

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ГРУЗОПОТОКЕ

Боровикова А.П., магистрант; Маренич К. Н., д.т.н., проф.;

Ткаченко А. Е., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Широкое использование горнодобывающего и карьерного оборудования является одним из важнейших факторов повышения технического уровня и эффективности горных работ. В последнее время большинство шахт переходят на поточное и поточно-циклические транспортирование. Увеличение грузопотоков и длин транспортирования потребовало создания высокопроизводительных ленточных конвейеров большой длины и мощности с применением дорогих синтетических и резиновых лент. Это приводит к значительному увеличению стоимости конвейерной системы. В настоящее время коэффициент использования такого дорогостоящего оборудования в горнодобывающих компаниях в регионе составляет в среднем 50% ... 70% по производительности и 60 ... 70% времени. Такое неэффективное использование конвейерных систем также связано с тем, что горные грузовые потоки показывают значительные удары по амплитуде и наличие большого количества интервалов отсутствия груза.

Вопросам повышения эффективности конвейеров за счет регулирования нагрузки на привод посвящены работы Л.Г. Шахмейстера, В.Т. Полунина, В.В. Дмитриевой, Н.В. Смирновой и других исследователей. Основные задачи, решаемые в ходе проводимых исследований, могут быть сформулированы следующим образом [1]:

1) применение средств регулирования грузопотока за счет использования накопительных систем (промежуточные бункеры, конвейеры), что обеспечивает адаптацию интенсивности поступления груза к условиям нерегулируемого привода конвейера;

2) применение средств регулирования скорости в составе привода ленточного конвейера, обеспечивающих адаптацию конвейера под условия изменяющегося грузопотока (частотно-регулируемый электропривод, регулируемые муфты, каскадные схемы управления АД с фазным ротором);

3) обоснование структуры и параметров систем автоматизированного управления конвейерным транспортом. При этом целью является идентификация структуры и параметров конвейера как объекта регулирования с целью последующего обоснования характеристик управляющих устройств.

В данной статье рассмотрим решения третьей, наиболее сложной, научно-технической задачи. Очевидно, что целесообразно провести анализ существующих математических моделей ленточных конвейеров и на их основании предложить наиболее подходящую для изучения изменения значений технологических параметров при различных управляющих воздействиях. В разное время проблематикой моделирования работы конвейеров занимались такие авторы как Ставицкий В.Н., Запенин И.В., Дмитриева В.В. [2-4] и др. Так, в исследованиях [2] разработана математическая модель процесса формирования статической нагрузки электропривода ленточного конвейера в условиях переменной скорости движения тягового органа.

Известно, что статическое тяговое усилие, которое необходимо преодолеть приводному электродвигателю, определяется следующим соотношением:

$$F = a \cdot (m + b); \quad (1)$$

где m — суммарная масса груза, находящегося на ленте;

a, b — коэффициенты, учитывающие удельную массу ленты, роликов, сцепление между лентой и барабаном, сопротивление движению ленты, а также углы обхвата лентой приводного и натяжного барабанов.

Таким образом, масса перевозимого груза напрямую определяет величину статической нагрузки привода ленточного конвейера. При переменном характере поступающего грузопотока $Q(t)$ и скорости движения ленты $v(t)$ (входные величины) накопленная масса груза $m(t)$ (выходная величина) является также переменной величиной.

В качестве допущения в данной модели тяговый орган конвейера (лента) рассматривается как идеально жесткий элемент. Скорость движения фрагментов ленты, а соответственно, и груза, находящегося на ней, одинакова по всей длине.

