

Автор ер,
Д 41

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

С.А. ДЖИЕНКУЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ
МОЩНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук
профессор П.Н.Платонов

Одесса - 1967

*кандидат наук
В.В.В.*

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

ОНАХТ 25.07.11
Исследование пусковы

На правах рукописи



v001273

С.А. ДЖИЕНКУЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ
МОЩНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

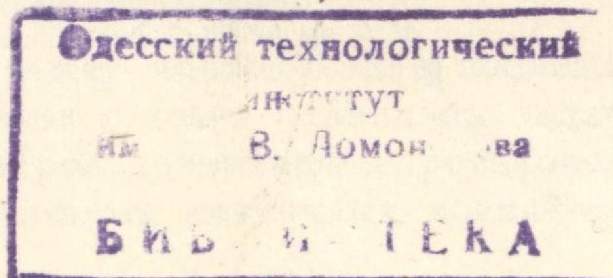
Депозит 1967 г.

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук
профессор П.Н.Платонов

с.В.1273



Одесса - 1967

v001273

Одесский технологический институт имени М.В. Ломоносова направляет Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы аспиранта ДЖИЕНКУЛОВА С.А. на тему „Исследование пусковых режимов мощных ленточных конвейеров“, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

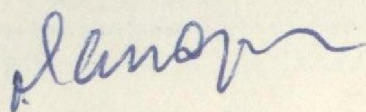
Защита состоится „ 29 „ сентября 1967 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт имени М.В.Ломоносова.

Работа выполнена в Одесском технологическом институте имени М.В.Ломоносова.

Ученый секретарь Совета

Л.ЗАПОРОЖЕЦ



ВВЕДЕНИЕ

Решения XXIII съезда Коммунистической партии Советского Союза, направленные на дальнейшее создание материально-технической базы коммунизма в нашей стране, предлагают широкий технический прогресс во всех отраслях народного хозяйства.

Максимальное ускорение технического прогресса возможно лишь на базе применения новой, более совершенной техники, комплексной механизации и автоматизации производства, внедрения совершенных видов транспорта.

Наиболее прогрессивным направлением в развитии промышленного транспорта является его полная конвейеризация, обеспечивающая поточность и автоматизацию транспортных операций.

Важное место в числе транспортных средств занимают ленточные конвейеры, которые в силу простоты устройства и обслуживания, обеспечения высокой производительности и дальности перемещения материалов имеют значительные преимущества перед другими видами непрерывного транспорта.

Многие важные вопросы теории и расчета ленточных конвейеров общего назначения достаточно широко освещены в трудах отечественных и зарубежных ученых. Однако ряд вопросов теории и расчета мощных ленточных конвейеров еще подлежит решению. Отсутствие научно-обоснованных инженерных методов расчета таких конвейеров сдерживает широкое применение их в народном хозяйстве и, в частности, на открытых горных разработках.

Настоящее исследование посвящено решению этих вопросов. В связи с этим ставилась задача определения основных параметров конвейерных установок и изучения пусковых процессов мощных ленточных конвейеров с целью их оптимизации.

Предлагаемая работа состоит из трех взаимосвязанных частей, в каждую из которых входят по две главы.

Первая часть посвящена краткому обзору выполненных исследований в области ленточных конвейеров и обоснованию актуальности темы, вторая – рассматривает вопросы оптимизации основных параметров конвейерных установок, в третьей – приводятся теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации пусковых режимов конвейерных установок и даны практические рекомендации, вытекающие из проведенного исследования.

Реферируемая диссертационная работа, выполненная в Одесском технологическом институте имени М.В.Ломоносова, объемом в 152 страницы машинописного текста, содержит 41 иллюстрацию, 27 таблиц и библиографию из 143 наименований.

Часть первая. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ И ВЫБОР МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первой главе рассматриваются следующие вопросы:

- 1) классификация, достоинства и область применения мощных ленточных конвейеров;
- 2) эффективность использования ленточных конвейеров большой мощности;
- 3) достижения отечественной науки в разработке общей теории ленточного конвейера;
- 4) обзор аналитических и экспериментальных методов исследований динамики пуска ленточных конвейеров. Выбор методики исследований.

Краткий обзор области применения ленточных конвейеров большой мощности показывает, что в настоящее время еще недостаточно проведена конвейеризация различных отраслей промышленности СССР, связанных с большими грузопотоками.

Так, на открытых разработках полезных ископаемых

ленточными конвейерами транспортируется 30% угля, при подземной добыче процент конвейеризации еще ниже: ими оборудованы 8% горизонтальных и 26% наклонных выработок.

В рудной промышленности и гидротехническом строительстве только намечается или имеются отдельные примеры применения конвейерного транспорта. Между тем технико-экономический анализ ленточных конвейеров по сравнению с другими видами транспорта показал большую эффективность их применения как по стоимостным, так и натуральным показателям.

Это позволяет сделать вывод о том, что конвейеризация является наиболее экономичным и прогрессивным направлением совершенствования транспорта поточно-производственных процессов народного хозяйства страны.

