

А.Н. Ткачук, А.А. Жаботин

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ГРУЗА НА РЕЖИМ РАБОТЫ
ПРИВОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ
И СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

Постановка проблемы. Анализ отказов асинхронных двигателей (АД) горных машин показал, что в настоящее время участились случаи аварий, приводящих двигатель в неремонтопригодное состояние, а именно выплавление обмотки ротора [1].

Традиционно считается, что причиной этого отказа являются неправильные условия эксплуатации, в частности, перегруз АД. Однако частые появления этих отказов позволяют предположить, что в настоящее время существенно усложнились условия эксплуатации всего горно-шахтного оборудования (ГШО) и перегрузочной способности приводных АД в ряде случаев становится недостаточно.

Таким образом, неправильная эксплуатация является лишь одной из причин появлений этих отказов. Определение других обстоятельств работы АД, приводящих к их выходу из строя, по-прежнему остается актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время накоплен большой опыт исследования режимов работы приводных АД горных машин.

В частности, для очистных комбайнов нагрузка АД формируется в зависимости от выемки угля (разрушение, вынос из зоны резания, погрузка на конвейер) и перемещения комбайна вдоль забоя. Главным в формировании нагрузки является процесс разрушения угля, а так как сопротивляемость разрушаемого массива изменяется случайно, то нагрузка на АД в процессе работы очистного комбайна также имеет случайный характер и может быть описана случайной функцией пути его движения или – при постоянной скорости подачи – случайной функцией времени [2].

Приводные механизмы конвейеров также испытывают набросы нагрузки. Многочисленными наблюдениями на шахтах установлено, что грузопотоки, поступающие из механизированных забоев, характеризуются большой неравномерностью, причем появление во времени того или иного значения грузопотока является случайным событием (Л.Г. Шахмейстер, Г.И. Солод, 1976).

Нагрузка конвейера изменяется случайно, поэтому загруженность и связанную с ней действительную нагрузку на единицу его длины необходимо принимать с определенным уровнем вероятности. Следовательно, тя-

говое усилие и мощность привода зависят от принимаемого нами уровня загрузки. Принятие необоснованно низкого уровня может привести к перегреву АД, сокращению его срока службы и отказу конвейера [3].

Обзор источников показал, что причинами набросов нагрузки являются организационные и технологические факторы. К ним относят: неравномерность грузопотока, неопределенное место загрузки на скребковый конвейер в лаве, простои оборудования, случайный характер затрат времени на концевые операции и другие явления, определяющие режим работы приводных механизмов.

Однако при анализе условий работы приводов в настоящее время не учитываются физические свойства транспортируемых грузов, хотя очевидно, что для конвейеров случайный характер насыпной плотности груза также оказывает влияние на неравномерность нагрузки на валу приводного АД.

Для каменного угля значение насыпной плотности находится в диапазоне ($\gamma = 0,65 \div 0,8$) т/м³. При этом, согласно методике расчета конвейеров [4], погонная масса каменного угля также будет колебаться в диапазоне

$$q = \gamma \cdot F = (0,65 \div 0,8) \cdot F,$$

где F – площадь поперечного сечения струи материала.

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

$$q_{мгн} = \gamma \cdot F \cdot L,$$

где L – длина конвейера.

Интервал расхождения мгновенных значений массы угля на ленте

$$q_{мгн} = \Delta\gamma \cdot F \cdot L,$$

Очевидно, что диапазон значений насыпной плотности с увеличением длины конвейера может привести к существенным расхождениям в значениях его расчётных параметров. Учитывая, что в настоящее время наметилась тенденция к увеличению длины транспортирования и грузопотоков, вопрос уточнения насыпной плотности является актуальным.

Известно, что насыпная плотность равна

$$\gamma = K_p \cdot \rho,$$

где K_p – коэффициент разрыхления;

ρ – плотность полезного ископаемого в целике.

Современные исследования показали, что коэффициент разрыхления свободно насыпанного груза является функцией размеров его частиц [3]:

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

где A_i – размер частиц насыпного груза.

