

АБДИЕВ ОРИФЖОН ХАФИЗОВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

(Монография)

АЛМАЛЫК–2020

АБДИЕВ ОРИФЖОН ХАФИЗОВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ
ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ
КОНВЕЙЕРОВ**

(Монография)

ТАШКЕНТ

2020

УДК 621.313.333

ББК

О. Х. Абдиев

Математическое моделирование переходных процессов асинхронных двигателей ленточных конвейеров

монография / О. Х. Абдиев ТГТУ АФ. -

В данной монографии приведены последние сведения о эксплуатации электрооборудований ленточных конвейеров в горной промышленности, опыт эксплуатации конвейерных установок зарубежных стран, изучение состояния эксплуатации электрооборудования ленточных конвейеров на разрезе Ангренский, анализ пусковых и тормозных режимов работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров горной промышленности. Приведены экспериментальные определения параметров конвейерных установок влияющих на момент сопротивления АД, а также моделирование асинхронного двигателя в пакете Матлаб.

Настоящая монография содержит сведения о теории и практике комплексного подхода электротехнических образований горно-металлургических производств, которые могут быть полезны для бакалавров и магистрантов горно-электромеханической специальности, а также докторантов, научных сотрудников и специалистов, работающих в области горно-металлургического производства.

Рецензенты:

Декан электроэнергетического факультета ТГТУ,
д-р техн. наук, проф.

Ж.Б.Тошев;

Доцент кафедры «Электротехника и электромеханика»
Алмалыкского филиала ТГТУ, канд. техн. наук, доцент

А. Мадусманов

ISBN

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. I ГЛАВА. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	13
§1.1. Опыт эксплуатации конвейерных установок зарубежных стран.....	13
§1.2. Изучение состояния эксплуатации электрооборудования ленточных конвейеров на разрезе Ангренский.....	22
§1.3. Анализ пусковых и тормозных режимов работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров горной промышленности.....	34
2. II ГЛАВА. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ	45
§2.1. Исследование движения ленты с грузом по роlikоопорам.....	45
§2.2. Влияние состояния роликов на эксплуатационные показатели конвейера.....	60
§2.3. Исследование неравномерности грузопотока на конвейере.....	65
§2.4. Влияние климатических и атмосферных факторов	71
§2.5. Экспериментальные определения параметров конвейерных установок влияющих на момент сопротивления АД.....	79
3. III ГЛАВА. РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ВЫБОРА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КОНВЕЙЕРНЫХ УСТАНОВОК С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ГРУЗОПОТОКОВ	86
§3.1. Условия эксплуатации электрооборудований и электродвигателей конвейерных установок на карьерах.....	86
§3.2. Влияние кусковатности груза на выбора мощности электродвигателя ленточных конвейеров.....	91
§3.3. Уравнения напряжения асинхронного двигателя ленточных	

конвейеров.....	95
4. IV ГЛАВА. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	105
§4.1. Общие рассуждения.....	105
§4.2. Расчет режима торможения асинхронного двигателя ленточного конвейера.....	106
§4.3. Расчет пусковых режимов работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров.....	107
§4.4. Моделирование асинхронного двигателя в пакете Матлаб.....	118
Заключение.....	122
Список использованной литературы.....	123

ВВЕДЕНИЕ

В мировой горнодобывающей промышленности важно повышать энергоэффективность ленточных конвейеров и экономить электроэнергию. «Благодаря использованию ленточных конвейеров в карьерах по всему миру значительно сокращается расстояние транспортировки горных пород, сокращаются расходы на доставку на 30-40% и удваивается производительность труда». В связи с этим большое внимание уделяется оптимизации асинхронных двигателей ленточного конвейерного транспорта, нормализации потребляемой электроэнергии, поиску комбинационных методов добычи полезных ископаемых из горизонтов глубоких карьеров и повышению надежности конвейерного оборудования.

В Республики для повышения эффективности конвейерного транспорта на открытых горных предприятиях принимаются широкие меры, включая внедрение технологии циклического транспорта, частотное регулирование электроприводов, а также внедрение энергоресурсосберегающих технологий. Стратегия развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы включает в себя следующие задачи: «... снижение энергетических и ресурсных мощностей экономики в качестве приоритета в ближайшем будущем, широкое внедрение энергосберегающих технологий в расширение производства возобновляемых источников энергии». Для решения этой задачи, включая определение фактических коэффициентов сопротивления конвейерных лент и роликов, разработан метод расчета дополнительной потребляемой мощности ленточных конвейеров с учетом габаритного объема, массы и скорости транспортируемых крупнокусковых грузов, а также рациональное использование асинхронного двигателя для экономии энергии и эффективного использования при разработке карьеров. Одной из важных задач является разработка системы управления и обеспечение энергосберегающего режима конвейерного транспорта.

В мире проводятся исследования, направленные на повышение производительности карьера, снижение затрат на добычу и транспортировку горных пород, разработку алгоритмов энергоэффективного управления и снижение потерь при переходных процессах асинхронных двигателей. Кроме того, рассматриваются асинхронные двигатели, включая показатели качества полезных ископаемых для повышения энергоэффективности, а также запуск и управление асинхронным приводом, определение дополнительного крутящего момента для асинхронного двигателя, коэффициентов сопротивления ленты и роликов, а также важно определить энергопотребление.

Настоящая монография содержит сведения о теории и практике комплексного подхода электротехнических образований горно-металлургических производств, которые могут быть полезны для бакалавров и магистрантов горно-электромеханической специальности, а также докторантов, научных сотрудников и специалистов, работающих в области горно-металлургического производства.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1 Опыт эксплуатации конвейерных установок зарубежных стран

Транспортирование горной массы ленточными конвейерами получает на карьерах многих зарубежных стран всё более широкое распространение. Это объясняется следующими преимуществами конвейерного транспорта перед другими видами транспорта:

- сравнительно небольшое количество обслуживающего персонала, благодаря чему достигается высокая производительность труда на карьерном транспорте;

- непрерывность транспортирования груза, чем обеспечивается наиболее высокая производительность экскаваторов;

- непрерывность потока способствует наибольшей ритмичности работы всего горнотранспортного оборудования и облегчает возможность комплексной автоматизации процессов;

- способность транспортировать насыпной материал на подъем до 18° (при специальных конструкциях конвейеров до $35-40^{\circ}$) благодаря чему значительно сокращаются протяженность транспортных коммуникаций, объем горнокапитальных работ и разнос бортов карьеров, а следовательно, и сроки их строительства, что особенно существенно при разработке карьеров глубоких или с малым сроком отработки.

Постоянное усовершенствование конструкций конвейеров и появление новых конструктивных решений по конвейерам и другому технологическому оборудованию способствовало тому, что применение в карьерах конвейерного транспорта характеризуется ростом его параметрических показателей (по производительности, длине в отдельном ставе и в конвейерной линии, мощности двигателей, величине рабочей скорости и пр.).

В настоящее время в зарубежной практике имеются конвейеры, производительность которых доходит до 25 000 м³/час. Скорость движения ленты доходят до 10 м/с, установленная мощность двигателей до 10 000 кВт.

В соответствии с горно-техническими условиями разработки месторождений в отдельных странах определились два направления совершенствования и развития конвейерного транспорта. Так, если в странах Европы конвейерный транспорт используется в основном для транспортирования рыхлых вскрышных пород и угля, то в США и ряде других стран он применяется для перемещения руды и скальных пород [3; с.66-72, 4, 141].

В Германии ленточные конвейеры применяются на карьерах Лаузитского и Рейнского бурого угольных бассейнов. Наиболее показателен опыт применения конвейерного транспорта на тех угольных карьерах, где в комплексе с роторными экскаваторами используются высокопроизводительные конвейерные установки. Распространение конвейерного транспорта на карьерах Рейнского бассейна было вызвано необходимостью в транспортировании весьма больших объемов вскрышных пород и угля при глубине разработки до 250 м, развитию его также способствовали большие экспериментальные работы, проведенные такими известными фирмами, как «Эйкгофф», «Крупп» и др [3; с.66-72, 4].

Современное состояние конвейерного транспорта на карьерах Германии характеризуется следующими данными [3; с.66-72, 4]:

- достигнута производительность конвейеров 25000 м³/час;
- установленная мощность двигателей на отдельных конвейерных установках достигает 4-5 тыс. кВт.
- скорость движения ленты доходит до 8 м/сек;
- длина конвейерных ставов составляет 400-1800 м и более, имеются тенденции дальнейшего увеличения длины става;
- несущие конструкции конвейеров состоят из отдельных секций, что облегчает монтаж, демонтаж и передвижку конвейерных линий, позволяет

удлинять или укорачивать конвейеры за счет добавления или удаления отдельных секций.

Кроме того, для техники конвейерного транспорта последнего времени характерно увеличение угла наклона боковых роликов, что позволяет увеличить погонную нагрузку материала на ленте. Как правило, получают применение резиновые ленты, имеющие повышенную прочность. Сложившийся опыт работы конвейеров в Германии дал возможность определить некоторые обстоятельства, а именно [142]:

- необходим ежедневный осмотр и ремонт ленты специальной бригадой;

- требуется создание рациональных типов и конструкций погрузочных и перегрузочных пунктов на крупных конвейерных установках, с целью исключения неисправностей в места перегрузки материала (удар кусков транспортируемого груза и повреждение ленты и роликов);

- использование разовых роликов.

В Чехии впервые конвейерный транспорт применен в 1959 г. на карьере им. А.Запотоцкого [3; с.66-72, 4]. Для транспортирования угля на уступе были установлены три передвижных конвейера. От забойных конвейеров уголь транспортировался тремя стационарными конвейерами до перегрузочного бункера. Ширина ленты конвейера 1000 мм, скорость движения 3,15 м/сек, производительность 600 т/час. Фактическое использование конвейеров по производительности на карьере составляло 60-70 %, однако и в этих условиях получили подтверждение основные преимущества конвейерного транспорта и целесообразность замены им рельсового транспорта.

В Польше ленточные конвейеры, [3; с.66-72, 4] применяемые на открытых горных разработках, делятся на две категории:

- конвейеры со скоростью движения ленты ниже 2,5 м/сек и шириной до 1200 мм;

- конвейеры со скоростью движения ленты выше 2,5 м/сек при ширине ленты до 2750 мм.

Конвейеры первой группы применяются на небольших карьерах Польши уже много лет. Конвейеры второй группы применяются на крупных буроугольных карьерах.

Конвейерный транспорт применяется также на карьерах Венгрии, Болгарии и Румынии [3; с.66-72, 4].

В Венгрии конвейеры используются как для транспортирования угля, так и породы, ширина конвейерных лент 800-1200 мм.

В Болгарии на угольных карьерах «Большевик» и «Чукурово» уголь транспортируется конвейерами с лентой шириной 800 мм (забойные) и 1200 мм (магистральные). Скорость движения лент 1,32 м/сек. Протяженность конвейерных лент на этих карьерах составляет соответственно 1340 и 1700 м.

В Румынии конвейерный транспорт применяется на угольном карьере «Ровинари». Применение его здесь обусловлено также сложными гидрогеологическими условиями, в силу которых значительно усложнено содержание и передвижка железнодорожных путей [3; с.66-72, 4].

В США и ряде других стран, как отмечалось выше, конвейерный транспорт применяется, в основном, для перемещения руды и скальных пород. При этом, применение конвейерного транспорта в сочетании с внутрикарьерным автотранспортом является распространенной схемой на ряде рудных карьеров, достигших большой глубины. Значительное распространение комбинированный транспорт с применением самосвалов и конвейеров получил на карьерах района Месаби [3; с.66-72, 4].