В настоящее время теоретическими и экспериментальными исследованиями в области ленточных конвейеров, разработкой новых и совершенствованием существующих конструкций конвейеров в Советском Союзе занимается Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт подъемно-транспортного машиностроения (ВНИИПТМаш), проектно-конструкторский трест комплексной механизации „Союзпроммеханизация“, проектно-конструкторский институт „Гипроуглемаш“, институт горного дела имени Скочинского АН СССР, филиал института механики АН УССР, кафедры высших учебных заведений (Московского института радиоэлектроники и горной электромеханики, Московского высшего технического училища имени Н.Э. Баумана, Ленинградского, Днепропетровского, Свердловского горных институтов, Донецкого политехнического института и др.), а также ряд проектно-конструкторских институтов различных отраслей промышленности и конструкторских бюро заводов.

Большой интерес представляют исследования братских социалистических стран: Фрайбергской горной академии (Берлин) ГДР, института транспортной техники (Лейпциг) ГДР, Высшей технической школы и института транспортной техники (Прага), политехнического института (Варшава) и др.

В вопросах разработки теории, расчета и конструирования

ния ленточных конвейеров большая заслуга принадлежит советским ученым: А.О. Спиваковскому, П.С. Козьмину, Н.С. Полякову, А.А. Долголенко, И.Г. Штокману, А.В. Андрееву, В.К. Дьячкову, Р.Л. Зенкову, М.М. Петрову, Н.А. Лаповенко, С.А. Панкратову, Б.А. Кузнецову, Н.Я. Биличенко, Д.М. Беленькому, М.А. Котову, Б.В. Фаддееву, И.П. Тарасову, Г.И. Солод, Е.Х. Завгороднему, Е.М. Высочину, Е.Г. Глухареву, Б.А. Баходдину, В.И. Лескевич, О.Г. Карбасову и многим другим.

Таким образом, благодаря усилиям больших коллективов институтов, кафедр, благодаря успешным исследованиям отдельных ученых теория ленточного конвейера оформилась в самостоятельную науку.

Между тем, нужно отметить, что до сих пор ученые вплотную занимались в основном исследованиями ленточных конвейеров общего назначения.

Проблемы теории, расчета и проектирования высокопроизводительных конвейеров большой длины стали предметом исследования только в последнее время.

Большая потребность народного хозяйства в таких конвейерах требует ускоренного решения целого ряда теоретических вопросов, связанных с созданием еще более экономичных установок.

Одним из этих вопросов, представляющих большой практический интерес для повышения производительности установок и увеличения скорости перемещения материалов, является изучение пусковых режимов ленточных конвейеров, сопровождаемых сложными динамическими процессами.

При расчете ленточных конвейеров общего назначения основные расчетные усилия обычно определяются из статических условий их работы.

Между тем, для конвейеров большой мощности прочностные размеры их узлов должны определяться и статическими и динамическими нагрузками, т.к. с увеличением длины и производительности конвейеров возрастает влияние динамических факторов на работу установки.

Динамические процессы вызывают колебательные явле-

ния, существенно изменяющие кинематические и силовые характеристики установок, и способствуют возникновению дополнительных нагрузок.

Таким образом, вопрос о возможности повышения производительности ленточных конвейеров, увеличения предельной длины и скорости транспортирования материалов связан с изучением сложных динамических явлений, возникающих в пусковом периоде.

Анализ выполненных динамических исследований показывает, что:

в одних случаях, работы, посвященные методам определения динамических усилий конвейерных лент в пусковой период, или не учитывают упругих свойств тяговых органов ленточных конвейеров, или не учитывают рассеивания энергии и затухания колебаний;

в других — исследование динамики пуска ленточных конвейеров проводится с учетом рассеивания энергии и затухания колебаний при произвольно выбранном законе изменения скорости движения ленты в пусковой период конвейера, но не учитывается влияние массы ленты и возмущающей силы на характер колебательного процесса;

в третьей группе работ в основу динамического анализа конвейерных лент принята возмущающая сила. Исследования проводятся с учетом приведенной массы тягового органа и привода конвейера, но в условиях эксплуатации мощных ленточных конвейеров с автоматическими натяжными устройствами, изменяющими натяжение ленты в пусковой период, очевидно, нужно включать и массу натяжного устройства;

приводимые методы не позволяют анализировать изменение динамических усилий ленты одновременно при различных углах наклона конвейерных установок.

Таким образом, в основу динамического анализа мощных ленточных конвейеров при различных углах наклона их к горизонту можно принять возмущающую силу и исследование проводить с учетом упругости тягового органа и приведенных масс всех вращающихся и поступательно движущихся частей конвейера (привода, полотна и натяжного устройства).

Целью настоящего исследования является определение основных параметров установок и нахождение оптимального варианта пуска мощных ленточных конвейеров для транспортирования материалов вверх при различных углах наклона их к горизонту.

На основании вышеизложенного в работе поставлены следующие задачи:

1. Определить основные параметры мощных ленточных конвейеров для транспортирования грузов вверх при различных углах наклона:

- а) предельную и оптимальную длину конвейера на один привод;
- б) расстояния между роlikоопорами рабочей ветви ленты конвейера (в условиях высокопроизводительных коротких и длинных конвейерных установок).

2. Определить оптимальное время продолжительности пуска двигателя конвейера.