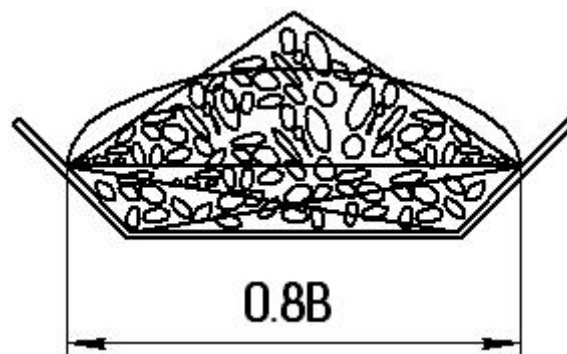
Однако количественной оценки влияния размера частиц на коэффициент разрыхления транспортируемого груза не проводилось.

Для основных групп общепромышленных приводных механизмов существует следующая классификация их режима работы – жесткая, экскаваторная и вентиляторная характеристики [5]. Однако анализ условий эксплуатации приводов ГШО показал, что данной классификации недостаточно для описания их режима работы, поскольку их АД имеют жесткую характеристику с частыми набросами нагрузки (рисунок 1).

Цель статьи. Исследование влияния гранулометрического состава транспортируемого груза на режим работы приводных двигателей ленточных и скребковых конвейеров.

Результаты исследований. Для оценки влияния размера i -й частицы груза на коэффициент разрыхления K_p рассматривается 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 и поперечного сечения груза параболический сегмент заменяется треугольником [6]. Поэтому в модели насыпного груза на ленте также можно представить его поперечное сечение в виде многоугольника. Но любой многоугольник можно представить как сумму треугольников. Поэтому в качестве расчетной схемы для определения K_p можно принять треугольное сечение груза на ленте (рисунок 2).



B – ширина ленты

Рисунок 2 – Насыпной груз на желобчатой ленте

2. В настоящее время при проверке ленты по кусковатости считают, что груз имеет форму эллипса. Кроме того, в результате вибраций груз принимает горизонтальное положение, как наиболее устойчивое [6]. Поэтому есть достаточно оснований принять, что частица груза имеет форму эллипса, который расположен на ленте горизонтально (рисунок 3).

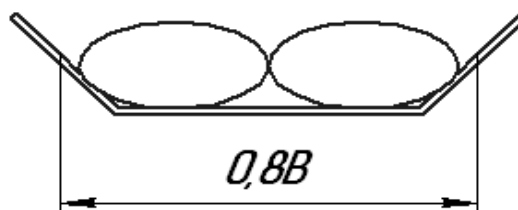


Рисунок 3

Отсюда для «идеального» груза

$$K_p = F_{zp} / F_{\Delta},$$

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

Таким образом, в данной модели поперечное сечение груза представлено в виде равнобедренного треугольника с вписанными в него эллипсами одинакового размера (рисунок 4).