Груз, находящийся на конвейере, распределяется по всей его длине и характеризуется плотностью q — количеством материала на единицу длины ленты. Плотность, в свою очередь, определяется соотношением между интенсивностью поступающего на конвейер грузопотока Q и скоростью движения ленты v . Для конвейера длиной L в момент времени t на начальном участке материал образует слой плотностью $q^+(t)$:

$$q^+(t) = \frac{Q(t)}{v(t)}. \quad (2)$$

В этот же момент времени в концевой части с конвейера сыпается материал, плотность которого составляет $q^-(t)$. Величина плотности груза на данном участке определяется интенсивностью грузопотока и скоростью движения ленты в момент времени $(t - T)$, соответствующий поступлению материала на конвейер. Транспортная задержка T , представляющая собой интервал времени, необходимый для перемещения фрагмента груза от начала до конца конвейера, является величиной переменной и зависит от характера изменения скорости ленты на протяжении пути L . Таким образом, плотность сыпающегося материала составляет:

$$q^-(t) = \frac{Q[t - T(t)]}{v[t - T(t)]}. \quad (3)$$

Таким образом, динамика накопления груза на ленте определяется, с одной стороны, количеством поступающего на нее материала (его плотность в момент времени t составляет $q^+(t)$), а с другой стороны, одновременным сходом с ленты некоторой порции материала плотностью $q^-(t)$.

Двигаясь со скоростью $v(t)$ в течении малого интервала времени dt , лента проходит путь dx . При этом на конвейер поступит порция материала массой dm^+ (рис. 1):

$$dm^+ = q^+(t) \cdot dx = \frac{Q(t)}{v(t)} \cdot v(t) \cdot dt = Q(t) \cdot dt. \quad (4)$$

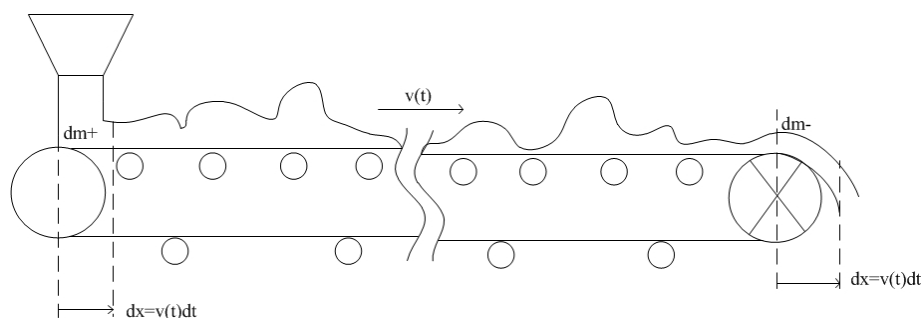


Рисунок 1 – Структурная схема для вывода уравнения динамики изменения массы груза, перемещаемого ленточным конвейером

Одновременно с конвейера сойдет порция материала массой dm^- (рисунок 2):

$$dm^- = q^-(t) \cdot dx = \frac{Q[t - T(t)]}{v[t - T(t)]} \cdot v(t) \cdot dt. \quad (5)$$

Общее изменение массы груза dm на протяжении интервала dt составит:

$$dm = dm^+ + dm^- = \left(Q(t) - Q[t - T(t)] \cdot \frac{v(t)}{v[t - T(t)]} \right) \cdot dt. \quad (6)$$

Чтобы определить суммарную массу груза на ленте, необходимо проинтегрировать соотношение (6) в течение заданного интервала времени от t_n до t_k с учетом начальных условий $m(0)$:

$$m = m(0) + \int_{t_n}^{t_k} \left(Q(t) - Q[t - T(t)] \cdot \frac{v(t)}{v[t - T(t)]} \right) \cdot dt, \quad (7)$$

или

$$\frac{dm}{dt} = Q(t) - Q[t - T(t)] \cdot \frac{v(t)}{v[t - T(t)]} \quad (8)$$

Как видим уравнение (8) описывает динамику изменения груза на ленте в зависимости от изменения грузопотока $Q = f(t)$ и скорости движения ленты $v = f(t)$ [4]. Для исследования изменения технологических параметров объекта в зависимости от управляющих воздействий целесообразно при моделировании предполагать, что один из этих определяющих параметров неизменен. Это позволит избежать решения дифференциальных уравнений в частных производных и упростит процесс получения итоговых зависимостей [4].