В результате анализа методов исследования ленточных конвейеров для решения задач по оптимизации пусковых режимов мощных конвейерных установок в работе принят аналитический метод исследований с использованием ЭЦВМ, а для проведения динамического анализа конвейеров с целью определения динамической составляющей нагрузки ленты параллельно с аналитическим методом принят метод электрического моделирования.

Часть вторая. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Во второй части работы приводятся результаты исследований по определению основных параметров мощных ленточных конвейеров: предельной и оптимальной длины конвейера, расстояния между рабочими роlikоопорами коротких и длинных конвейеров.

В результате исследований установлено, что предельная длина ленточных конвейеров на один привод, транспортирующих материалы прямолинейно вверх по уклону, при полном использовании запасов прочности ленты должна определяться по формулам (1, 2): из условия отсутствия проскальзывания ленты по приводному барабану (1) и допустимого провеса рабочей ветви ленты (2), и должна быть принята по их наименьшему значению:

$$L_{пр1} = \frac{S_{макс}}{W_{оу} \cdot K_{\alpha}}, \text{ м}; \quad (1)$$

$$L_{пр2} = \frac{S_{макс} - S_{мин}}{W_p}, \text{ м}; \quad (2)$$

здесь $S_{макс}$ и $S_{мин}$ - максимальное и минимальное усилие рабочей ветви ленты при установившемся режиме, н;

$W_{оу}$ - суммарное удельное сопротивление ленты конвейера, $W_{оу} = W_p + K_1 \cdot W_x$, н/м;

где W_p и W_x - удельное сопротивление рабочей и нерабочей ветви ленты конвейера, н/м;

K_1 - коэффициент сопротивления направляющего барабана;

$$K_{\alpha} = \frac{K_T \cdot K_1}{e^{\mu \alpha} - K_1} + 1,$$

где $e^{\mu \alpha}$ - тяговый фактор привода;

K_T - коэффициент запаса сил трения.

При транспортировании материалов вверх по произвольно искривленной трассе (с прямолинейными участками, имеющими различные углы наклона), получено:

$$L_{пр2} = \frac{S_{макс}}{(\sum W_p + K_1 \cdot \sum W_x) \cdot K_{\alpha}}, \text{ м}; \quad (3)$$

$$L_{np2} = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{\sum W_p}, M; \quad (4)$$

где $\sum W_p$ и $\sum W_x$ — удельное сопротивление всех участков рабочей и нерабочей ветви ленты конвейера,

$$\sum W_p = W_{p1} + W_{p2} + W_{p3} + \dots + W_{pn-1} + W_{pn}, H/M;$$

$$\sum W_x = W_{x1} + W_{x2} + W_{x3} + \dots + W_{xn-1} + W_{xn}, H/M;$$

Из уравнений (1), (2), (3) и (4) видно, что предельная длина конвейера L_{np} при определенной производительности и угле наклона установки β находится в функциональной зависимости от тягового фактора привода $e^{\mu\alpha}$ и может изменяться теоретически в широких пределах $k, < e^{\mu\alpha} \leq \infty$

В настоящем разделе работы анализируется зависимость $L_{np} \sim \varphi_1(e^{\mu\alpha})$ и на основе этого находится область оптимальных значений предельной длины конвейера.

Исследования, проведенные с помощью построения графиков функций $L_{np} \sim \varphi_1(e^{\mu\alpha})$ для конвейеров с различными типами лент, показали, что в случае применения однобарабанного привода ($e^{\mu\alpha} < 6$) предельная длина конвейера резко увеличивается, а при $e^{\mu\alpha} > 6$, что соответствует схеме с двухбарабанным приводом, — изменяется незначительно.

Следовательно, сравнение конвейерных установок с различными схемами приводов показало, что наиболее оптимальными являются ленточные конвейеры с однобарабанным приводом ($e^{\mu\alpha} = 3 \div 4$).

Оптимальность ленточных конвейеров с однобарабанным приводом подтверждается и тем, что они имеют ряд преимуществ перед двухбарабанными: меньшие динамические нагрузки при пуске, устраняются все недостатки эксплуатации двухбарабанных приводов, и в связи с улучшением условия работы конвейера увеличивается срок службы агрегата в целом.

Таким образом, в результате исследований установле-

ны оптимальные значения тягового фактора привода $e^{\mu\alpha}$ (схемы привода) и предельной длины конвейера.

Следовательно, принимая определенную схему привода, можно определить оптимальную длину конвейера в зависимости от $e^{\mu\alpha}$ по формулам (1) или (3), соблюдая только условие „проскальзывания“. При этом исключение фактора провеса ленты потребует специального расчета расстояний между рабочими роlikоопорами.

Во второй главе приводится методика решения данного вопроса.

Известно, что в настоящее время расстояние между роlikоопорами принимается по ширине ленты, в действительности их величина должна определяться в зависимости от натяжения ленты.

В связи с этим данному вопросу посвящены специальные исследования, в результате чего получена зависимость (5) для нахождения величины l_p коротких конвейеров, длиной менее 100–200 м:

$$l_p = S_{\max} \cdot \frac{K_M}{W \cdot K_{np}}, \text{ м}; \quad (5)$$

здесь: $W = (q + q_l) \cdot \cos \beta$;

$$K_M = 1 - \frac{W_p'}{W_{oy}' \cdot K_a},$$

где q и q_l – погонный вес транспортируемого материала и ленты, н/м;

W_{oy}' – суммарное удельное сопротивление ленты конвейера без учета сопротивления вращающихся частей роlikоопор, н/м;

W_p' – удельное сопротивление рабочей ветви ленты без учета сопротивления вращающихся частей роlikоопор, н/м;

$K_{np} = 5 - 15$ - коэффициент провеса ленты ^{х)}.