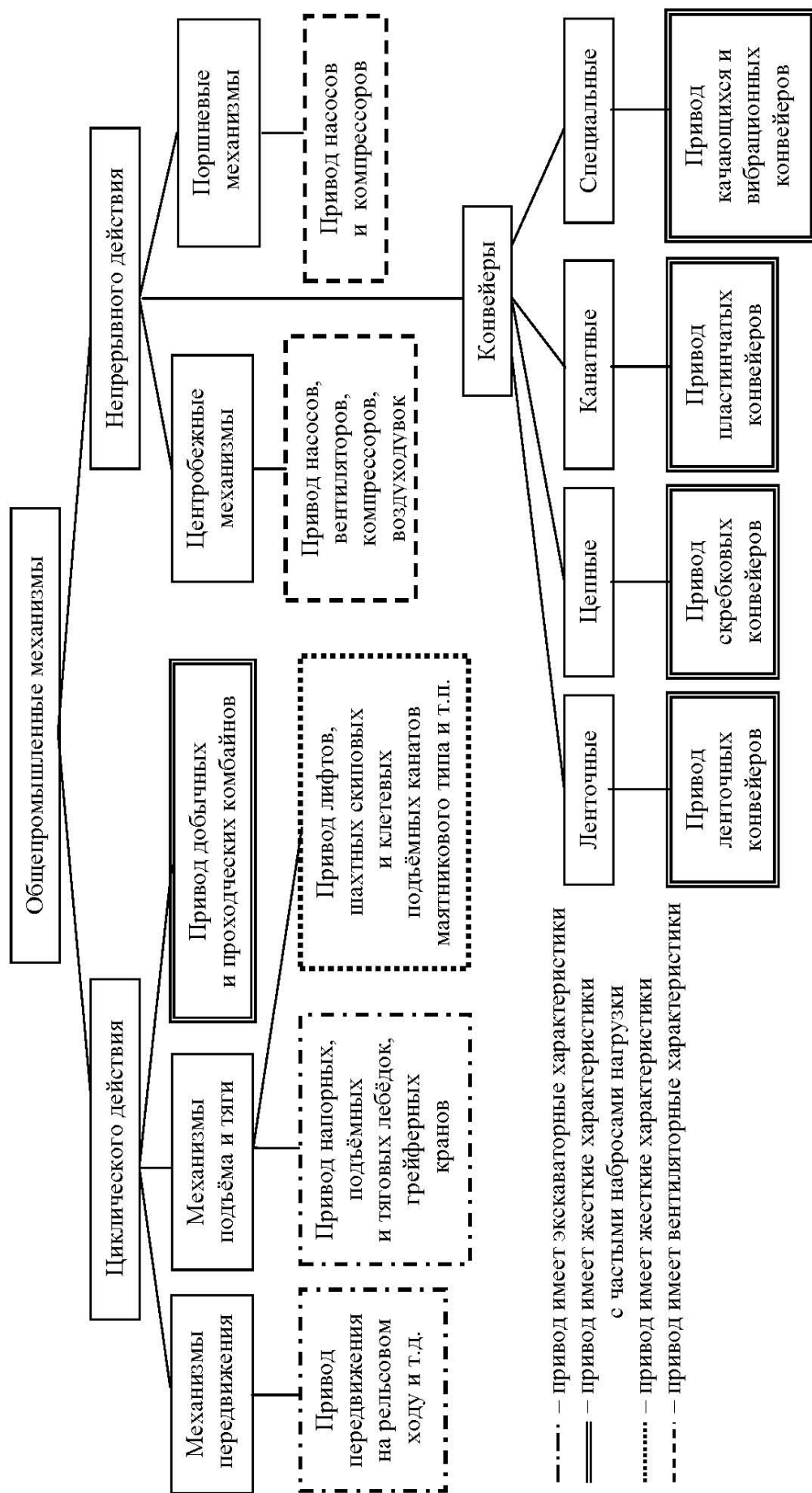


Рисунок 1 – Классификация электроприводов общепромышленных механизмов

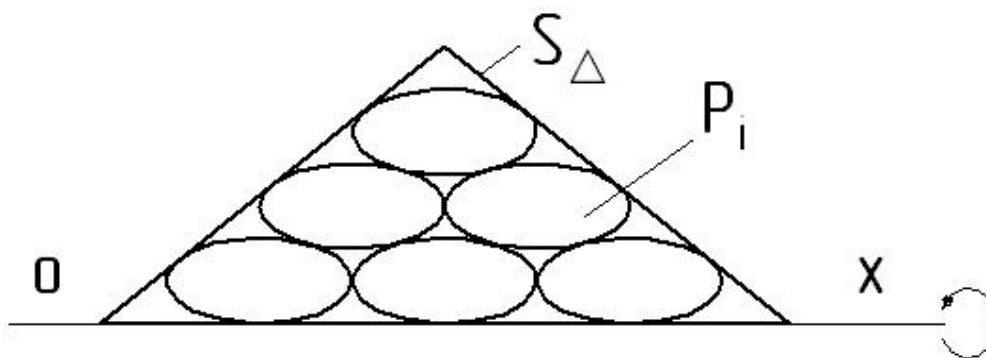


Рисунок 4

В результате поворота плоскости рисунка 4 вокруг оси OX, совпадающей с основанием треугольника, можно получить равносторонний треугольник с вписанными окружностями.

