по формулам (1), (2); p_i – процентное содержание фракции.

Экспериментальная проверка подтвердила адекватность разработанной модели [12].

Так как размер частиц транспортируемого груза является случайной величиной, то значение коэффициента разрыхления тоже имеет вероятностный характер. Таким образом, значение насыпной плотности транспортируемого груза так же будет колебаться в диапазоне.

Тяговое усилие конвейера можно определить по формуле (1):

$$W_0 = \{[(q + q_{\varepsilon} + q'_p)w' \cdot \cos \beta \pm (q + q_{\varepsilon}) \sin \beta] + [(q_{\varepsilon} + q''_p)w' m_{q_{\varepsilon}} \sin \beta]\} \cdot K \cdot g \cdot L, \hat{\varepsilon} \quad (5)$$

где q_L – погонная масса ленты, кг/м; q'_p, q''_p – погонная масса роликов грузовой и порожней ветвей; w' – коэффициент сопротивления движению ленты; K – коэффициент местных сопротивлений; L – длина конвейера; β – угол наклона конвейера.

Погонная масса груза [1, 2]:

$$q = F \cdot g = F \cdot r \cdot K_p , \text{ кг/м} ,$$

где F – поперечное сечение груза на ленте конвейера; r – плотность груза в целике, т/м³; g – насыпная плотность, т/м³; K_p – коэффициент разрыхления.

Из (5) получаем:

$$W_0 = (K_p \cdot a + b) K_M \cdot g \cdot L , \quad (6)$$

где $a = F \cdot g \cdot (w' \cdot \cos b \pm \sin b)$;

$$b = 2 \cdot q_0 \cdot w'' \cdot \cos b -$$

для ленточных конвейеров;

$$b = w' \cdot \cos b \cdot (2 \cdot q_{л} + q_p' + q_p'');$$

$$a = F \cdot g \cdot (w' \cdot \cos b \pm \sin b) -$$

для скребковых конвейеров.

Установочная мощность привода конвейера:

$$N_{уст} = K_M \frac{W_0 v}{1000 \cdot h}, \quad (7)$$

где K_M – коэффициент запаса мощности.

В результате подстановки (6) в (7) получаем:

$$N_{\dot{\alpha}\dot{\beta}\dot{\gamma}} = K_M \frac{(K_p \cdot a + b) \cdot g \cdot L \cdot v}{1000 \cdot \eta} =$$

$$= \frac{K_M \cdot b \cdot g \cdot L \cdot v}{1000 \cdot \eta} + \frac{K_M \cdot K_p \cdot a \cdot g \cdot L \cdot v}{1000 \cdot \eta}.$$

Коэффициент разрыхления находится в диапазоне $K_p = 0,5672 \dots 0,9054$, откуда:

$$N_{уст} = (N_0 + [0,5672 \dots 0,9054] \cdot N) \cdot L,$$

где N_0 – мощность холостого хода;

Таким образом, при колебании значения коэффициента разрыхления насыпного груза будет меняться значение потребляемой мощности приводного двигателя.

Диапазон колебания потребляемой мощности двигателя (без учета K_M):

$$\Delta N_{потр} = [(N_0 + K_{p \max} \cdot N) - (N_0 + K_{p \min} \cdot N)] \cdot L$$

Зависимость $N = f(L)$ (при различных значениях K_p) на примере ленточного конвейера типа КЛС-1600, установленного на Авдеевском КХЗ, представлен на рис. 8.

Анализ данной зависимости позволяет сделать вывод, что при увеличении длины конвейера увеличивается диапазон колебаний потребляемой мощности приводного двигателя (рис. 8) и при определённой длине конвейера ($L_{крит}$) значения коэффициента запаса мощности, применяемого при расчёте установочной мощности (K_M), может оказаться недостаточным. При этом, чем больше ширина ленты, тем меньше значение $L_{крит}$.

Следовательно, при длине конвейера больше критической ($L_{крит}$) приводной двигатель может быть перегружен.

Многочисленные исследования фактических грузопотоков и гранулометрических составов насыпных грузов [9] показали, что данные параметры являются случайными величинами. При этом можно утверждать, что генеральные совокупности их значений имеют нормальный закон распределения.

Следовательно, погонные нагрузки и необходимые мощности приводных двигателей так же имеют случайный характер с нормальным законом распределения.

Одни из таких законов распределения погонной нагрузки на тяговый орган, полученные для магистрального ленточного конвейера КЛМ-1,2-800-2М, установленного на Южном карьере ОАО «Комсомольское рудоуправление», изображены на рисунке 9 [9, 11].

Анализ этих и аналогичных законов распределения показывает, что разбросы значений оказываются

выше при расчете нагрузки с учётом вероятностного характера насыпной плотности транспортируемого груза, однако средние значения её расчетных величин практически совпадают. Очевидно, что с увеличением длины конвейера выявленный эффект должен усиливаться.

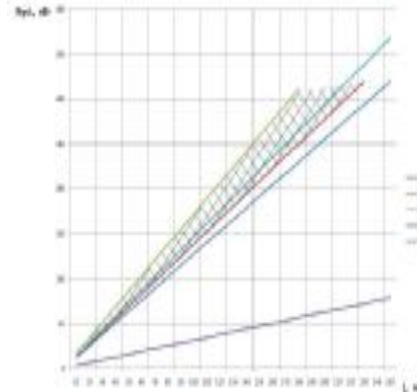


Рисунок 8 – Графики зависимостей $N = f(L)$ при различных значениях K_p для конвейера КЛС-1600, где: 1 – потребляемая мощность при табличном значении насыпной плотности; 2 – потребляемая мощность при $K_{p \min}$; 3 – потребляемая мощность при $K_{p \max}$; 4 – мощность холостого хода; 5 – установочная мощность при табличном значении насыпной плотности