Известно, что при огибании лентой барабанов и опорных роликов возникают изгибные напряжения, снижающие прочность ленты (происходит расслаивание прокладок и в конечном результате - разрыв ленты). Поэтому для снижения величины знакопеременных напряжений на роликоопорах стационарных ленточных конвейеров и уменьшения частоты их возникновения необходимо принять переменные расстояния между роликоопорами по длине конвейера.

Результаты проведенных исследований показали, что рабочие роликоопоры длинных ленточных конвейеров в зависимости от натяжения ленты можно располагать по закону арифметической прогрессии.

Шаг роликоопор в любом месте конвейера находим из уравнения:

$$l_{x_1} = \frac{S_{\max}}{W \cdot K_{np}} \left[1 - \frac{W_p'}{W_{0y} \cdot K_{\alpha}} \left(1 - \frac{x_1}{L_{np}} \right) \right], \text{ м}; \quad (6)$$

где x_1 - расстояние от места минимального натяжения рабочей ветви до любой точки вдоль полотна конвейера.

В частности, если $x_1 = 0$, то приходим к выражению (5) для определения расстояния l_{\min} в месте минимального натяжения ленты, в случае $x_1 = L_{np}$, получим выражение для расчета l_{x_1} в месте максимального натяжения:

$$l_{x_1} = l_{\max} = \frac{S_{\max}}{W \cdot K_{np}}, \text{ м}. \quad (7)$$

Разность и количество членов прогрессии (роликоопор

х) Карбасов О.Г. Напряжения в ленте при работе ленточного конвейера. Сб. „Транспорт горных предприятий“. Изд-во МИРГЭМ, Москва, 1963.

конвейера) имеют вид:

$$\alpha = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{n - 1}, \text{ м} \quad (8)$$

$$n = \frac{2 \cdot L_{\text{пр}}}{l_{\max} + l_{\min}}, \text{ шт.}$$

В предыдущих исследованиях решались вопросы определения предельной длины ленточных конвейеров. На практике приходится решать и другую задачу: в зависимости от длины и конфигурации трассы определять основные расчетные параметры конвейерной установки.

В этом случае, принимая $L_{\text{пр}} = L_{\text{тр}}$, найдем максимальное статическое натяжение ленты из условия отсутствия проскальзывания ленты по приводному барабану при заданном тяговом факторе привода:

$$S_{\max} = W_{0y} \cdot K_{\alpha} \cdot L_{\text{тр}}, \text{ Н.} \quad (1a)$$

Найдя S_{\max} , проверим выбранную ленту на прочность и определим расстояния между роlikоопорами по формулам (5 или 6, 7, 8).

Помимо исследований ленточных конвейеров, транспортирующих материалы вверх, изучались вопросы определения некоторых параметров конвейерных установок для перемещения материалов вниз при различных углах наклона их к горизонту. В результате разработана методика определения длины этих конвейерных установок.

Часть третья. ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ МОЩНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Исследование пусковых режимов мощных ленточных конвейеров проводится в зависимости от действия всех нагрузок на ленту: и статических, и динамических.

Сравнение различных вариантов пуска характеризуется -

лось коэффициентом перегрузки ленты в пусковой период K_n (отношением суммарной максимальной нагрузки при пуске к статической, возникающей при установившемся режиме в точке набегания ленты на приводной барабан).

Нахождение наиболее оптимального варианта пуска ленточного конвейера связано с вопросом уменьшения суммарных нагрузок на ленту в период пуска.

В связи с изложенным, в работе предлагается методика определения динамических усилий в ленте и оптимального времени пуска конвейерных установок при различных углах наклона их к горизонту.

1. Исследование оптимальных режимов конвейеров с использованием ЭЦВМ

Одним из важнейших вопросов при расчете и конструировании машин является определение полных расчетных нагрузок, воспринимаемых их элементами.

Если статические нагрузки ленточных конвейеров можно определить довольно легко, то расчет динамических усилий вызывает определенные трудности.

В связи с этим в настоящей работе ставится задача определения максимального $S_{\text{сумм}}$ (статического и динамического) усилия, возникающего в ленте конвейера в период пуска, и нахождения условий, позволяющих свести эти усилия до минимума ^{х)}.

Одним из основных органов конвейерных установок является лента. Все сечения ленты на обеих ветвях в один и тот же момент времени имеют различные скорости и ускорения. Поэтому кинематические параметры реальных конвейерных лент являются функцией не только времени, но и положения сечения.

х) Статические усилия в ленте были определены методом „обхода по контуру“, широко применяемым в СССР и за рубежом, поэтому методы расчета этих усилий в настоящей работе не затрагиваются.

Благодаря действию возмущающих сил привода и упругим свойствам тягового органа конвейера колебательный процесс ленты сопровождается возникновением в ней динамических усилий.

Для анализа этих усилий в конвейере необходимо предварительно составить расчетную механическую схему.