При этом, как известно, отношение площадей фигур при данном преобразовании пространства сохраняется [7].

$$\frac{\Sigma P_i}{S_{\Delta}} = \frac{\Sigma P_o}{S_{\Delta}} = const,$$

где S_{Δ} – площадь треугольника;

ΣP_i – сумма площадей эллипсов;

ΣP_o – сумма площадей окружностей.

Отсюда K_p можно представить как

$$K_p = \Sigma P_o / S_{\Delta}.$$

Путем геометрических расчетов площадей получаем (рисунок 5):

$$K_p(n) = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{n^2 + n}{n^2 + 1,46 \cdot n + 0,73}, \quad (1)$$

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

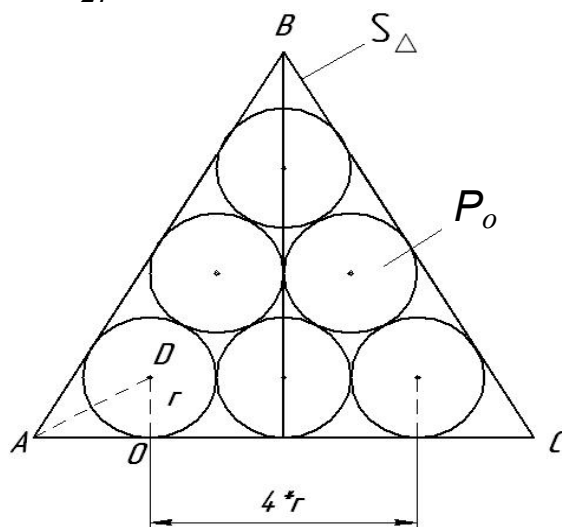


Рисунок 5

где n – количество вписанных окружностей, расположенных параллельно одной стороне треугольника и имеющих каждая одну точку касания с этой стороной; B – ширина ленты; r – радиус фигуры.

В результате подстановки (2) в (1) получаем

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

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 : K_p полностью определяется размерами частиц и для «идеального» насыпного груза находится в диапазоне $K_p = 0,5672 \dots 0,9054$ (рисунок 6). Данная оценка значения K_p справедлива для любых насыпных грузов.