На железорудных карьерах штата Миннесота используется система ленточных конвейеров, загружаемых через передвижной бункер драглайном. Подобная схема весьма распространена также на угольных карьерах Англии. Длина конвейерной линии доходит до 9 км.

По капитальным затратам для этих условий стоимость железнодорожного транспорта на 50 %, а автомобильного транспорта на 30

% ниже, чем системы конвейерного транспорта. Вместе с тем при транспортировании конвейерами эксплуатационные расходы соответственно на 40 и 33 % ниже, чем при железнодорожном и автомобильном транспорте.

По данным печати, в США сформированы четыре основных направления повышения эффективности конвейерного транспорта:

1. Увеличение скорости движения конвейерных лент. Например, для горизонтального конвейера длиной 610 м производительностью 1800 т/час скального груза с кусками размером 102 мм указывается, что с увеличением скорости движения рабочие параметры и расчетные показатели конвейера изменяются, как показано в табл.1.1 [3; с.66-72, 4].

2. Увеличение угла наклона боковых роликов до 35°.

3. Увеличение длины конвейерных ставов. Для конвейерной линии длиной 1521 м, представленной одним или пятью ставами, параметры и рабочие показатели применения конвейеров меняются, как показано в табл.1.2 [3; с.66-72, 4].

Производительность этих конвейеров, принятая в расчетах, составляет 1800 т/ч скального груза с кусками размером до 102 мм, ширина ленты 1067 мм, скорость 2,8 м/сек.

Стоимость одного конвейера большой протяженности меньше, так как в этом случае отсутствуют промежуточные приводные станции и четыре перегрузочных пункта. Этим сокращается также число возможных пунктов повреждения ленты и уменьшается количество обслуживающего персонала.

Таблица 1.1

Параметры ленточного конвейера при разных значениях скорости (нет ссылки по тексту на таблицу).[94]

Скорость движения ленты, м/сек	Ширина ленты, мм	Мощность на приводном барабане, кВт	Мощность установленных двигателей, кВт	Толщина рабочей обкладки ленты, мм	Стоимость металлоконструкции конвейера, %	Стоимость ленты, %
2,03	1220	88,3	110	4,75	100	100
2,8	1067	93,5	110	5,55	89	83
3,91	915	99	110	6,35	82	74

4. Применение вместо одного - двух или большего числа двигателей меньшей мощности. Однодвигательные установки с редукторами и пусковой аппаратурой имеют несколько (на 6-12%) меньшую стоимость, чем многодвигательные. Однако, при этом обеспечивается большая эксплуатационная гибкость за счет отключения или выключения отдельных двигателей при различных нагрузках на конвейере и облегчаются условия монтажа.

Таблица 1.2.
Показатели при замене пяти конвейеров одним [94].

Показатели	Линия из пяти конвейеров длиной по 307 м	Конвейерный став длиной 1521 м
Требуемая мощность привода, кВт	290	225
Установленная мощность двигателей, кВт	5x73	183+76
Общая длина ленты, м	3160	3060
Толщина рабочей обкладки ленты, мм	6,35	4,75
Общая стоимость конвейера, %	100	92
Стоимость конвейера без ленты, %	100	75

Современный карьер представляет собой предприятие с высоким уровнем механизации производственных процессов, осуществляемой на базе электрифицированного оборудования. Условия эксплуатации электрооборудования на карьерах определяются в основном двумя факторами-технологией ведения горных работ и климатическими условиями.

С точки зрения технологии на всех предприятиях открытой добычи полезных ископаемых специфическим является непрерывное перемещение фронта очистных и вскрышных забоев, т.е. непрерывное перемещение рабочего места основного оборудования (ленточных конвейеров, экскаваторов, бурильных машин и т. п.). Для питания электрической энергией постоянно передвигающегося оборудования требуются передвижные трансформаторные подстанции, передвижные силовые и осветительные линии электропередачи (ЛЭП), передвижные переключательные пункты и т. п. Кроме того, на большей части карьеров выемка полезных ископаемых и

вскрыша пород сопровождаются взрывными работами, что вызывает необходимость создания надежной механической защиты электрического оборудования от ударов взорванной породой и дополнительных перемещений горных машин во время взрывных работ на большие расстояния от забоев. Все это усложняет эксплуатацию воздушных и кабельных линий электропередач, передвижных трансформаторных подстанций и переключательных пунктов.

Большинство карьеров работает круглосуточно в течение года, независимо от погоды и колебаний температуры. Поэтому эксплуатация электрооборудования (электродвигателей) во многом определяется климатическими условиями зоны, в которой расположен карьер. Так, например, в районах средней полосы территории СНГ дождь и мокрый снег длятся до 500 ч/год, а в среднем на территории СНГ продолжительность такой погоды достигает 760 ч/год, что составляет 10-12% времени работы электроустановок (электродвигателей) на карьерах в течение года [5-9; с.11-35, 10; с.28-30, 11, 12; с.31-34, 13; с.20-47, 14, 15, 16; с. 29-31, 17; с.46-47, 18; с.27-29, 19; с.117-119, 20; с.59-63, 21, 22; с.37-43, 23; с.88-91, 24-33, 34; с.245-248, 35; с.29-33, 36; с.50-54, 37; с.472-476, 38, 39].

Эксплуатационная надежность электрооборудования зависит от резкого перепада температур и влажности окружающей среды. В этой связи максимальной положительной температуры воздуха, в качестве окружающей, может быть принята 35-45 °С, которая принята для проектирования электрических машин и аппаратов. Поэтому нужно обеспечить снижение допустимой нагрузки по току для оборудования и проводников. В этой связи эксплуатация электрических двигателей, аппаратов и проводов малоэффективна, т.к. используется не полностью по номинальной нагрузке по току. При этом пониженные температуры для северных регионов СНГ так же оказывают негативное влияние на работу кабельных линий электропередачи и аппаратов с масляным заполнением, т.к. происходит нарушение в слое изоляции (увеличивается хрупкость) и

наблюдается загустение масла, что приводит к нарушению нормальной работы аппарата. Также это вызывает снижение надежности механических узлов электрических двигателей, таких как валы, муфты и т. п. [143].

Повышенная влажность воздуха, также оказывает негативное влияние на работу электрооборудования и вплоть до пробоя изоляции, т.к. наблюдается образование конденсата на обмотках и других электрических частях оборудования. Действующее электрическое оборудование, выпущенное в СНГ ориентировано на работу при относительной влажности не выше 75%. В этой связи при работе на открытых разработках в горных районах (влажность более 75%), необходимо применять электрооборудование с влагостойкой изоляцией или с пропиткой ее влагостойкими лаками, т.к. эксплуатация электрооборудования (электродвигателей) в нормальном исполнении недопустима [143].

В горных районах, где наблюдаются частые грозы и сильные ветра необходима и обоснована установка дополнительных средств защиты от грозовых разрядов и механических приспособлений для закрепления опор, особенно для устройств переносных и передвижных линий электропередач, [144].

В странах СНГ широко применяется конвейерный транспорт на угольных разрезах России, Украины, Казахстана и др. К примеру, можно назвать Богословский карьер, Вахрушевуголь, Волчанскуголь, Черемховуголь, Коркинский разрез, буроугольные карьеры Днепровского бассейна (Байдаковский, Семеновско-Головковский, Юрковский), «Экибастузуголь» и «Карагандаразрезуголь» и др [5-9; с.11-35, 10; с.28-30, 11, 12; с.31-34, 13; с.20-47, 14, 15, 16; с. 29-31, 17; с.46-47, 18; с.27-29, 19; с.117-119, 20; с.59-63, 21, 22; с.37-43, 23; с.88-91, 24-33, 34; с.245-248, 35; с.29-33, 36; с.50-54, 37; с.472-476, 38, 39].

Срок эксплуатации ленточного конвейерного транспорта на вышеназванных карьерах достаточно большой и исчисляется многими годами. При этом производительность данного вида оборудования для

транспортирования угля при часовой производительности может достигать тысячами, а иногда и десятками тысяч кубических метров [145].

Так, например, машиностроительная промышленность России производит широкий ассортимент конвейеров, которые успешно работают на угольных разрезах, количество разрезов постоянно растет. Так, угольная отрасль Кузбасса представлена 44-мя разрезами, за последние 6 лет введено в эксплуатацию 16 угольных разрезов. В 2004 году введены в строй 5 разрезов. Новые введенные предприятия - это прежде всего высокомеханизированные и автоматизированные производства с принципиально новыми технологиями добычи угля. Примером может служить разрез «Распадский», на котором впервые в России применена уникальная технология открыто - подземной добычи угля при отсутствии людей в очистных забоях. При применении этой технологии обеспечивается абсолютная безопасность рабочих, высокая производительность и рациональное использование недр за счет выемки запасов угля, которые не могут быть отработаны традиционными технологиями [29, 146].

На Карпинском разрезе (Челябинский угольный бассейн) вскрышные работы и добыча угля ведутся с помощью экскаваторов, транспортирование угля до обогатительной фабрики - ленточными конвейерами. В 2005 году введен в эксплуатацию грузовой конвейерный наклонный ствол с установкой в нем мощных ленточных конвейеров [25].

В 2004 году осуществлено технологическое объединение шахты «Карпинская» и Карпинского разреза. Для этого пройдены два главных конвейерных уклона, по которым уголь шахты передается на конвейеры разреза и доставляется до обогатительной фабрики.

Параметры Карпинского разреза: длина - 3 км, ширина - 2,6 км, глубина - 500 м. Периметр по поверхности - 9,8 км. Длина ленточных конвейеров - 9,6 км [25, 146].

В Экибастузском бассейне (Казахстан) добыча угля к 2010 году достигнет 105 млн.т за счет технического перевооружения сверхмощных разрезов «Богатырь» и «Восточный», внедрения на добыче угля поточной технологии (комплексов производительностью 5000 т/ч), применения при разработке, транспортировании и складировании пород вскрыши циклично-поточной технологии (комплексов производительностью 8000 м³/час) [31].

В результате реализации намеченной программы технического развития угольных разрезов Казахстана в значительной мере увеличится удельный вес использования на разрезах высокоэффективной техники непрерывного действия. Объем угледобычи роторными экскаваторными 2020 г. возрастет до 160 млн.т в год, объем транспортировки угля конвейерным и автоконвейерным транспортом увеличится почти в 7 раз (с 22 до 160 млн.т.). Будет внедрена разработка вскрышных пород роторными экскаваторами (до 82 млн.т в год) и транспортировка их на поверхность конвейерным транспортом (72 млн.т в год) [31].

Из анализа литературных источников видны, что переходные процессы асинхронных двигателей ленточных конвейеров изучены недостаточно.

1.2. Изучение состояния эксплуатации электрооборудований ленточных конвейеров на разрезе Ангренский

Горно – геологические условия залегания пластов Ангренского месторождения предопределили применение на разрезе транспортной системы разработки с перемещением вскрышных пород во внешние и внутренние отвалы средствами железнодорожного, автомобильного и конвейерного транспорта.

Процесс добычи угля на участке «Мощном» (добычные уступы) обрабатывается экскаваторами с погрузкой на уровне стояния в конвейерный транспорт. Низкозольные полезные ископаемые «Верхнего» и «Мощного» комплексов добывается одноковшовыми экскаваторами с последующей сортировкой на классы 50-300 мм и 0-50 мм. При этом поставка крупно-сортового угля осуществляется в коммунально-бытовую сферу, а отсевы

направляются на пылевидное сжигание предприятиям ГАК «Узбекэнерго». Рассмотрим технологические схемы добычи, рассортировки и отгрузки угля на разрезе «Ангренский» [94; с.79-103.].