Реальный механизм конвейера с натяжным устройством у привода заменим эквивалентной приведенной схемой (рис. 1), обладающей таким же энергетическим запасом.

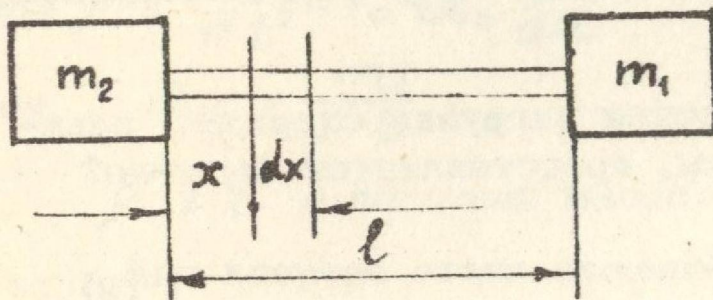


Рис. 1.

Тогда задача сведется к расчету приведенной системы, состоящей из бесконечного числа распределенных и двух сосредоточенных масс.

Распределенные массы системы соответствуют поступательно

движущимся частям конвейера (рабочей и нерабочей ветвям ленты), а сосредоточенные — массам привода и натяжного груза соответственно с приводным и натяжным барабанами (сосредоточенные массы опорных роликов включаются в распределенные массы ленты).

Местом приведения сосредоточенных масс выбраны точки набегания ($x = l$) и сбегания ($x = 0$) ленты с приводного барабана.

Исследование процесса разгона мощных ленточных конвейеров проводилось при следующих допущениях:

- 1) отсутствуют пробуксовка ленты по приводному барабану и трение в механизмах натяжного устройства;
- 2) длина ленты принимается постоянной;
- 3) система консервативная, что позволяет не учитывать затухание колебаний от внутренних и внешних сил;
- 4) на систему воздействует постоянная возмущающая сила F_0 , равная по величине первоначальному максимальному значению избыточной силы.

Экспериментальные исследования упругих свойств многопрокладочных лент конвейеров показывают, что между деформацией ленты и ее натяжением можно принять линейную зависимость.

Так как к линейным системам применим принцип наложения, то динамический анализ конвейеров в работе проводится в условиях собственных и вынужденных колебаний ленты.

Метод решения поставленной задачи состоит в определении величины деформации стержня $\frac{\partial u}{\partial x}$ при известной его жесткости E_0 .

В этом случае динамическая нагрузка стержня, зависящая от времени и координаты, представляется формулой

$$S_g = E_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \quad (9)$$

В такой постановке упругая система может быть описана волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (10)$$

Таким же уравнением описываются продольные колебания стержня.

Здесь u — перемещение сечений стержня;

t — время;

x — координата положения сечения;

a — скорость распространения упругой волны возмущения в стержне.

Процесс разгона системы условно разделен на два этапа: от начала движения массы m_1 до начала движения массы m_2 и от начала движения всей системы до окончания процесса разгона.

На первом этапе осуществляется процесс деформации упругого звена, и при достижении определенного значения этой деформации начинается второй этап, когда вся систе-

ма приходит в движение.

Решение уравнения (10) $U \sim U(x, t)$ для первого этапа получено методом Даламбера

$$U(x, t) = \varphi_1(at - x) + \varphi_2(at + x) \quad (11)$$

при нулевых начальных и следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} &= 0 && \text{при } x = 0, \\ \alpha_1 \rho \cdot l \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} &= F_0 - E_0 \frac{\partial U}{\partial x} && \text{при } x = l, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\alpha_1 = \frac{m_1}{\rho \cdot l},$

ρ и l - погонная масса и длина стержня.

Для второго этапа решение уравнения (10) представ - ляется в виде:

$$U(x, t) = U_1(x, t) + U_2(x, t), \quad (13)$$

где $U_1(x, t)$ и $U_2(x, t)$ - перемещение сечений стержня при его собственных и вынужденных ко - лебаниях.

Перемещения $U_1(x, t)$ и $U_2(x, t)$ определены методом Фурье и обобщенных координат:

$$U_1(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) T_n(t), \quad (14)$$

$$U_2(x, t) = X_0 q_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) q_n(t), \quad (15)$$

где $X_n(x)$ и $T_n(t)$ - фундаментальные функции;

$q_0(t)$ и $q_n(t)$ - обобщенные координаты.

Для первой составляющей начальные условия были определены из положения системы в момент окончания пер - вого периода и начала второго, а граничные условия имеют вид:

$$\alpha_2 \cdot \rho \cdot \ell \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = E_0 \frac{\partial u_1}{\partial x} \quad \text{при } x = 0, \quad (16)$$

$$\alpha_1 \cdot \rho \cdot \ell \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = -E_0 \frac{\partial u_1}{\partial x} \quad \text{при } x = \ell.$$

Для второй — приняты начальные нулевые и следующие граничные условия:

$$\alpha_2 \cdot \rho \cdot \ell \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = E_0 \frac{\partial u_2}{\partial x} \quad \text{при } x = 0, \quad (17)$$

$$\alpha_1 \cdot \rho \cdot \ell \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = F_0 - E_0 \frac{\partial u_2}{\partial x} \quad \text{при } x = \ell.$$