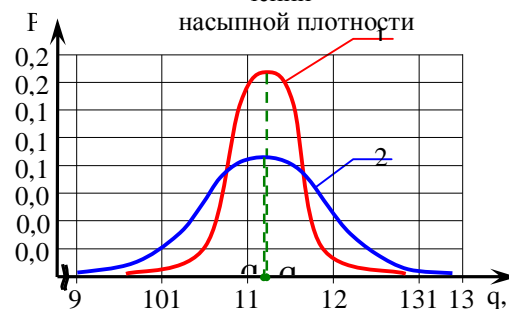


Рисунок 9 – Законы распределения погонной нагрузки на тяговый орган 1 – на основании данных посменной производительности конвейера; 2 – при учете гранулометрического состава транспортируемого груза

Таким образом, величина мощности привода конвейера, полученная с использованием средних значений входных параметров совпадает с математическим ожиданием мощности при вероятностном расчете. Но при увеличении длины конвейерной установки растет интервал разброса значений необходимой мощности привода.

Таким образом, для конвейеров с длинами $L \geq L_{крит}$ при расчёте потребляемой мощности двигателя необходимо учитывать неравномерность гранулометрического состава и применять электродвигатели специальной конструкции, обладающие повышенной перегрузочной способностью.

Выводы. 1. Анализ условий работы приводных механизмов горных машин показал, что существующей в настоящее время классификации режимов работы приводов недостаточно. Очевидно, что приводные электродвигатели горно-шахтного оборудо-

вания имеют жесткую характеристику с частыми набросами нагрузок. Одной из причин набросов на грузок является неравномерность насыпной плотности транспортируемого груза.

2. Исследования теоретической модели груза на ленте показали, что коэффициент разрыхления K_p полностью определяется его гранулометрическим составом и для любых насыпных грузов находится в диапазоне $K_p = 0,5672 \div 0,9054$. При этом, нижняя граница диапазона соответствует крупнокусковым, а верхняя – мелкокусковым грузам. Разработанная методика расчета K_p позволяет уточнить значение коэффициента разрыхления K_p и насыпной плотности транспортируемого груза γ_n в зависимости от его гранулометрического состава.

3. Учет гранулометрического состава груза при расчете конвейера показал, что при увеличении длины транспортирования значительно увеличивается диапазон колебания потребной мощности приводного двигателя и принимаемого в настоящее время коэффициента запаса мощности может оказаться недостаточно, т.е. при достижении критического значения длины конвейера ($L_{крит}$) возможна перегрузка его приводного электродвигателя.

4. Для определения значения критической длины конвейера и необходимого коэффициента запаса мощности приводного электродвигателя следует учитывать гранулометрический состав транспортируемого груза.

5. При больших длинах транспортирования появляется дополнительная причина выхода из строя приводных электродвигателей ленточных и скребковых конвейеров – наброс нагрузки, вызванный случайным характером гранулометрического состава транспортируемого груза. Одним из способов исключения данного отказа является использование электродвигателей специальной конструкции, обладающих повышенной перегрузочной способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчёт ленточных конвейеров.–М.: Машиностроение 1987.– 334 с.

2. Шахмейстер Л.Г., Солод Г.И. Подземные конвейерные установки.– М.: Недра, 1976. 431с.

3. Высшее образование.– под ред. В.А. Будисhevского, А.А. Сулимы, Теоретические основы и расчеты транспорта энергоёмких производств. Донецк: 1999.–216 с.

4. Горбатов П.А., Динамические нагрузки в системе привода исполнительных органов двухдвигательного угледобывающего комбайна и некоторые способы их снижения.– Донецк, 1974.

5. Стариков Б.Я., Асинхронный электропривод очистных комбайнов.– М. Недра, 1981.

6. Ключев В.И., Терехов В.М., Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов.– М.: Энергия, 1980.

7. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С., Теория автоматизированного электропривода.– М.: «Энергия», 1979.

8. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981.

9. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин.– М.: Машиностроение, 1983 г.

10. Беклемишев Д.В., Курс аналитической геометрии и линейной алгебры, Москва.: Наука, 1984.

11. Челпанов А.С., Ткачук А.Н., Обоснование параметров автоматизированного электропривода ленточного конвейера с учетом неравномерности его загрузки// Сб. науч. тр. ДонНТУ. Факультет энергомеханики и автоматизации. VII Международная научно-техническая конференция аспирантов и студентов, 2007г

12. Ткачук А.Н., Жаботин А.В. Экспериментальная проверка адекватности модели насыпного груза на ленте конвейера// Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ.– Донецк, 2010.

Стаття надійшла 01.03.2011 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф.

Садовим О.В.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПРИВОДНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ СТРІЧКОВИХ І СКРЕБКОВИХ КОНВЕЙЕРІВ ВЕЛИКОЇ ДОВЖИНИ

*Ткачук А.М., ст. викл., Жаботін А.А.
Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна
E-mail: TSL10@yandex.ru*

Розглянуті особливості роботи приводних електродвигунів стрічкових і скребкових конвейерів великої довжини при нерівномірному навантаженню на валу.

Ключові слова: гранулометричний склад, насипна плотність, перевантажувальна здатність.

CHARACTERISTIC OF WORK OF ELECTRIC MOTORS OF BAND AND SCRAPER CONVEYORS OF BIG LENGTH

*Tkachyk A., Sen. Lect., Zhabotin A.
Donetsk National Technical University
vul. Artema, 58, 83001, Donetsk, Ukraine
E-mail: TSL10@yandex.ru*

Characteristic of work of electric motors of band and scraper conveyors of big length is considered at non-uniform loading on a shaft.

Key words: granulometric composition, packed density, overload capacity.