Основная добыча угля на разрезе производится на двух добычных участках №1 и №2. С участка №1 (южная часть разреза до пикета 16) транспортировка угля с забоя до конечной точки производится комбинированным способом конвейерным транспортом и автотранспортом. Уголь в забоях «Верхнего» комплекса в южной части разреза до ПК-16 добывается экскаватором ЭКГ-5У и перевозится на перегрузочный пункт участка №17, соединенный технологическим комплексом конвейерным транспортом. Добыча угля с «Мощного» комплекса производится экскаваторами такого же типа с отгрузкой на ленточный конвейер (таблица 1.3) [94; с.79-103].

Транспортировка добытого с забоя угля производится комбинированным транспортом:

- автосамосвалами БелАЗ-549, БелАЗ-7519 грузоподъемностью 30-40 т; среднее расстояние откатки до приемного бункера - 0,7 км;

- конвейерным транспортом КЛКЗ-250, КЛН-500 (забойные конвейера), 2ЛУ-120, ЛКУ-250, КЛ-120 (магистральные конвейера) с шириной ленты 1200 мм; скорость движения забойных конвейеров - 2,1 м/сек, магистральных - 3,1 м/сек. Технические характеристики конвейеров приведены в таблица 1.3;

- железнодорожным транспортом (тяговые агрегаты ПЭ - 2М, вагоны, думпкары ВС-105 с геометрическим объемом кузова 48,5 м³ и грузоподъемностью 105 т. Число думпкаров в составе - 9, сцепной вес локомотивосостава 150 - 360 т, емкость состава 185 - 360 м³, среднее расстояние откатки до рассортировочного комплекса - 2,2 км.

Таблица 1.

Технические характеристики ленточных конвейеров [94]

Тип конвейера	Мощность двигателя, кВт	Количество оборотов, об/мин	Длина конвейера, м	Угол наклона конвейера, град.	Количество роликов		Производительность конвейера, т/ч
					верхн.	нижн.	
1ЛУ-120Б	500	1000	250	11	705	50	350
КЛКЗ-250	250	750	354	4	975	66	
1ЛУ-120Б	500	1000	496	4	1389	94	
КЛКЗ-250	250	750	295	4	765	5	
КЛКЗ-250	250	750	255	6	711	48	
КЛ-120	160	1000	130	6	360	24	
Перегружатель СП-202	55	1500	14,5	0	Цепь СП-18х64		

Новые схемы ЦПТ на разрезе Ангренский [94; с.79-103, 147].

В проводимых научных исследованиях на тему «Исследования, разработка мероприятий и рекомендаций по повышению эффективности и надежности циклично-поточной технологии с применением мобильных дробильно-перегрузочных комплексов» [94; с.79-103, 147]. рассматривалась циклично-поточная технология на вскрышном комплексе, которая состоит из следующих технических звеньев:

- экскаватор (ЭКГ-15) – 3 шт.;

- мобильная дробильная установка, осуществляет приемку горной массы от карьерного экскаватора ЭКГ-15 с последующей погрузкой ее на забойный межуступный перегружатель, производительность 4000 т/ч, объем поставки 3 шт.

- забойный межуступный перегружатель мостового типа, используется как связующее звено между мобильной дробилкой и забойным конвейером.

- ленточный конвейер используется для транспортирования горной массы с мобильной дробилки до отвалообразователя. Общее количество вскрышных ленточных конвейеров 14;

- забойный межступный перегружатель с загрузочной тележкой, используется как связывающее звено между дробилкой и забойным конвейером. количество - 2 шт.,

-отвалообразователь-предназначен для сбрасывания вскрышного грунта во внутренний отвал, длина разгрузочной стрелы 60 метров, общая длина 10м производительность $Q=12100$ т/ч., количество 1 шт [147].

Предложенная схема [147] осуществляет перегрузку дробленой горной массы от мобильной дробилки на забойный ленточный конвейер, где высота обрабатываемого уступа 15м, производительность $Q=4000$ т/ч, объем поставки - 3 шт

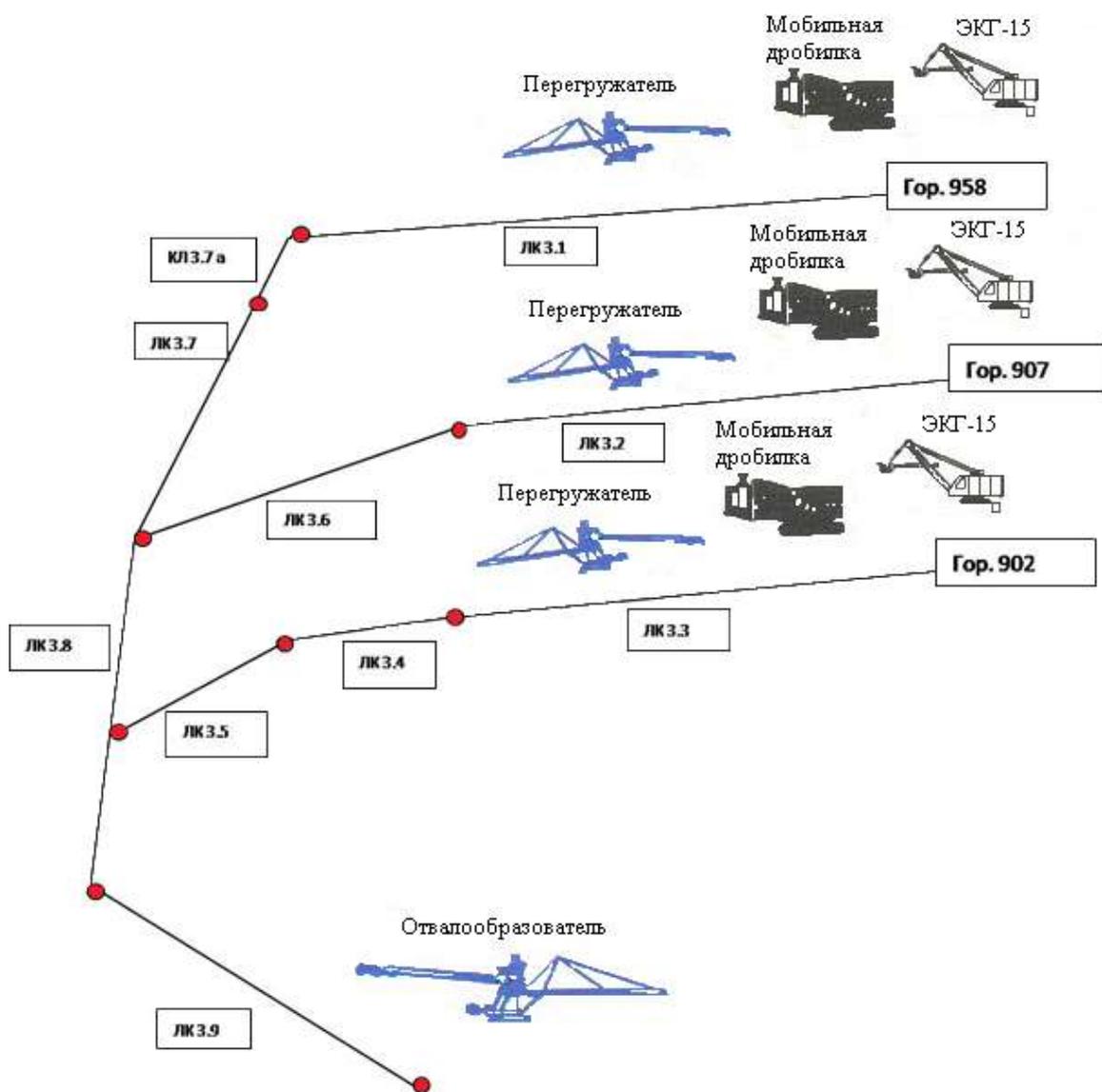


Рис.2.1. Схема расположение вскрышных конвейеров в линии ЦПТ [147]

Циклично-поточная технология (ЦПТ) предусматривает последовательность работ (рис. 2.1, таблица -2.6) [147]: экскаватор «ЭКГ-15» загружает вскрышу в бункер дробильной установки, далее вскрыша от бункера попадает на пластинчатый конвейер, оттуда через загрузочную воронку попадает в двухвалковую дробилку, которая пропускает через себя транспортируемый материал размером 1100 мм на выходе до 300 мм. Вскрыша через выпускной желоб дробилки попадает на ленточный конвейер, который транспортирует её на мобильный перегружатель. Дальнейшую транспортировку горной массы производит магистральный конвейер производительностью 12100 т/ч., с последующей перегрузкой на отвальный конвейер, откуда горная масса перемещается к отвалообразователю, который формирует внутренние отвалы. Подробные технические показатели приведены в таблица 2.7 шт [147].

Технические данные ленточного конвейера 3.1 [94; с.79-103].

марка:	B1200—3.1
материал:	вскрыша
насыпная плотность материала:	1650 кг/м ³
крупность материала:	0-300 мм
длина конвейера:	1800 м. угол наклона: 0 ⁰
производительность:	4000 т/ч
ширина ленты:	1200 мм.
скорость ленты:	5 м/с
приводная мощность:	4x560 кВт
подводимое напряжение:	6000 В
расстояние между роликами рабочей ветви:	1200 -1500 мм
расстояние между роликами холостой ветви:	3000 мм
диаметр ролика:	159 мм
угол желобчатости верхней ветви;	40 ⁰
угол желобчатости нижней ветви:	10 ⁰
диаметр приводного футерованного резиной барабана:	1250 мм

Таблица 1.4

Фактическая длина конвейерных линий ЦПТ вскрышного направления филиала «Разрез Ангренский» [94]

Технические параметры ленточных конвейеров ЦПТ															
№П/П	№ конвейера	Наименование конвейера	Транспортируемый груз	Насыпная плотность груза кг/м ³	Крупность груза, мм	Ширина ленты, мм	Производительность, т/час	Скорость ленты, м/с	Длина конвейера, м	Угол наклона конвейера, град.	Мощность привода (установленная), кВт	Количество привода, шт.	Суммарная мощность, кВт	Напряжение, В	Марка лены
Вскрышное направление															
1	3.1	Ленточный конвейер забойный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	1226	0 ⁰ 12'	560	2	1120	6000	ST2500
2	3.2	Ленточный конвейер забойный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	451	1 ⁰	560	2	1120	6000	ST2500
3	3.3	Ленточный конвейер забойный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	311	1 ⁰	560	1	560	6000	ST2500
4	3.4	Ленточный конвейер передаточный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	570	5 ⁰	560	3	1680	6000	ST2500
5	3.5	Ленточный конвейер передаточный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	120	1 ⁰	560	1	560	6000	ST1600
6	3.6	Ленточный конвейер передаточный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	476	1 ⁰	560	2	1120	6000	ST1600
7	3.7	Ленточный конвейер передаточный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	562	1 ⁰	560	1	560	6000	ST1600
8	3.7A	Ленточный конвейер передаточный	вскрыша	1650	300	1200	4000	5,0	290	1 ⁰	560	1	560	6000	ST1600
9	3.8	Ленточный конвейер магистральный	вскрыша	1650	300	2000	1200 0	5,6	718	0 ⁰ 45'	560	3	1680	6000	ST1600
10	3.9	Ленточный конвейер магистральный	вскрыша	1650	300	2000	1200 0	5,6	980	0 ⁰ 26'	560	2	1120	6000	ST1600

Ленточные конвейеры которые используются на разрезе «Ангренский», имеют конструкции стационарного, полустационарного типов и передвижную конструкцию с рельсами.

Головная станция и хвостовая станция конвейера, который имеет конструкцию полустационарного типа, располагаются на стальных лыжах, средняя секция располагается на коротких стальных шпалах, на борту средней секции прокладываются крюки для крепления кабеля.