В результате решения уравнения (10) и применения (1) получена формула для определения и анализа максимального динамического усилия в точке набегания ленты на приводной барабан при различных углах наклона конвейера к горизонту:

$$S_g = \frac{2 \cdot v_n \cdot \Lambda}{t_p} \cdot \eta \cdot \left[m_1 + m_2 + \frac{2 \cdot S_{макс}}{W_{0y} \cdot K_a} \cdot \rho \right], \text{ Н}; \quad (18)$$

где m_1 — сумма приведенных масс вращающейся части двигателя, муфт, передач и приводного барабана, кг;

m_2 — приведенная масса натяжного груза и барабана, кг;

$$\Lambda = \sqrt{C_1^2 A_1^2 + (C_1 B_1 - D_1)^2} + D_1 \quad (\text{формулы для расчета величин } C_1, A_1, B_1, D_1 \text{ приводятся в монографии } x).$$

Из уравнения (18) видно, что максимальное динамическое усилие ленты конвейера с предельной длиной в пусковой период находится в функциональной зависимости от угла

x) Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин. Машгиз, 1962.

наклона его к горизонту, т.к. $W_{0y} \sim \varphi_1(\beta)$. График зависимости $S_g \sim \varphi_2(\beta)$ представлен на рис. 2.

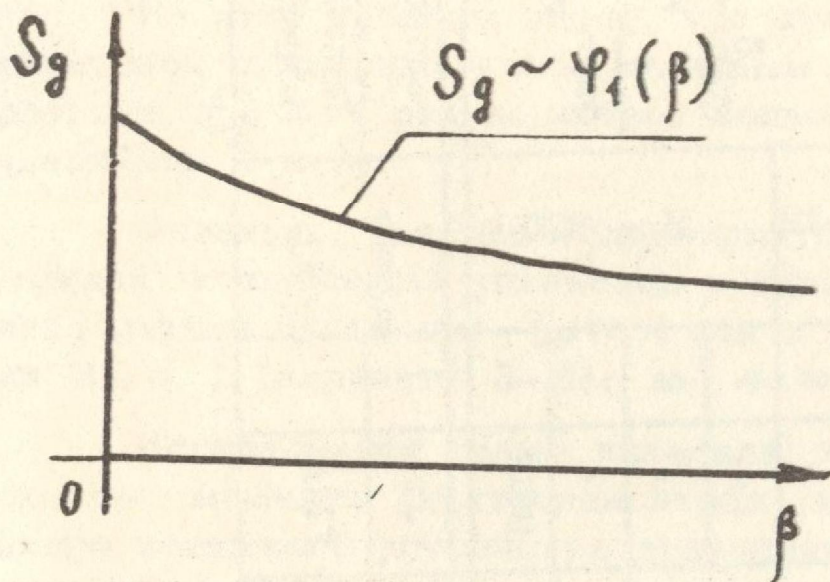


Рис. 2.

Так как величина $\frac{2 \cdot v_{\text{л}}}{t_p}$ является начальным максимальным ускорением при изменении скорости разгона электродвигателя по квадратичной параболе, что соответствует работе асинхронных двигателей с контактными кольцами при трех пусковых

ступенях, то, обозначив его через j , окончательно получим:

$$S_g = \Lambda \cdot j \cdot \eta \cdot \sum m_c, \quad (19)$$

где $\sum m_c = m_1 + m_2 + m_3$;

$$m_3 = \frac{2 \cdot S_{\text{макс}}}{W_{0y} \cdot K_d} \cdot \rho - \text{приведенная масса поступательно движущихся частей конвейера, кг.}$$

В целях анализа пусковых режимов ленточных конвейеров была исследована конвейерная установка с определенными параметрами (таблица 1). При этом рассматривались пусковые режимы незагруженного конвейера без автоматического (варианты 1, 3 и 5) и с автоматическим натяжным устройством (варианты 2, 4, 6), уменьшающим статическое натяжение ленты в пусковой период в допустимых пределах из условия нормальной работы установки, а именно:

$$\frac{S_{\text{ст}}^x}{S_{\text{ст}}} \leq e^{\mu \alpha} \quad (20)$$

где $S_{\text{ст}}^x$ и $S_{\text{ст}}$ - статические усилия в точке набегания и

Таблица 1

Условные обозначения	Тип ленты							Q	M _n	M _г	
		m ₁	m ₂	m ₃	S _{ср} ^x	S _{макс}	W ₀				
Размерность		кг	кг	кг	н	н	н	м/сек	нм	нм	
$M_{\Pi} = M_{\text{макс}}$	Б - 820	1	7750	380	8200	14175	23550	6740	300	1400	230
		2	"	150	"	9380	"	6425	"	1400	220
		3	"	380	"	14175	"	6740	"	700	230
		4	"	150	"	9380	"	6425	"	700	220
		5	"	380	8100	14125	"	6740	327	700	225
		6	"	150	"	9300	"	6425	327	700	215
$M_{\Pi} = \frac{M_{\text{макс}}}{2}$	ОПБ-12										

сбегания ленты с приводного барабана при незагруженной ленте, н.

Результаты исследований приведены в таблице 2.