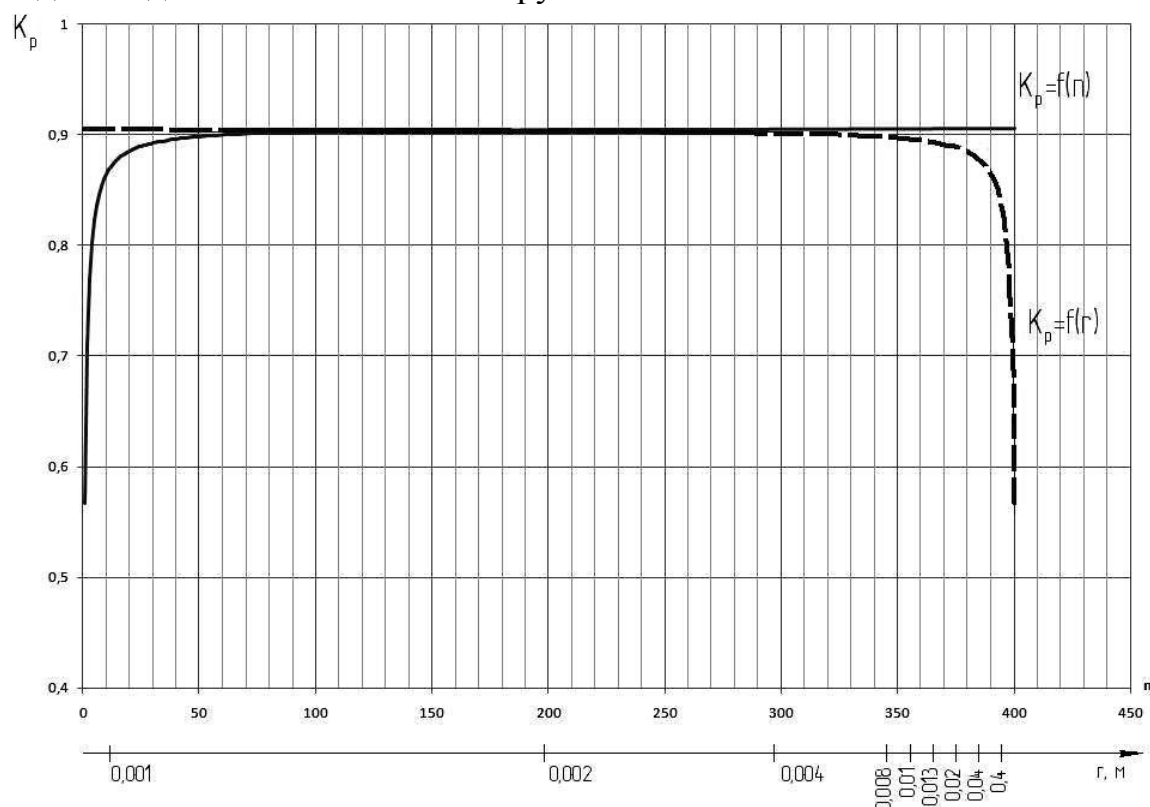


Рисунок 6 - График зависимости $K_p = f(n)$ и $K_p = f(r)$

Коэффициент K_p является сложной функцией $f(n(r))$. Поскольку n – дискретная величина, то данная функция является скачкообразной, и ее «скачки» уменьшаются с уменьшением фракции груза. Анализ зависимости при больших значениях r (рисунок 7) показал, что при расчете K_p для

мелкокусковых грузов ($n \geq 18; r \leq 0,022 \text{ м}$) функцию $f(n(r))$ можно считать непрерывной. Для крупнокусковых грузов ($n \leq 18; r \geq 0,022 \text{ м}$), необходимо учитывать дискретный характер $f(n(r))$.

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 как

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

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

Размер частиц транспортируемого груза является случайной величиной, поэтому значение K_p имеет вероятностный характер и значение насыпной плотности транспортируемого груза также будет колебаться в определенном диапазоне.

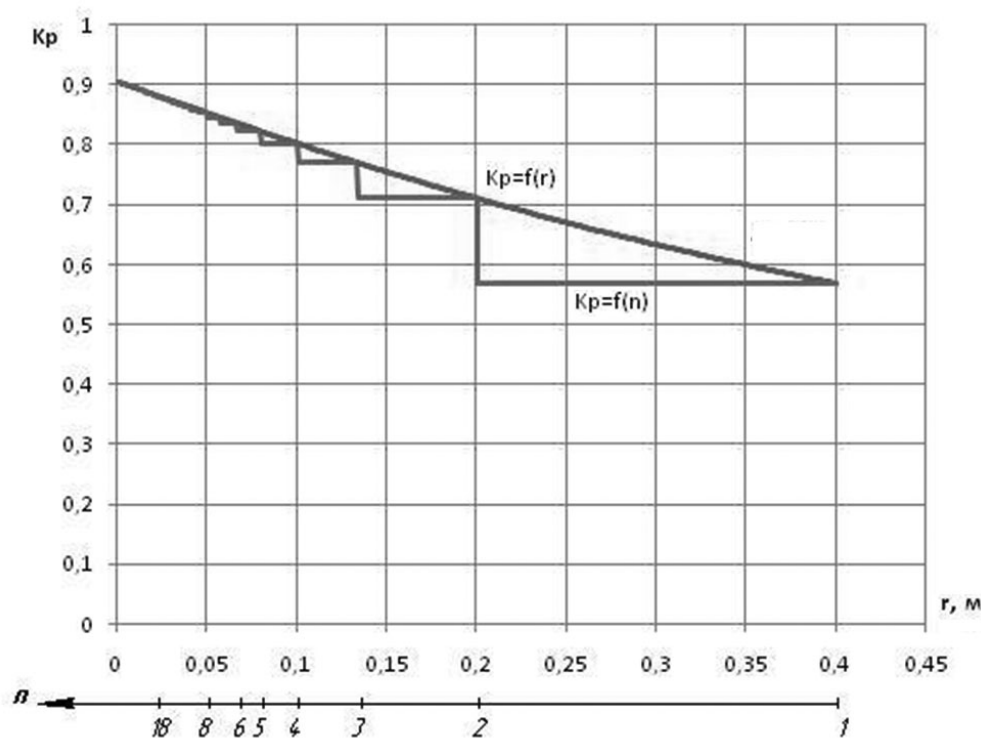


Рисунок 7 – Графики зависимости $K_p = f(n)$ и $K_p = f(r)$

Алгоритм расчета K_p представлен на рисунке 8.