Головная станция и хвостовая станция конвейера, который имеет передвижную конструкцию с рельсами, располагаются на стальных лыжах, средняя секция располагается на длинных стальных шпалах, на которых прокладываются рельсы, и оснащены загрузочной тележкой с кабельным барабаном и сбрасывающей тележкой, на борту средней секции прокладываются крюки для крепления кабеля.

В период пуско-наладочных работ и приёмо-сдаточных испытаний инженерно-техническим персоналом разреза выполнен большой объем работ по устранению технических неполадок и адаптации некоторых технических параметров ЦПТ к условиям «Ангренского» разреза, и выявлены следующие конструктивные недостатки, которые не позволили запустить ЦПТ в запланированный срок:

1) мобильная дробилка [94; с.79-103]:

- конструкция крепления зубьев на двухвалковых мобильных дробилках не достаточно прочна из-за чего происходит частое выпадение зубьев из мест крепления;

- роlikоопоры с роликами под бункером дробилки несут большую ударную нагрузку и часто выходят из строя;

2) межступенный перегружатель [94; с.79-103]:

- конструкция разгрузочной воронки межступенного перегружателя имеет склонность к налипанию грунта и заштыбовке;

- отсутствие ударогасительного устройства на приёмном бункере МД приводит к быстрому повреждению транспортёрной ленты;

3) отвалообразователь [94; с.79-103]:

-недостаточная толщина металла брони бункера петлевой тележки отвалообразователя;

- нет ограждений на трубопроводах системы смазки и кабельных жёлобов на отвалообразователе;

4) конвейерные ленты [94; с.79-103]:

- конвейерные ленты на всем протяжении имеют повреждения;

- происходит налипание грунта на стенки приёмных бункеров конвейерных линий, что приводит к потере рабочего времени на зачистку.

Силами инженерно-технического персонала АО «Узбеккумир» и с помощью смежных организаций в настоящее время устранены следующие недостатки:

- установлены добавочные вентиляторы наружного обдува на приводах валков дробильных установок №1 и №2;

- освоена замена брони на течках конвейерных линий;

- установлены ударогасительные устройства подбункером дробилки.

-на заводе РГТО подготовлена броня бункера петлевой тележки отвалообразователя с достаточной толщиной металла.

Как видно из таблицы 2.3, выпадение зубьев, налипание грунта на приёмные бункера конвейерных линий и повреждения лент составляют более 42% от общего объема неполадок по ЦПТ.

В настоящее время инженерно-технический персонал разреза работает над устранением выше перечисленных конструктивных недоработок и решением следующих задач [94; с.79-103]:

- с момента запуска мобильных дробилок линии №1 и №2, постоянно в течении почти каждой смены происходит выпадение зубьев.

- второй очень серьёзной проблемой является частота повреждений лент на мобильных дробилках и конвейерных линий, основной причиной которых является несовершенство конструкций на приёмных бункерах конвейерных линий. Из-за слабости амортизационных роликов и роликоопор, при падении

дробленой породы и крупных галечников на конвейерный бункер, происходит разрыв лент, потому что часть дробленной породы являются остроконечными и при падении с высоты повреждают её.

- третьей очень важной, задачей является не допущение налипания грунта на воронку приемного бункера конвейерных линий. При работе экскаватора на обводнённых участках и в осенний - зимний период, грунт на верхних горизонтах вскрыши превращается в вязкую массу и при падении с большой высоты (до 7.8 м) на переходных линиях конвейерных лент происходит сильное налипание грунта на борт бункера.

- выбора согласованной и ритмичной режима работы циклично-поточной технологии, с уже сложившимися железнодорожной и автомобильной технологиями транспортирования горной массы.

Характерной особенностью использования ЦПТ является, поточность всей технологической цепи, остановка или отказ работы отдельных звеньев или устройств, приводит к остановке всех линий комплекса. Для исключения подобных ситуаций, необходимо навести строжайший контроль над выполнением норм технической эксплуатации. Еще одним способом предвидения экстренных случаев, это ранняя диагностика ожидаемых неполадок и ремонт. Информация по работе ЦПТ за 2014 год приведена в таблице 2.3 [94; с.79-103].

Система управления комплексом ЦПТ работает идентично подобным системам и включает в себя автоматизированное рабочее место пользователя. Все звенья работы комплекса соединены в единую сеть, процесс работы которой отображается на мониторе компьютера. С центрального пункта управления пользователь визуально ведёт мониторинг работы ЦПТ в режиме реального времени.

Проблемы совершенствования циклично-поточной технологии при открытой разработке месторождений, обусловлены горно-технологическими условиями карьеров. Эти условия определяют необходимость разработки новых технологических и технических решений по адаптации ЦПТ,

учитывающего конкретные горно-технологические и горно-геологические условия карьера [148].

Мировая практика в открытых горных работах показывает [3; с. 66-72, 4], что в крупных карьерах все более широкое распространение получает применение различных видов ЦПТ. Учитывая большой опыт применения этой технологии в различных месторождениях, а также экономичность в транспортировке горной массы и энергопотреблении, сбережения человеческого ресурса, нетрудно предвидеть, что будущее развития открытых горных разработок за применением этой технологии.

Внедрение новой циклично-поточной технологии на угольном разрезе «Ангренский» осуществляется впервые, имеется множество конструктивных, технических и технологических сложностей по внедрению новой техники.

Таблица 1.5 [94; с.79-103]

Информация по работе ЦПТ

№	Наименование оборудования	Причины простоя	Время простоя	
			час	%
1.	МД №1, МД №2	Установки демонтаж зубьев	1685	15,02
2.	ЛК-3.6, ЛК-3.2, МД № 1, Отвалообразователь,	Установка роликов	75	0,62
3.	ЛК-3.9, ЛК-3.7, ЛК-3.8, МП №2, МД №2.	Установка и замена чистителя	108	0,96
4.	ЛК-3.8, ЛК-3.9, ЛК-3.1, ЛК-3.6, МП №1.	Установка фартука	72	0,6
5.	МД №1, МП №1, Отвалообразователь	Установка брони	96	0,85
6.	МД №2 и МП №2	Компьютерные неполадки	722	6,4
7.	МД №2, МД №1	Восстановление и крепление ударогасителя	66	0,58
8.	ЛК-3.1, ЛК-3.2, ЛК-3.7, ЛК-3.8, ЛК-3.9, ЛК-3.10, МП №1, МД №1, отвалообразователь	Наладка оборудования	477	4,42
9.	ЛК-3.1, ЛК-3.9, МД №1.	Вулканизация и замена лент	1218	10,85
10.	ЛК-3.1, ЛК-3.2, ЛК-3.6, ЛК-3.7, ЛК-3.8, ЛК-3.9, ЛК-3.10, МД №1, ЭКГ-83, 84, ДС-15, 23, Отвалообразователь	Срабатывание вакуумного выключателя и отключение электроэнергии	111	1,0
11.	ЛК-3.7, ЛК-3.8	Рихтовка ставов	285	2,53

12.	Все оборудования	Технический уход и зачистка бункеров	1641	14,62
13.	ЛК-3.10.	Замена и центровка двигателя	103	0,92
14.	МД №1, МД №2, МП №1, МП №2.	Технологические переходы	572	5,1
15.	ЛК-3.2, ЛК-3.9, МД №1 (валок)	Обогрев и нагрев редукторов	185	1,64
16.	МП №1, МП №2, Отвалообразователь	Сварочные работы	429	3,82
17.	ЭКГ-15М (№83 и №84)	Технический уход, переэкскавация и переходы	584	5,2
18.	Другие причины		535	5,76
19.	Итого время простоя ($T_{пр}$), ч		8894	79,3
20.	Время работы (T_p), ч		2327	20,7

1.3. Анализ пусковых и тормозных режимов работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров горной промышленности

Пусковые режимы работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров горнорудной промышленности сложнее установившихся процессов.

Пусковые и тормозные режимы работы в асинхронных двигателях ленточного конвейера происходят при изменениях частоты и напряжений на выводах двигателя и отключении ее от сети торможения и т.д.

На сегодняшний день в Республике Узбекистан и в странах ближнего и дальнего зарубежья для транспортировки массовых грузов широко используются ленточные конвейеры, которые имеют большую производительность, являются высоко экономичным и надежным видом оборудования. Однако, улучшение технико-экономических показателей (длина конвейера, производительность) оказывает негативное влияние на пусковые режимы работы ленточного конвейера (динамика пуска). В этой связи переходные процессы в асинхронном двигателе ленточного конвейера имеет большое значение, которые характеризуются появлением динамических натяжений, как алгебраическая сумма со статическими, что значительно увеличивает результирующие натяжения в конвейерной ленте и усилия в рабочих узлах конвейера. Наличие вышеуказанных изменений

может привести при пуске к неустойчивой работе приводного барабана (частичной или полной пробуксовке) .

В начальный момент пуска асинхронного двигателя ленточного конвейера, имеющего загруженную ходовую часть, наблюдается увеличение инерционных усилий, перегрузка тяговых цепей и привода, что плохо сказывается на его работе, а значит не рекомендуется без особой надобности останавливать загруженный конвейер. Этот фактор сказывается у конвейеров большой протяженности, где существует опасность пробуксовки, а также опасность возникновения колебательного переходного процесса сбегавшей ветви ленты. Вместе с тем, у ленточных конвейеров имеющих большую длину транспортировочного конвейера, при пуске в силу упругой податливости материала ленты, происходит трогание с места сбегавшей ветви после того, как двигатель, приводной барабан и набегающая ветвь достигли установившейся скорости. Кроме того, в продольной ветви наблюдается начало продольных колебаний скорости, которые приводят к преждевременному износу ленты и а в некоторых случаях и обрыву. Из этого следует, что работа привод и системы управления конвейером должны обеспечивать жесткое ограничение величины ускорения при пуске, т.к. существует опасность пробуксовки и возникновения недопустимых колебаний скорости за счет упругой деформации ленты. В момент пуска асинхронного двигателя ленточного конвейера, осуществляемого прямой подачей напряжения, возникает высокий риск проскальзывания между лентой и ведущим роликом, т.к. имеется повышенный стартовый крутящий момент. При этом на шарниры и редукторы оказываются значительные механические перегрузки, которые приводят к большому износу и поломкам, и как следствие появлению больших затрат на ремонт оборудования.[149, 150]

Анализ этих процессов позволяют с большой точностью определить значения динамических нагрузок, что поможет избежать нерациональных технических решений, повысить надежность системы ленточный конвейер-

электродвигатель, а следовательно, резко снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций и увеличить производительность ленточного конвейера.

В условиях разреза «Ангренский» асинхронные двигатели ленточных конвейеров запускаются прямым пуском. Поэтому ниже произведен литературный обзор пуска асинхронных двигателей ленточных конвейеров.

Основными динамическими режимами электроприводов являются пуск и торможение, в ходе которых меняют свое значение угловая частота (ω) и другие величины в течении времени. При прямом пуске электродвигателя будет потребление тока из сети значительно превышать номинальное значение (I_n). Уменьшение тока связано с ростом ЭДС по мере разгона двигателя. Наличие высоких пусковых токов приводят к возрастанию потерь в обмотках электродвигателя, что вызывает, перегрев с последующей возможностью их повреждения. [151].

Существуют легкий, нормальный и тяжелый режимы пуска [151], которые различаются величиной статического момента, а именно [151]:

- легкий режим - статический момент не превышает 35-40% M_n (насосы, вентиляторы при закрытой задвижке);
- нормальный режим пуска - статический момент совпадает с номинальным $M_c=M_n$ (вентиляторы, насосы при открытых задвижках, небольшие ленточные конвейеры);
- тяжелый режим, т.е. $M_c>M_n$ (подъемные машины, нагруженные конвейеры).