Из этой таблицы видно, что пуск мощных конвейерных установок с максимальным пусковым моментом при времени разгона $t_p \approx 1$ сек вызывает большую перегрузку ленты (варианты 1 и 2).

Очевидно, наиболее благоприятным вариантом пуска мощной конвейерной установки в данных исследованиях является случай пуска при $t_p \approx 4$ сек и коэффициенте перегрузки $K_n < 1$ (варианты 3-6).

Исследования также показали, что при одинаковом пусковом моменте электродвигателя применение автоматического натяжного устройства позволяет резко снизить величину суммарного максимального усилия в ленте в пусковой период.

Использование ЭЦВМ в процессе исследований позволило значительно ускорить расчет пускового режима мощных конвейерных установок.

Предлагаемый метод динамического анализа мощных ленточных конвейеров позволяет определять как суммарные, так и составляющие динамические нагрузки ленты в результате собственных и вынужденных колебаний.

Наиболее оптимальным вариантом при пуске мощных конвейерных установок является пуск с автоматическим натяжным устройством.

2. Определение оптимального времени пуска конвейерных установок

Как отмечалось выше, динамические нагрузки, возникающие в ленте в пусковой период, главным образом зависят от избыточного момента, но т.к. последняя величина является функцией времени разгона электродвигателя, то с целью оптимизации пускового режима мощных ленточных конвейеров в работе поставлена задача определения оптимального времени пуска конвейерных установок с предельной дли-

Таблица 2

Условные обозначения	Тип ленты		F_0	t_p	S_g	$S_{сум}$	K_n
Размерность			н	сек	н	н	-
$M_{\Pi} = M_{\text{макс}}$	Б - 820	1	34660	1,56	23382	37557	1,595
		2	34975	1,53	23396	32776	1,390
		3	13960	3,88	9417	23490	0,997
		4	14275	3,74	9549	18927	0,804
		5	14050	3,84	9420	23543	1,0
		6	14340	3,68	9529	18826	0,8
$M_{\Pi} = \frac{M_{\text{макс}}}{2}$	ОПБ-12						

ной при различных углах наклона их к горизонту.

При решении задачи основным критерием (наиболее благоприятным вариантом) выбран случай, когда сумма максимального статического усилия $S_{ст}^x$ (при незагруженной ленте) и максимального динамического усилия S_d удовлетворяет условию

$$S_{ст}^x + S_d = K_n \cdot S_{макс}, \quad (21)$$

где K_n — коэффициент перегрузки ленты в пусковой период работы конвейера.

Используя условие (21), найдем оптимальное время пуска конвейерных установок с предельной длиной при различных углах наклона их к горизонту:

$$t_{опт} = \frac{2 \cdot v_n \cdot \Lambda}{K_n \cdot S_{макс} - S_{ст}^x} \left[m_1 + m_2 + \frac{2 \cdot S_{макс}}{W_{04} \cdot K_d} \cdot \rho \right] \cdot \eta, \text{ сек}; \quad (22)$$

или

$$t_{опт} = \frac{2 \cdot v_n \cdot \Lambda}{K_n \cdot S_{макс} - S_{ст}^x} \cdot \eta \sum m_c, \text{ сек}. \quad (23)$$

Анализ коэффициентов, определяющих Λ , показал, что эта величина всегда меньше единицы. Для приближенного расчета оптимального времени пуска мощных ленточных конвейеров можно использовать формулу (23), принимая $\Lambda \approx 1$. В таком расчете $t_{опт}$ будет больше действительного значения времени разгона электродвигателя.

В главе приводится также методика определения области оптимальных значений передаточных отношений механизмов мощных ленточных конвейеров.

3. Определение динамических усилий ленты конвейерной установки методом электрического моделирования

Применение метода электромеханических аналогий, основанного на математической аналогии между исследуемой

системой и моделью, является одним из прогрессивных способов исследования машин: он позволяет выполнить необходимые исследования с достаточной для практики точностью и исключает необходимость дорогостоящих натуральных экспериментов.

Для изучения пусковых процессов ленточных конвейеров было изготовлено электрическое моделирующее устройство.

Электрическое моделирующее устройство состоит из трех основных частей:

$$ВВ \longrightarrow М \longrightarrow ИУ,$$

где ВВ — влияние внешнего воздействия (модель привода конвейера);

М — модель исследуемого ленточного конвейера;

ИУ — измерительные устройства.

Электрическая модель рабочего органа конвейера составлена на основе соответствия дифференциальных уравнений однородного упругого стержня

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} \quad (24)$$

и электрической линии с распределенными постоянными (по второй системе аналогий)

$$\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} = \frac{1}{L \cdot C} \cdot \frac{\partial^2 i}{\partial x^2} \quad (25)$$

Если упругий стержень представить конечным числом дискретных масс, соединенных невесомыми упругими связями, то в электрической системе ему будет соответствовать конечное число контуров, состоящих из индуктивностей и емкостей.

Исследования показали, что без большой погрешности число этих контуров можно принять равным 11–15.

В связи с этим модель рабочего органа ленточного конвейера была собрана из 13 электрических контуров, каждый из которых содержит индуктивность L и емкость C , моделирующих соответственно эластичность и массу груже-

ной и порожней ветви ленты.

На основе соответствия уравнений движения в механической и электрической системах смоделированы привод и натяжное устройство конвейера.