Учет влияния данной неравномерности на расчетные параметры конвейеров дал следующий результат.

Тяговое усилие конвейера [4] равно

$$W_o = \{[(q + q_n + q'_p)w' \cdot \cos \beta \pm (q + q_n) \sin \beta] + [(q_n + q''_p)w' \mp q_n \cdot \sin \beta]\} \cdot K \cdot g \cdot L, \quad (3)$$

где q_l – погонная масса ленты;

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.

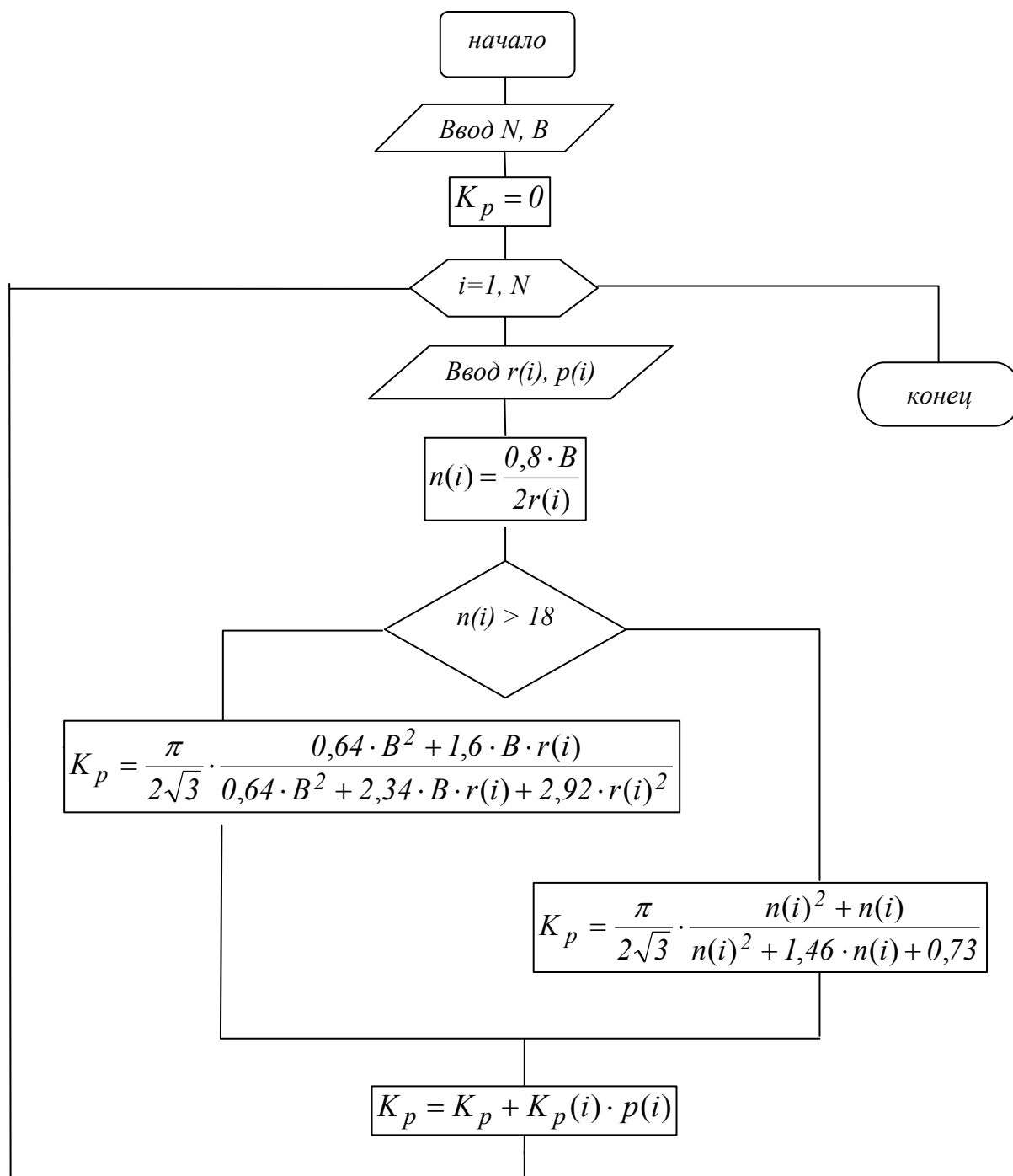


Рисунок 8 - Алгоритм расчета K_p

Погонная масса груза

$$q = F \cdot \gamma = F \cdot \rho \cdot K_p,$$

где F – поперечное сечение груза на ленте конвейера;

ρ – плотность груза в целике, т/м³;

γ – насыпная плотность, т/м³;

K_p – коэффициент разрыхления.

$$\text{Из (3) получаем } W_o = (K_p \cdot a + b) K_m \cdot g \cdot L, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{где } a &= F \cdot \gamma \cdot (w' \cdot \cos \beta \pm \sin \beta); \\ b &= w' \cdot \cos \beta \cdot (2 \cdot q'_l + q'_p + q''_p); \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} a \\ b \end{aligned}} \right\} \text{ - для ленточных конвейеров;} \\ \\ a &= F \cdot \gamma \cdot (w' \cdot \cos \beta \pm \sin \beta); \\ b &= 2 \cdot q_o \cdot w'' \cdot \cos \beta. \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} a \\ b \end{aligned}} \right\} \text{ - для скребковых конвейеров.}$$