Ранее использовались только два основных способа пуска асинхронных двигателей: прямой и реостатный пуск. В настоящий момент получил распространение пуск при пониженной частоте питающего напряжения с выхода преобразователя частоты (ПЧ) - частотные преобразователи.[151, 152].

Для электродвигателей малой и средней мощности является самым распространенным - прямое включение асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, который имеет ряд преимуществ, таких как простота пуска, надежность, экономичность пусковой операции. Однако имеются

следующие недостатки – большой пусковой ток $I_{\text{пуск}} = (5-7)I_n$, малый пусковой момент .[151, 152]. Наличие высокого тока при пуске приводит к снижению напряжения в питающей сети (обмотки трансформатора или генератора), появление нежелательных ударов в передаточных устройствах конвейера.

Мощность электродвигателя и характер нагрузки определяет выбор способа пуска АД с короткозамкнутым ротором [153]:

- прямой пуск;
- автотрансформаторный пуск;
- пуск переключением обмоток со звезды на треугольник;
- реакторный пуск;
- пуск с помощью тиристорного преобразователя напряжения;
- пуск с помощью преобразователя частоты;
- конденсаторный пуск.

Особенности способов пуска рассматривались в исследованиях Афлятунова И.Ф [153], который обосновал утверждение, что большой пусковой ток может вызвать значительное падение напряжения, вследствие чего другие электродвигатели, питающиеся от этой сети, могут остановиться. Поэтому прямой пуск возможен, когда сеть достаточно мощности и пусковые токи электродвигателей не вызывают недопустимо больших падений напряжения в сети.

Но при прямом пуске возникают механические удары, приводящие к износу приводного механизма. Также возможны электродинамические усилия, которые оказывают воздействие на активные части АД и тем самым сокращают его срок службы[153,].

При данном виде пуска провал напряжения будет уменьшен, т.к. реактор ограничивает пусковой ток АД. Описываемый вид пуска позволяет достичь практически любую степень ограничения пускового тока, что приводит к допустимому значению провала напряжения генератора, благодаря чему обеспечивается оптимальная соизмеримость мощностей электродвигателя и генератора – до 0,4–0,5, а также при нем возможно, в процессе наладки

электропривода, изменение сопротивления реактора за счет изменения числа витков. Также преимуществами считается: простота схемы и меньшее количество необходимой аппаратуры [130, 153, 154].

При выборе реакторного способа нужно понимать, что ограничение тока реактором вызывает резкое (в квадрате) уменьшение момента АД. Следовательно, в тех случаях, когда при требуемом ограничении тока соблюдается необходимое превышение пускового момента АД над моментом страгивания механизма реакторный способ пуска является наиболее оптимальным. Реакторный пуск также рекомендуется для электроприводов механизмов с пусковым режимом на холостом ходу (винты регулируемого шага, крыльчатые движители). В условиях открытой разработки, на карьерах при реакторном пуске $M_{пр} = (0,15 \div 0,5)M_{ном}$. [153, 154].

В начальный момент работы конвейера - разгон АД - из сети потребляется большая реактивная мощность и коэффициент мощности электродвигателя незначителен. Для выхода на требуемую пусковую характеристику используется несколько комплектов реакторов разного номинала с последующим их включением (определенный момент времени) в питающую АД сеть. Таким образом к недостаткам данного метода также можно отнести возникновение уравнивающих (свободных составляющих) токов, вызванных коммутацией реакторов. [153, 154].

Для мощных АД с тяжелыми условиями пуска целесообразно использовать автотрансформаторный способ, суть его заключается в пуске электродвигателя с пониженным напряжением через автотрансформатор. Двигатель запитывается через часть обмотки автотрансформатора, работающий в качестве реактора, при достижении определенной скорости вращения АД происходит подключение АД на полное напряжение.

При таком подходе к управлению пуском вид динамических характеристик (при прочих равных условиях) зависит от времени регулирования напряжения $t_{рег}$, в течение которого и происходит изменение статорного напряжения от значения $U_{1нач}$ до $U_{1ном}$. Увеличивая время

регулирования $t_{рег}$, можно обеспечить желаемую скорость изменения момента, т.е. его плавное нарастание до установившихся значений на статической характеристике, что должно привести к увеличению времени пуска АД. При заданном значении времени регулирования $t_{рег}$, скорость, при которой электродвигатель выходит на естественную характеристику, зависит от статического момента и момента инерции электропривода [131, 155, 156].

Использование устройств плавного пуска на основе ТПН-АД позволяет одновременно снижать потребление электроэнергии, выполняя функцию энергосбережения недогруженного АД при работе в зоне номинальной скорости, обеспечив его работу за счет ТПН на регулировочной ($U_1 < U_{1ном}$), а не на естественной ($U_1 = U_{1ном}$), характеристике (где U_1 – действующее значение 1-й гармоники напряжения, приложенного к двигателю; $U_{1ном}$ – действующее значение номинального напряжения сети). При работе АД на естественной характеристике при изменении S от 0 до $S=S_{ном}$ электромагнитные потери в двигателе $\Delta P_{эм}$ зависят только от статического момента. При работе на регулировочной характеристике ($U_1 < U_{1ном}$) электромагнитные потери в двигателе являются функцией от статического момента и скольжения АД $\Delta P_{эм} = f(M_c, S)$, что позволяет определить значение $S_{опт}$, доставляющее минимум функции $\Delta P_{эм} = f(M_c, S)$ [132, 134; с.176-188, 155, 156].

Стоит отметить, что экономия электроэнергии при применении системы ТПН - АД не столь значительна, чтобы обеспечить быструю окупаемость ТПН, включенного в статорные цепи электродвигателя. Использование ТПН в большинстве случаев вызвано технологическими требованиями, производственных механизмов (транспортеров, насосов, вентиляторов, лифтов, конвейеров и др.), требующих плавного пуска и ограничения ударных моментов, ускорений и рывков, возникающих при прямом подключении АД к номинальному напряжению сети.[157]

Наряду со снижением перегрузочной способности АД пуск по системе ТПН–АД имеет следующие недостатки [157]:

- пуск сопряжен со значительным снижением коэффициента мощности;
- в выходном напряжении тиристорного преобразователя напряжения (ТПН) присутствуют высшие гармоники, которые увеличивают потери в АД;
- длительный пуск при пониженном напряжении сопровождается повышенными потерями в статоре и в роторе. В этом случае для обеспечения работы короткозамкнутого АД без перегрева необходимо увеличение в несколько раз номинальной мощности электродвигателя по сравнению с максимальной мощностью статической нагрузки.

Пусковые токи, ударные моменты, потери мощности и потребление реактивной мощности могут быть снижены при плавном изменении частоты напряжения статора АД с помощью преобразователя частоты. При частотном пуске плавно повышается частота питающего электродвигатель переменного напряжения от нуля до номинальной. Частота вращения поля статора также плавно изменяется от нуля до синхронной. Ротор, следуя за полем статора, также плавно разгоняется [158, 159].

Проведенные в работах [132, 135, 136] исследования позволяют сделать вывод о том, что частотный пуск позволяет ограничить пусковой ток без снижения при этом перегрузочной способности АД, что важно, когда надо обеспечить большое значение пускового момента, например, при пуске двигателя под нагрузкой или от сети ограниченной мощности [158, 159].

Для пуска конвейерных агрегатов, в начале пуска момент сопротивления имеет максимального значение и по мере разгона двигателя величина момента снижается. Пусковой момент АД с короткозамкнутым ротором мощностью 0,6—100 кВт находится в диапазоне от 1,0 до 2,0 от номинального, а мощностью 100—1000 кВт – от 0,7 до 1,0 от номинального.

Вопросами прямого пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами занимались следующие ученые: проф. И.П.Копылов, проф. А.В. Иванов-Смоленский, проф. И.Г. Штокман, проф. Л.Г.Шайхмейстер, проф. В.Г.Дмитриев, проф. Т.С.Камалов, проф. А.А.Хашимов и многие др.

В работах [45,46] рассмотрен прямой пуск общепромышленных асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами. Показаны преимущества и недостатки прямого пуска.

В работах [96, 99; с.43-49, 100; с.34-36] рассмотрен частотный пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами. Показаны преимущества и недостатки частотного пуска.

Из анализа литературных источников пусковые и тормозные режимы работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров горнорудной промышленности изучены недостаточно. По этому пуск ленточных конвейеров имеет важное значение и эти вопросы изучены в данной монографии [158,159].

ГЛАВА II. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МОМЕНТА СОПРАТИВЛЕНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

2.1. Исследование движения ленты с грузом по роликоопорам

В зависимости от типа поддерживающих роликоопор насыпной груз транспортируется плоской или желобчатой лентой. Последняя поддерживается стационарными трехроликовыми опорами с углом наклона боковых роликов $\beta = 20, 30^\circ$ или подвесными гирляндными многороликовыми опорами, придающими ленте форму, близкую к дуге окружности. Насыпной груз, перемещаемый ленточным конвейером, находится в сложном напряженном состоянии, постоянно меняющемся на шаге роликоопор. Исследования напряженного состояния системы транспортируемый груз - конвейерная лента, определяющегося физико-механическими свойствами насыпных грузов, продольной и поперечной жесткостью несущей ленты и параметрами конвейерной установки, относятся к задачам, связанным с механикой сыпучих сред и теорией упругих оболочек. Упрощенное решение без учета упругих свойств и поперечной жесткости конвейерной ленты при замене реального насыпного груза идеально сыпучим телом позволяет получить данные, вполне приемлемые для инженерных расчетов [92%].

Поперечное сечение идеально сыпучего тела, загруженного на плоскую ленту свободным насыпанием, имеет форму клина, боковые грани которого расположены под углом естественного откоса в состоянии покоя (на рис. 2.1 показаны схемы характеристик для симметричного клина, образованного свободным насыпанием). [160]

При движении ленты состояние покоя груза, естественно, нарушится. Движение ленты с грузом в пролете между двумя роликоопорами можно условно разделить на две фазы: первая - лента удаляется от роликоопоры, прогиб и развал увеличиваются, достигая максимума в точке, близкой к

середине пролета, вторая фаза возникает после точки перегиба ленты в пролете, когда лента приближается к следующей роlikоопоре. Прогиб и развал уменьшаются и становятся равными нулю на роlikоопоре [160].

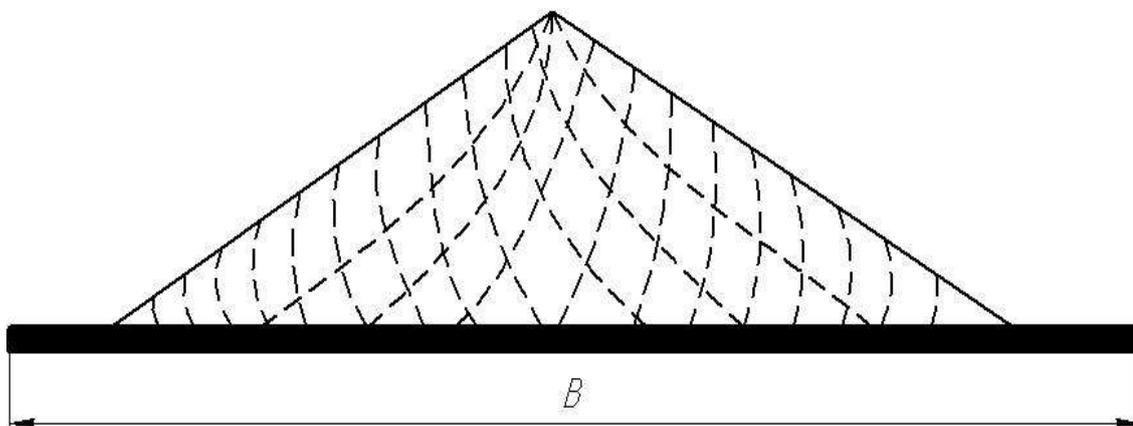


Рис. 2.1. Схемы характеристик для симметричного клина, образованного свободным насыпанием [94].