Разработанная модель будет использована для оценки динамических свойств ленточного конвейера с целью обоснования параметров и структуры устройства регулирования, обеспечивающего автоматическую стабилизацию нагрузки привода. В качестве исследуемых параметров приняли производительность конвейера, скорость движения ленты, тяговое усилие и натяжение ленты. Определение численных значений коэффициентов уравнений будем производить на основании технологических параметров ленточного конвейера 1Л100 [5].

Получим зависимость фактической производительности конвейера от изменяющегося грузопотока (рис. 2) при постоянной номинальной скорости $v = 1,6$ м/с, при этом выражение (8) может быть упрощено до следующего вида:

$$Q(q, v) = 3,6 \cdot v \cdot q. \quad (10)$$

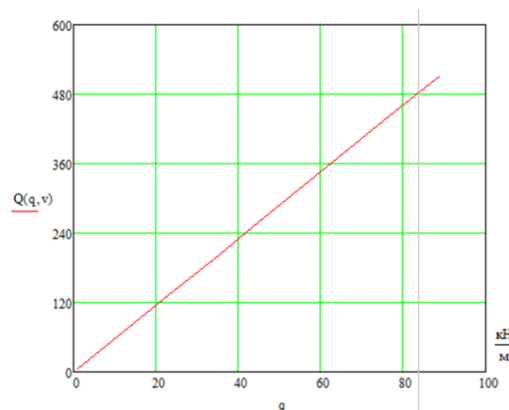


Рисунок 2 – График зависимости фактической производительности от величины грузопотока

Поскольку, одной из основных задач автоматизации ленточных конвейеров является стабилизация нагрузки на ленту в зависимости от изменяющегося грузопотока. То, целесообразно исследовать зависимость скорости ленточного конвейера от изменяющегося грузопотока при работе конвейера с постоянной номинальной производительностью $Q = 550$ т/ч (рисунок 3):

$$v(q, Q) = \frac{Q}{360 \cdot q} . \quad (11)$$

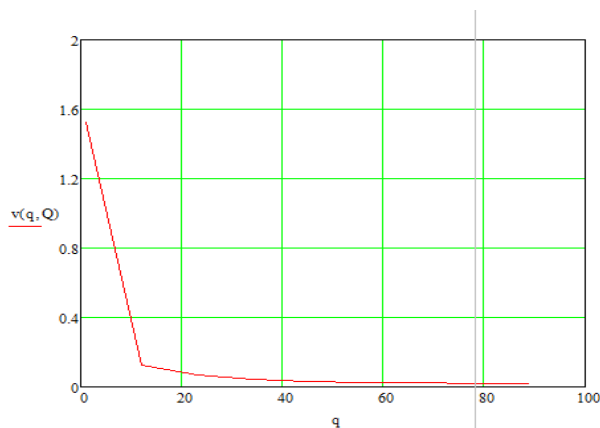


Рисунок 3 – График зависимости скорости ленточного конвейера от грузопотока при работе с постоянной производительностью

Получим графическую зависимость необходимого тягового усилия привода конвейера в зависимости от грузопотока $Q = var$ с известной длиной транспортирования $L = 2000$ м и насыпной плотностью груза $\rho = 1.5$ кг/м³ (рисунок 4) [3]:

$$W(q) = 9,8 \cdot L \cdot q \cdot \rho . \quad (12)$$

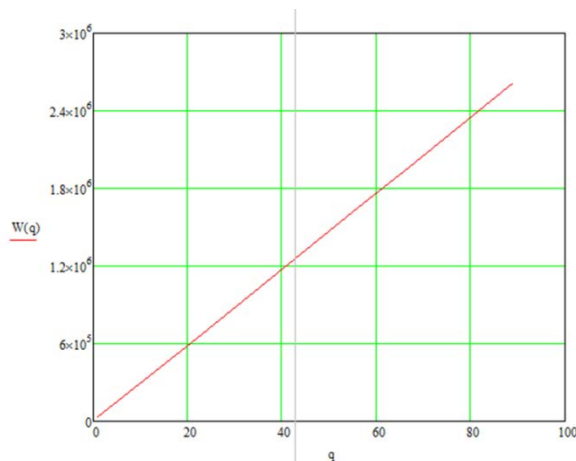


Рисунок 4 – График зависимости тягового усилия от изменяющегося грузопотока при постоянной длине транспортирования и плотностью насыпанным грузом