Установленная мощность привода конвейера

$$N_{уст} = K_m \frac{W_o \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \quad (5)$$

где K_m – коэффициент запаса мощности.

В результате подстановки (4) в (5) получаем:

$$N_{уст} = K_m \frac{(K_p \cdot a + b) \cdot g \cdot L \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{K_m \cdot b \cdot g \cdot L \cdot v}{1000 \cdot \eta} + \frac{K_m \cdot K_p \cdot a \cdot g \cdot L \cdot v}{1000 \cdot \eta}.$$

Отсюда с учетом того, что $K_p = 0,5672 \div 0,9054$, имеем

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

где N_o – мощность холостого хода.

Таким образом, при расчёте конвейера и выборе мощности приводного двигателя значение погонной массы груза необходимо принимать в диапазоне

$$q_{расч.} = [0,568 \dots 0,9054] \cdot \rho \cdot F.$$

С учётом неравномерности гранулометрического состава груза можно предположить, что фактическое значение погонной массы груза может быть как больше, так и меньше расчётного и изменяться во времени, что и является причиной набросов нагрузки.

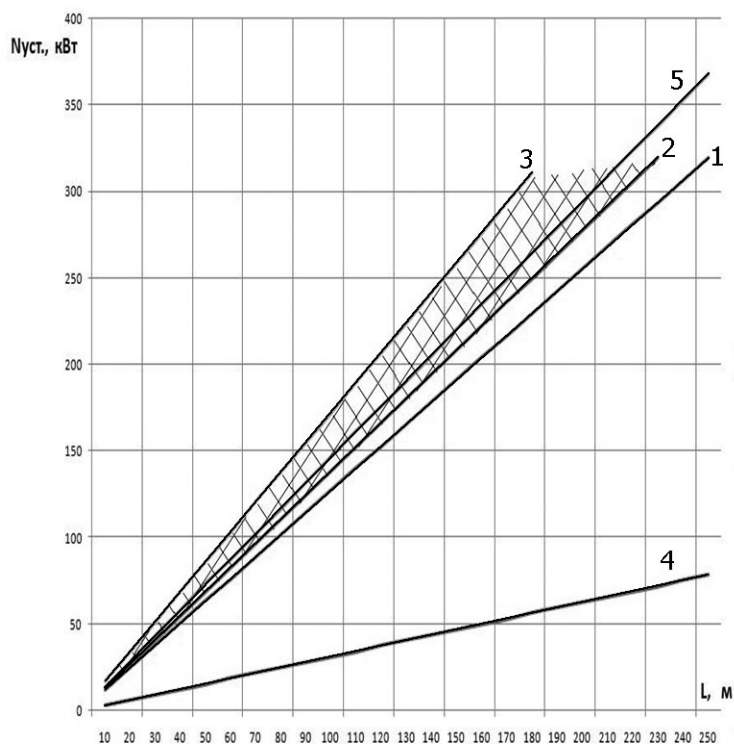
Таким образом, при колебании значения насыпной плотности изменяется значение потребной мощности приводного АД, которое без учета K_m имеет вид