В соответствии с этими фазами меняется напряженное состояние системы транспортируемый груз-лента [40-44, 65-74].

В первой фазе, практически сразу за роlikоопорой, давление груза на ленту обуславливает ее развал, и такое давление называется активным.

В этой фазе система находится в минимальном напряженном состоянии. Во второй фазе развал ленты уменьшается, лента сближает частицы насыпного груза друг с другом, между ними и лентой возникают дополнительные распорные усилия, которые увеличиваются по мере удаления от середины пролета, достигая максимума на роlikоопоре. Такое давление называется пассивным. Система при этом имеет максимальное напряженное состояние. Этот процесс повторяется между последующими роlikоопорами [160].

Переход из плоского состояния к форме желоба при обжатии поперечного сечения ленты, заполненного идеально сыпучим телом, трехроlikовой опорой сопровождается следующими процессами:

- по мере подъема боковых роlikов (картина симметрична относительно вертикальной оси, проходящей через вершину клина)

напряженное состояние материала переходит из минимального к максимальному с последующим сдвигом по плоскости скольжения I-I (рис. 2.2);

- плоскости скольжения начинаются от зоны перегиба ленты между опорными роликами;

- одновременно происходит уплотнение материала перпендикулярно к плоскостям скольжения;

- в момент, предшествующий началу сдвига, к силе от веса материала, приходящегося на боковой ролик, добавляется распорное усилие между частицами материала;

- при сдвиге по плоскостям скольжения величина распорного усилия несколько снижается, но добавляется дополнительное сопротивление от сил трения по возникшим плоскостям скольжения, а общая величина дополнительного усилия несколько возрастает.

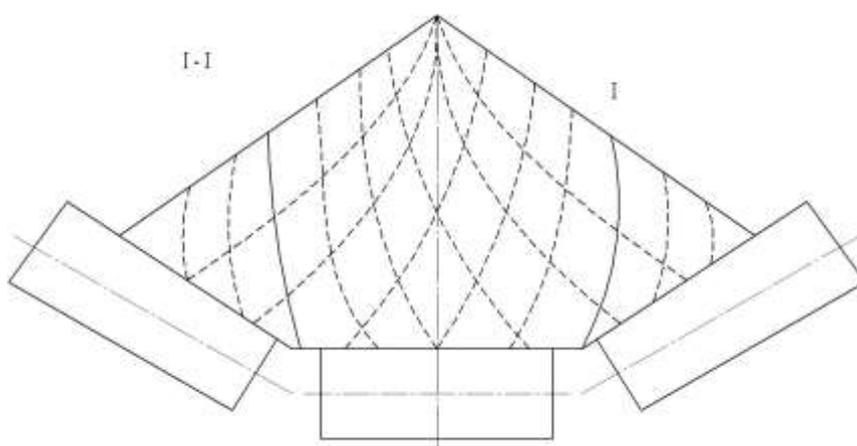


Рис. 2.2. Схема возникновения плоскостей скольжения при обжатии поперечного сечения ленты с грузом трехроlikовой опорой [94].

Дальнейшее обжатие сопровождается возникновением новых плоскостей скольжения и увеличением объема материала, участвовавшего в движении. Максимум усилия достигается при критической степени обжатия. Развал ленты сопровождается исчезновением распорных усилий, изменением положения и направления плоскостей скольжения. Силы, обусловленные

действием веса материала на боковой ролик, несколько снижаются, система переходит к минимальному напряженному состоянию.

Лента, обладая жесткостью как в продольном, так и в поперечном направлениях, при движении деформируется между роlikоопорами. Деформация ленты вызывает ее провисание между опорами, а также развал в боковом направлении (уменьшение кривизны), достигающий максимума примерно в середине пролета. Лента является несовершенным упругим телом - это связано с потерями энергии при ее деформировании, которая эквивалентна действию определенной силы - силы сопротивления движению от деформирования ленты. Насыпной груз на ленте в силу своих механических свойств повторяет конфигурацию ленты, т. е. также деформируется. Деформация груза приводит к необратимым потерям энергии, т. е. к появлению еще одной эквивалентной силы - силы сопротивления движению от деформирования груза [80, 81; с. 107-111, 82; с.235-237, 83; с.242-246, 85; с.196-199, 86; с.190-192, 87; с.193-195, 161, 162].

Эти две силы зависят от всех тех факторов, от которых зависит деформированное состояние ленты: натяжения ленты и погонной нагрузки на нее, расстояния между роlikоопорами, скорости движения ленты, угла наклона боковых роликов, жесткостей ленты в продольном и поперечном направлениях (зависящих, в свою очередь, от скорости движения ленты).

Кроме процессов, связанных с потерей энергии в ленте и грузе при их совместном движении, возникают еще две силы сопротивления: от вращения роликов лентой и от вдавливания роликов в нижнюю обкладку ленты. [163].

В сумме указанные составляющие дают полную силу сопротивления движению ленты на роlikоопоре. На основании экспериментальных данных можно определить общий коэффициент сопротивления движению w' и отдельные его составляющие: коэффициенты деформирования груза $w'_{def.g}$ и ленты $w'_{def.l}$, коэффициенты сопротивления вращению роликов $w'_{вр}$ и вдавливанию роликов в ленту $w'_{вд}$ [163, 164].

При перемещении насыпных грузов, таких, как уголь, руда, породы и пр., отдельные составляющие общего коэффициента распределяются примерно в следующем соотношении: $w'_{\text{деф.г}} = 30 \dots 40$; $w'_{\text{деф.л}} = 10 \dots 20$; $w'_{\text{сп}} = 20 \dots 25$; $w'_{\text{вд}} = 20 \dots 50 \%$. [163, 165].

Указанные процентные соотношения являются весьма ориентировочными, в каждом отдельном случае необходимо учитывать физико-механические свойства груза, длину конвейера, погонную нагрузку, скорость ленты, угол наклона конвейера и т. д. Кроме указанных факторов на коэффициент сопротивления w' влияют условия эксплуатации конвейера, качество монтажа и температура окружающей среды [89,91; с.7, 92; с.58-64, 93; с.13, 163, 165].

Рассмотрим некоторые экспериментальные исследования, связанные с определением основных составляющих силы сопротивления движению ленты.

Сила сопротивления от деформирования груза и ленты. В ИГТМ АН Украины В.К. Смирнов и И.А.Шпакунов экспериментально исследовали влияние на силу сопротивления движению от деформирования груза, натяжения ленты, расстояния между роlikоопорами и других параметров конвейера. Был исследован конвейер с лентой шириной 1800 мм, насыпной плотностью груза 1,3 т/м³, скоростью движения ленты 5 м/с и углом наклона боковых роликов 30° [15, 67; с.42-43, 71; с.24-267, 165, 166].

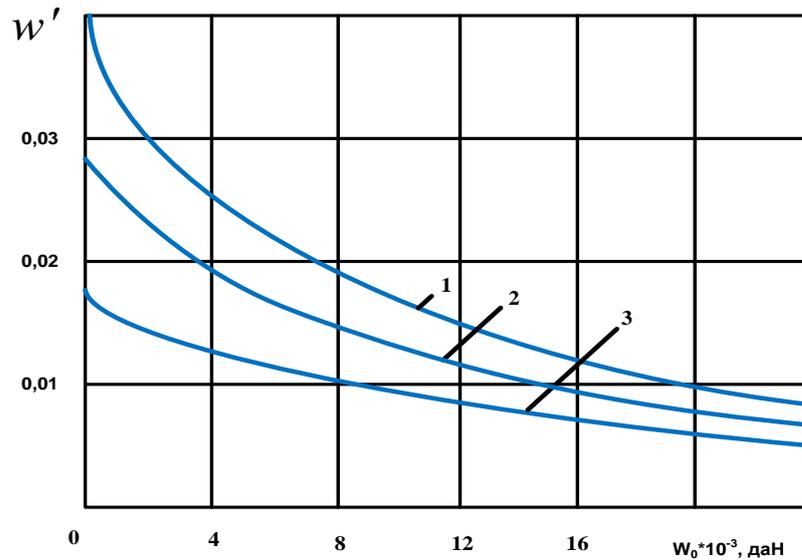


Рис. 2.3. Изменение коэффициента сопротивления от деформирования груза в зависимости от тягового усилия при различном расстоянии между роlikоопорами: $1 - l'_p = 2$ м; $2 - l'_p = 1,5$ м; $3 - l'_p = 1,0$ м. [разработка автора].

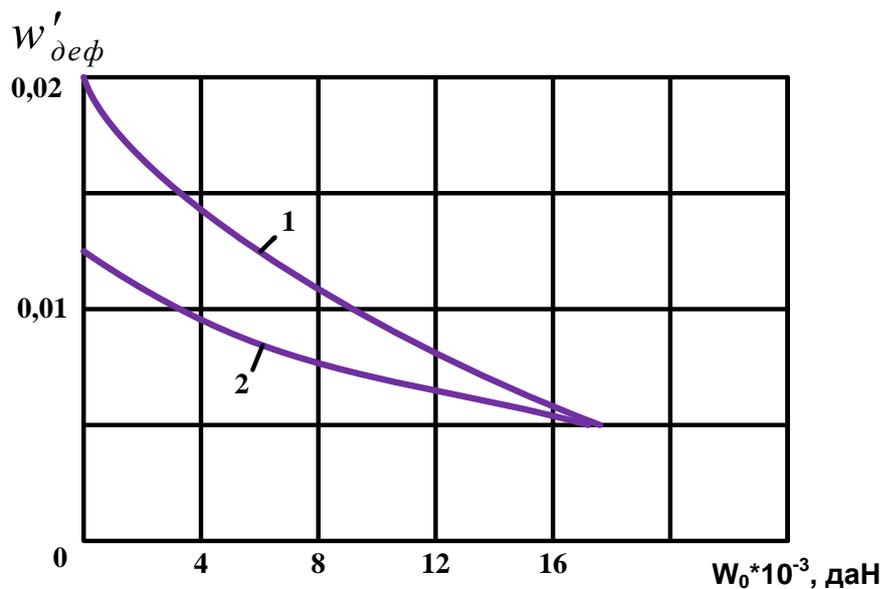


Рис. 2.4. Изменение коэффициента сопротивления от деформирования груза в зависимости от тягового усилия при различном начальном натяжении: $1 - S_0 = 2000$ даН; $2 - S_0 = 5000$ даН. [разработка автора].

Изменение коэффициента сопротивления от деформирования груза W'_{def} в зависимости от тягового усилия W_0 и расстояния между

роlikоопорами e' при постоянном начальном натяжении ленты $S_0 = 3000$ даН показано на рис.2.3 [167].