В данном случае внешняя сила моделируется током. В качестве источника тока использован низкочастотный импульсный генератор Г-5-15, а в качестве измерительного устройства - электронный осциллограф С-1-1 (СИ-1) и шлейфный МПО-2. Катушки индуктивности модели изготовлены из ферритовых сердечников Ф-1000, каждая из них состоит из двух полуколец и обмоточного провода типа ЛЭШО. При этом наличие и регулировка величины зазора между полукольцами позволяет изменять индуктивность катушек в широких пределах, сохраняя при этом высокую добротность (до 280), что в конечном счете позволяет моделировать установки практически любых параметров.

Величины индуктивностей катушек и емкостей конденсаторов измерялись с помощью куметра ИДН-1 и универсального моста УМ-3.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Теоретические и экспериментальные исследования мощных ленточных конвейеров, проведенные в работе, показали, что:

- а) предельную длину конвейера можно определять только исходя из условия отсутствия проскальзывания ленты на приводном барабане с последующим расчетом расстояний между рабочими роlikоопорами;
- б) расстояния между рабочими роlikоопорами конвейера необходимо определять в зависимости от натяжения ленты: для коротких установок, длиной менее 100-200 м, шаг роlikоопор принимать постоянным, для длинных - переменным (по закону арифметической прогрессии);
- в) динамический анализ мощных ленточных конвейеров необходимо проводить с учетом всей массы поступательно

движущихся и вращающихся частей конвейера;

- г) наиболее оптимальным вариантом пуска мощных конвейерных установок является пуск с автоматическим натяжным устройством.

2. Результаты исследования позволяют сделать следующие рекомендации:

- а) расстояния между рабочими роlikоопорами длинных высокопроизводительных конвейеров должны быть переменными;
- б) натяжение ленты конвейера производить с помощью автоматического натяжного устройства.

3. В результате теоретических исследований разработана методика определения основных параметров и расчета пускового режима мощных конвейерных установок для транспортирования материалов вверх при различных углах наклона их к горизонту:

- а) предельной и оптимальной длины конвейерных установок;
- б) расстояния между роlikоопорами рабочей ветви коротких и длинных конвейерных установок;
- в) области оптимальных значений передаточного отношения механизма привода конвейерных установок;
- г) максимальных динамических нагрузок в ленте в пусковой период при различных углах наклона конвейера предельной длины с учетом упругости ленты и всей массы поступательно движущихся и вращающихся частей конвейера;
- д) оптимальной продолжительности времени разгона электродвигателя конвейера.

4. Приводится методика определения основных параметров мощных ленточных конвейеров при заданной длине трассы.

5. Предложена методика определения предельной длины мощных конвейерных установок для транспортирования материалов вниз при различных углах наклона их к горизонту.

Результаты исследований этих конвейеров показали:

а) прочностной расчет уклонных конвейеров в диапазоне углов $-4^{\circ} \div -8^{\circ}$ необходимо проводить из условий работы порожнего конвейера;

б) максимум длины конвейера при постоянном натяжении ленты соответствует углам наклона $-4^{\circ} \div -8^{\circ}$;

в) наивыгоднейшими углами наклона мощных ленточных конвейеров с точки зрения стоимости ленты и затрат мощности привода практически являются углы наклона $-4^{\circ} \div -8^{\circ}$. Следовательно, наиболее оптимальными с точки зрения стоимости всей установки являются конвейеры, имеющие такие же углы наклона.

Основное содержание диссертации докладывалось:

на научном семинаре лабораторий „Механизация подземных горных работ” и „Механизация процессов погрузки и транспорта руды” института горного дела АН Каз. ССР (июль 1966 г.);

на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова в 1965 - 1967 гг.

Материалы диссертации освещены в работах:

1. А.Д. Спицын, С.А. Джиенкулов. Определение длины ленточного конвейера на один привод. Сб. „Геология и горное дело” (тематический сборник научных работ аспирантов и соискателей), МВ и ССО Каз.ССР, № 1, Алма-Ата, 1964.

2. С.А.Джиенкулов. Исследование некоторых параметров ленточных конвейеров. Тезисы докладов XXU11 научной конференции ОТИ имени М.В.Ломоносова, посвященной памяти М.В.Ломоносова (1765-1965 гг.), Одесса, 1965.

3. С.А. Джиенкулов, П.Н. Платонов. Исследование динамики пуска ленточных конвейеров на электрическом моделирующем устройстве. Тезисы докладов XXU111 научной конференции ОТИ имени М.В.Ломоносова, Одесса, 1966.

4. П.Н.Платонов, С.А.Джиенкулов. Исследование некоторых оптимальных параметров ленточных конвейеров. Сб. „Технические науки” (тематический сборник научных работ аспирантов и соискателей) МВ и ССО Каз.ССР, № 3, Алма-Ата, 1967.

5. П.Н.Платонов, С.А.Джиенкулов. К вопросу определения расстояния между роlikоопорами ленточных конвейеров. Сб. „Технические науки”, № 3, Алма-Ата, 1967.

6. П.Н.Платонов, С.А.Джиенкулов. О расстоянии между рабочими роlikоопорами длинных ленточных конвейеров. Сб. „Технические науки”, № 3, Алма-Ата, 1967.