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

Зависимость $N = f(L)$ (при различных значениях K_p) на примере ленточного конвейера типа КЛС-1600, установленного на Авдеевском коксохимзаводе (Донецкая обл.), представлена на рисунке 9.

1 – необходимая мощность при табличном значении насыпной плотности;
 2 – то же при $K_p \min$;
 3 – то же при $K_p \max$;
 4 – мощность холостого хода;
 5 – установленная мощность при табличном значении насыпной плотности

Рисунок 9 – Зависимость $N = f(L)$ при различных значениях K_p для конвейера КЛС-1600



Анализ данной зависимости позволяет сделать вывод, что при увеличении длины транспортирования влияние неравномерности гранулометрического состава груза на диапазон колебаний потребляемой мощности приводного АД существенно увеличивается и при длине конвейера $L_{крит}$ значения коэффициента запаса мощности K_m , применяемого при расчёте установленной мощности, может оказаться недостаточным (к тому же, чем больше ширина ленты, тем меньше значение $L_{крит}$). Поэтому при длине транспортирования более критической $L_{крит}$ и определенных значениях насыпной плотности груза (так как коэффициент разрыхления имеет вероятностный характер) приводной АД может быть перегружен.

Таким образом, для конвейеров с длиной $L \geq L_{крит}$ необходимо учитывать неравномерность гранулометрического состава и применять АД, обладающие повышенной перегрузочной способностью.

Поскольку механическая часть конвейера представляет собой сложную систему с распределенными по длине конвейера параметрами (массой груза, массой и упругостью тягового органа, усилием статического сопротивления), то случайный характер насыпной плотности является фактором, способствующим возникновению колебаний, которые при неблагоприятных условиях существенно увеличивают динамическую нагрузку на элементы конструкции конвейера.

Выводы:

1. Анализ условий работы приводных механизмов ГШО показал, что существующей в настоящее время классификации режима работы приво-

дов недостаточно, поскольку приводные АД имеют жесткую характеристику с частыми набросами нагрузки. Одной из причин набросов нагрузки 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 0,5672...0,9054. При этом нижняя граница диапазона соответствует крупнокусковым, а верхняя – мелкокусковым грузам. Разработанная методика расчета K_p позволяет уточнить его значение и насыпной плотности транспортируемого груза γ_n в зависимости от гранулометрического состава груза.

3. Учет гранулометрического состава груза при расчете конвейера показал, что при увеличении длины транспортирования значительно возрастает диапазон колебания потребной мощности приводного АД и принимаемого в настоящее время значения коэффициента запаса мощности K_m может оказаться недостаточно, так как при достижении критического значения длины конвейера $L_{крит}$ возможна перегрузка его АД.

4. При большой длине транспортирования появляется дополнительная причина выхода из строя приводных АД ленточных и скребковых конвейеров – наброс нагрузки, вызванный случайным характером гранулометрического состава транспортируемого груза. Одним из способов исключения данного отказа является использование АД, обладающих повышенной перегрузочной способностью.

Список литературы

1. 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.-Донецк:ДонНТУ, 2007.

2. Стариков Б.Я. Асинхронный электропривод очистных комбайнов.- М.: Недра, 1981.

3. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин.- М.:Машиностроение, 1983.

4. Будишевский В.А., Сулима А.А. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств.- Донецк,1999.- 216с.

5. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов.- М.: Энергия, 1980.-359с.

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

7. Беклемишев Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры.- М.: Наука, 1984.