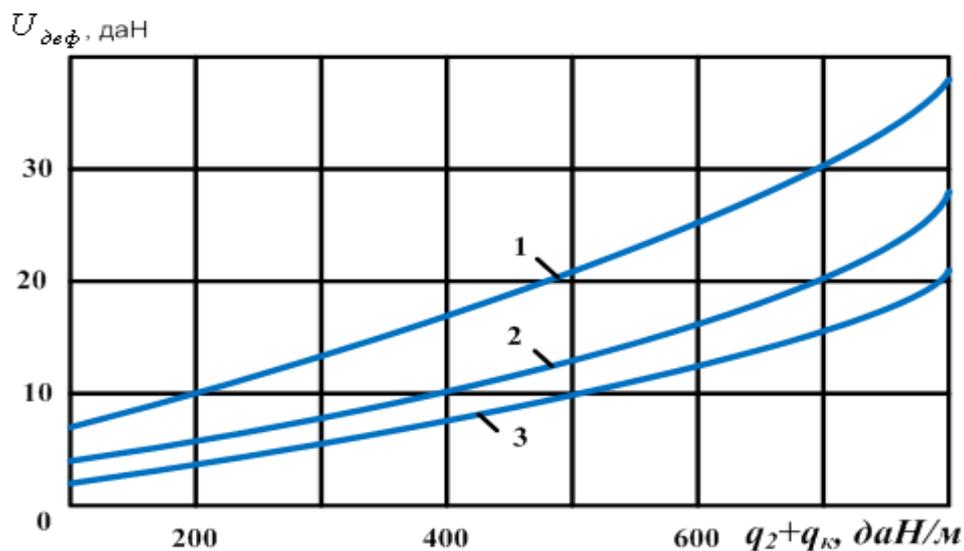
На рис.2.3 показано также (кривые со штрихом) изменение коэффициента сопротивления от деформирования груза в зависимости от тягового усилия при различном расстоянии между роlikоопорами при $1-l'_p = 2$ м; $2-l'_p = 1,5$ м; $3-l'_p = 1,0$ м разреза «Ангренский» [40,57; с.42-44, 94; с.79-102, 167].

При увеличении тягового усилия нелинейно уменьшается коэффициент $w'_{деф}$. Начальное натяжение ленты оказывает существенное влияние на коэффициент $w'_{деф}$ (рис.2.4). Установлено также, что на коэффициент сопротивления от деформирования груза влияет угол наклона боковых роlikов. С его увеличением на 10° коэффициент $w'_{деф}$ увеличивается примерно на 5-7%. Для определения влияния степени заполнения ленты λ , на коэффициент $w'_{деф}$ были выполнены расчеты для конвейера длиной $L = 800$ м. Установлено, что при степени заполнения ленты $\lambda = 40 \dots 100$ % коэффициент $w'_{деф}$ почти не меняется [168].

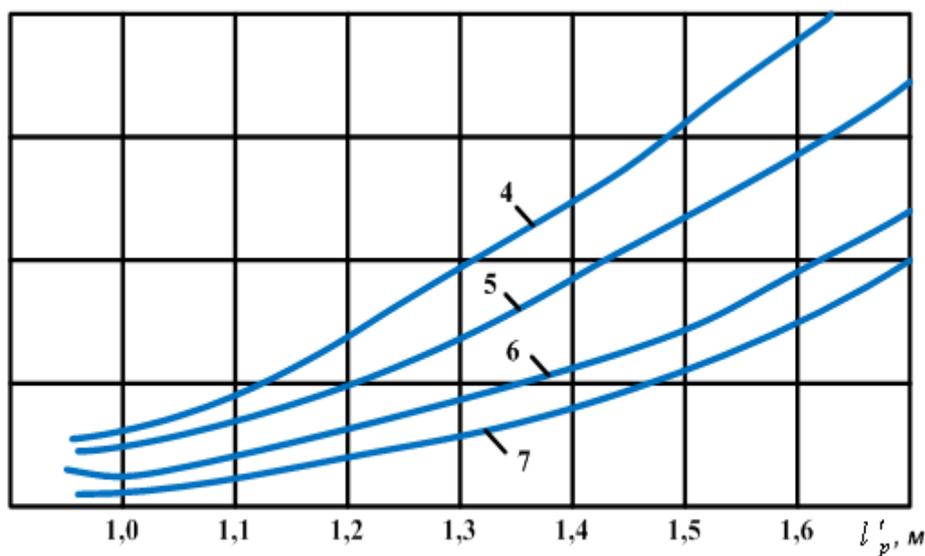
Обширные исследования по определению влияния натяжения, скорости ленты, погонной нагрузки и других параметров на силы сопротивления движению ленты были выполнены в Германии. Исследовался действующий конвейер со следующими параметрами: суммарная погонная нагрузка $q_r + q_l = 500$ даН/м, скорость ленты $v_l = 5$ м/с, длина $L = 500$ м [168].

Изменение силы сопротивления от деформирования ленты и груза $U_{деф,даН}$ при постоянном натяжении $S_0 = 6000$ даН в зависимости от погонной нагрузки и расстояния между роlikоопорами l'_p показано на рис. 2.5.

Этими зависимостями подтверждается высказанное ранее предположение о том, что с увеличением начального натяжения ленты уменьшается сила сопротивления движению [67,71].



а)



б)

Рис. 2.5. Изменение силы сопротивления от деформирования ленты и груза в зависимости от погонной нагрузки и разных e_p^1 (а), а также от расстояния между роlikоопорами прирезных натяжениях (б): 1- $e_p^1 = 1,5$ м; 2-1,3 м; 3 - 1,15 м; 4 - $S_0 = 6000$ даН; 5 - 8000 даН; 6 - 10 000 даН; 7 - 15 000 даН [разработка автора].

Этими же исследованиями было установлено влияние скорости транспортирования на сопротивление движению: при скоростях до 5 м/с зависимость силы сопротивления движению от скорости практически линейная, при $v_n > 5$ м/с - параболическая, причем характер изменения зависит от начального натяжения ленты S_0 .

Подобные исследования были выполнены также Беренсом (Германия), но не в промышленных условиях, а на специальном стенде, имитирующем ленточный конвейер производительностью до 16 000 т/ч, с лентой шириной 2200 мм. Толщина верхней и нижней обкладок резинотросовой ленты 8 мм, диаметр роликов 190 мм [3,4, 169].

Полученную силу сопротивления движению можно разделить на две составляющие: силу сопротивления от вращения роликов и вдавливания их в ленту $U_{вр}$ и силу сопротивления от деформирования ленты и груза $U_{деф}$. Последнюю составляющую определяют вычитанием из общей силы сопротивления силы сопротивления $U_{вр}$.

Зависимость силы сопротивления $U_{деф}$ от расстояния между роlikоопорами при различных натяжениях ленты и углах наклона боковых роликов β' , показана на рис.2.6. Аналитически данную зависимость записывают в виде

$$U_{деф} = U_q (l'_p)^a, \quad (2.1)$$

где U_q - сила сопротивления от деформирования при расстоянии между роlikоопорами 1 м, даН; a - коэффициент, учитывающий влияние расстояния между роlikоопорами.

Установлено, что коэффициент a зависит в основном от натяжения ленты и очень мало от массы ленты и груза. На этом основании коэффициент a усредняют для различных нагрузок (при постоянном натяжении ленты). Для $a = f(S)$ имеют место следующие эмпирические зависимости [67; с.42-45, 71; с.24-26, 169]:

$$\text{при } \beta' = 30^\circ \quad a = 1,11 + 0,53S^{-0,47} \quad (2.2)$$

$$\text{при } \beta' = 45^\circ \quad a = 1,05 + 0,52S^{-0,72} \quad (2.2^1)$$

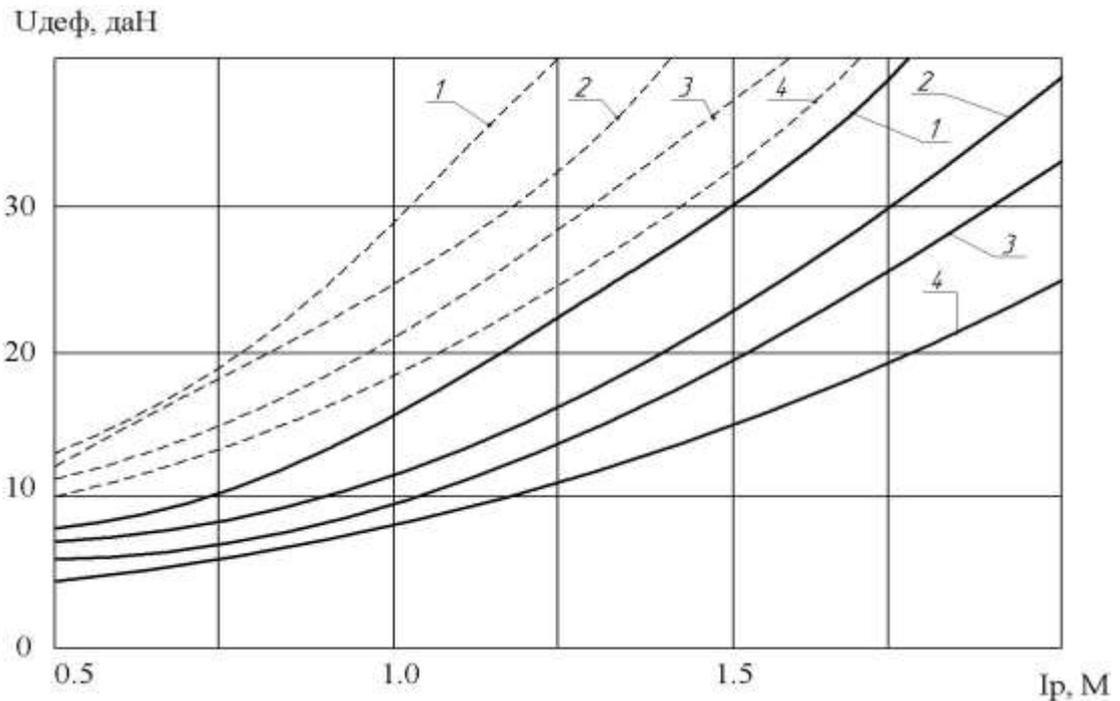


Рис. 2.6. Изменение силы сопротивления от деформирования груза и ленты $U_{\text{деф}}$ в зависимости от расстояния между роlikоопорами l'_p :

- 1) $S_0 = 3700$ даН; 2) $S_0 = 15\,000$ даН; 3) $S_0 = 30\,000$ даН; 4) $S_0 = 60\,000$ даН; сплошные линии - $\beta' = 30^\circ$; пунктирные - $\beta' = 45^\circ$

На рис. 2.7. приведена полученная экспериментально зависимость силы сопротивления $U_{\text{деф}}$ от погонной нагрузки $q_r + q_l$ при расстоянии между роlikоопорами 1 м и различных натяжениях ленты [67,71].