Также для реализации качественного регулирования натяжения ленты целесообразно знать зависимость натяжения ленты ленточного конвейера от тягового усилия или сопротивления движению, что в свою очередь обуславливается погонным весом грузопотока:

$$S(W) = k \cdot W , \quad (13)$$

где $k = 0,06$ – коэффициент местных сопротивлений, а именно в точках сбегания и набегания ленты на барабан (рисунок 5).

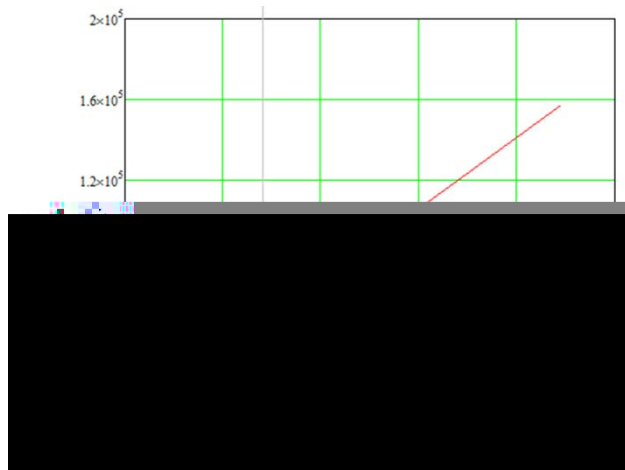


Рисунок 5 – График зависимости натяжения ленты от тягового усилия или сопротивления движению

Таким образом, с помощью разработанной модели было получено и выражено графически поведение исследуемого ленточного конвейера. Наблюдения показали, что такое возмущающее воздействие как изменение грузопотока значительно влияет на показатели рабочего режима конвейерной линии. А именно, были произведены вычисления и получены графики зависимостей основных технологических параметров конвейера, таких как производительность скорость, тяговое усилие и натяжение [4].

Графики показали, что изменяющийся во времени погонный вес грузопотока способен значительно уменьшить скорость конвейера, повлиять на значение производительности, а именно не позволить конвейеру выйти на номинальную производительность рабочего режима при соответствующих ему энергозатратах, что существенно уменьшает эффективность работы конвейера. Однако, наиболее существенное влияние изменения грузопотока оказывают на натяжение ленты конвейера, что приводит не только к уменьшению эффективности, а ещё и к аварийным ситуациям, такие как пробуксовка, порыв ленты, воспламенение ленты, которые останавливают работу всей конвейерной линии и значительно уменьшают производительность добычного участка.

Следовательно во избежание аварийных ситуаций целесообразно осуществлять непрерывный контроль за натяжением ленты и автоматически его регулирования, не допускать выхода значений натяжения за допустимые пределы, а также обеспечивать в автоматическом режиме стабилизацию грузопотока.

Перечень ссылок

1. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Н. И. Стадник и др. – Киев : Техника, 1992. – 438 с.
2. Ставицкий, В. Н. Алгоритм идентификации транспортной задержки конвейера / В. Н. Ставицкий // Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. — Донецк: ДонНТУ. — 2011. — Вып. 37. — С. 59–66.
3. Дмитриева, В. В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Валерия Валерьевна Дмитриева. — Москва, 2005. — 162 с.
4. Запенин, И. В. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров/ И. В. Запенин. – Москва : Недра, 1969 – 56с.
5. Будишевский, В. А. Шахтный транспорт / В. А. Будишевский, Н. Д. Мухопад, А. А. Сулима, В. А. Кислун. – Донецк : тип. «Новый мир», 1997. - 349 с.