Влияние массы ленты и груза на $U_{\text{деф}}$ при различных натяжениях ленты аппроксимируются следующими зависимостями:

$$\text{для } \beta' = 30^\circ \quad U_{\text{деф}} = 0,48S^{-0,87} \left[\frac{q_r + q_l}{100} l'_p \right]^{2,36} ; \quad (2.3)$$

$$\text{для } \beta' = 45^\circ \quad U_{\text{деф}} = 1,28S^{-0,76} \left[\frac{q_r + q_l}{100} l'_p \right]^{2,06} . \quad (2.3^1)$$

Удеф, даН

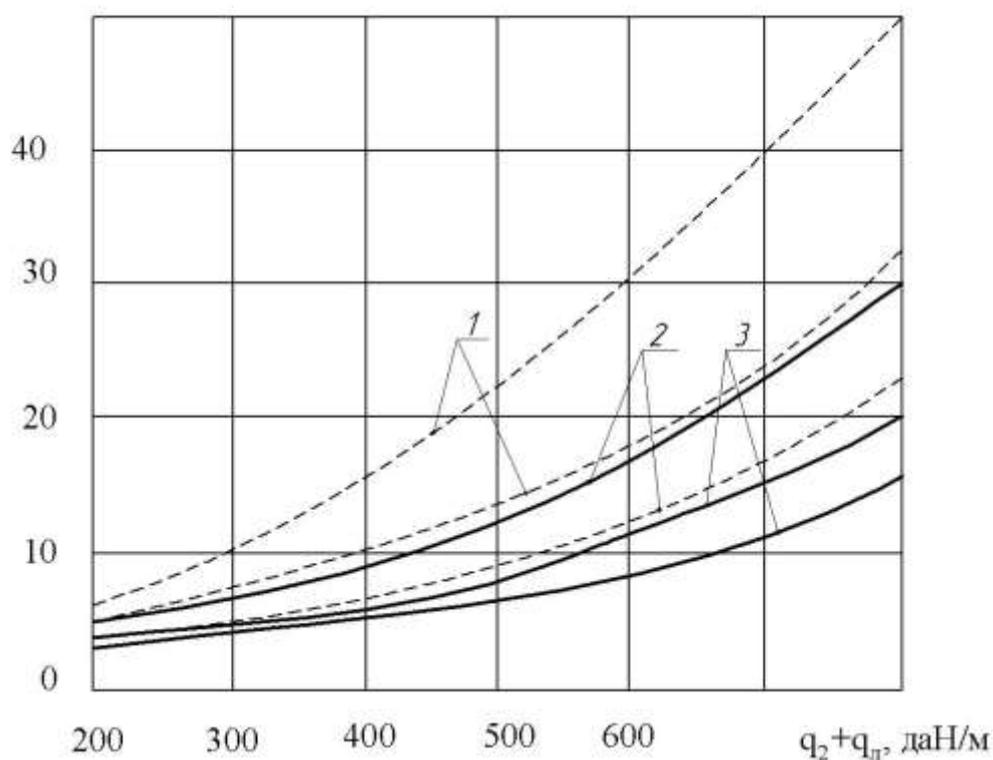


Рис. 2.7. Зависимость силы сопротивления $U_{деф}$ от погонной нагрузки:
1) $S_0 = 3700$ даН; 2) $S_0 = 15\,000$ даН; 3) $S_0 = 30\,000$ даН; сплошные линии –
 $\beta' = 30^\circ$; пунктирные - $\beta' = 45^\circ$

Изменение составляющих силы сопротивления движению в зависимости от натяжения ленты показано на рис.3.8. Графики построены для углов наклона боковых роликов $\beta' = 30$ и 45° , расстояния между роликоопорами 1 м, скорости ленты 5 м/с и номинальной нагрузки на конвейере $q_r + q_n = 900$ даН/м. С увеличением натяжения ленты сила сопротивления $U_{сд}$ (кривые 2) увеличивается и составляет основную часть общей силы сопротивления движению U_p и, наоборот, с увеличением натяжения ленты уменьшаются силы сопротивления $U_{деф.л}$ и $U_{деф.г}$ (кривые 1).

Описанные экспериментальные исследования были проведены на конвейерах с лентой шириной 1600, 1800 и 2200 мм. Однако значительное

число конвейеров, особенно подземных, оснащено лентой шириной 800—1200 мм.

Для изучения сил сопротивления движению конвейеров с подобными параметрами Московским государственным горным университетом были проведены экспериментальные исследования и изготовлен специальный стенд [71; с.24-26].

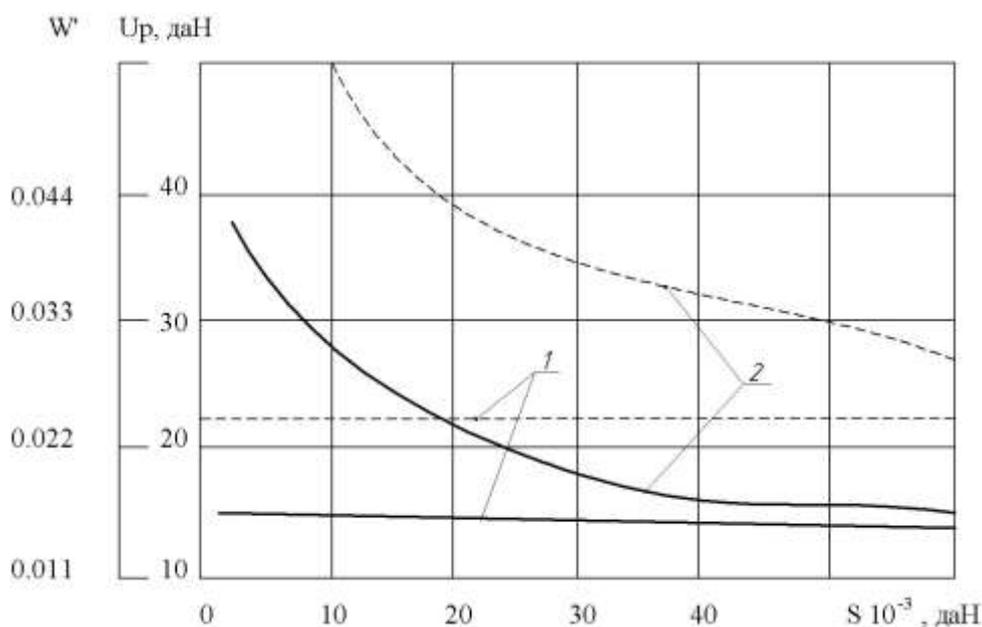


Рис. 2.8. Изменение составляющих U_{def} (1) и U_{ω} (2) и соответствующих коэффициентов сопротивления в зависимости от натяжения для углов наклона боковых роликов 30° (сплошная) и 45° (пунктирная)

В экспериментах кроме общего коэффициента сопротивления движению определяли также его отдельные составляющие: коэффициент сопротивления движению от деформирования груза и ленты, от вращения роликов и их вдавливания в ленту (совместно) [71; с.24-26, 113; с.111-116, 114; с.12, 115; с.3061-3071, 116; с.1256-1263, 117; с.393-402, 118; с.206-211, 119; с.14-27, 120; с.10].

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 2.9 и 2.10. Все зависимости приведены для угла наклона боковых роликов $\beta' = 36^\circ$. Экспериментально установлено, что при $\beta' = 45^\circ$ коэффициент

сопротивления движению в среднем в 1,4 раза больше, чем при $\beta' = 36^\circ$. Эта зависимость сохраняется в широком диапазоне изменения параметров.

С увеличением расстояния между роlikоопорами общий коэффициент сопротивления нелинейно увеличивается (рис.2.9, а), причем тем быстрее, чем меньше натяжение ленты. Аналитически приведенная зависимость аппроксимирована следующим выражением [71; с.24-26,]:

$$\omega' = \omega'_0 (l'_p)^\alpha \quad (2.4)$$

где ω'_0 - коэффициент сопротивления при расстоянии между роlikоопорами 1 м; α - коэффициент, учитывающий влияние расстояния между роlikоопорами.

Коэффициент ω'_0 зависит от натяжения, скорости и погонной нагрузки на ленту. Формула (2.4) при постоянном натяжении 1500 даН, погонной нагрузке 100 даН/м и скорости 3,15 м/с имеет вид

$$\omega' = 0,041(l'_p)^{0,87} \quad (2.4^1)$$

На рис. 2.9, б приведены зависимости коэффициента сопротивления от натяжения при различных нагрузках на 1 м длины конвейеров. С повышением натяжения коэффициент ω' существенно уменьшается, причем наиболее быстро при малых натяжениях (около 2000 даН). Это влияние заметнее проявляется при погонных нагрузках больше 100 даН/м [71; с.24-26,].

Зависимость коэффициента сопротивления движению от нагрузки на 1 м длины конвейера (рис.2.9, а) показывает, что при увеличении погонной нагрузки непропорционально увеличивается коэффициент сопротивления движению. На рис. 2.9, б показана зависимость коэффициента сопротивления движению от скорости ленты: при увеличении скорости до 5 м/с коэффициент увеличивается практически линейно.

На рис.2.9 (кривые со штрихом) приведены зависимость коэффициента сопротивления движению ленты от расстояния между роlikоопорами и натяжения ленты Разреза «Ангренский».

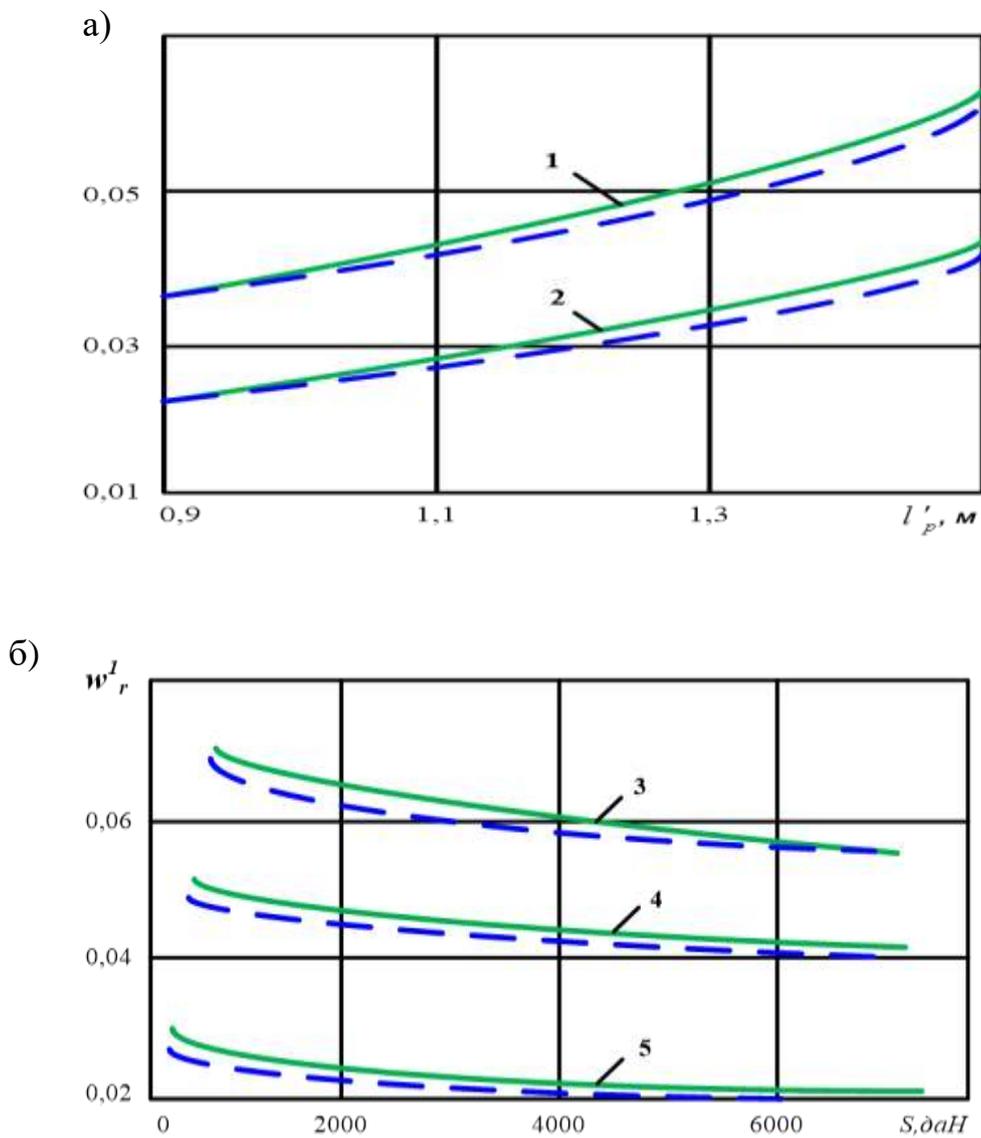


Рис. 2.9. Экспериментальная зависимость коэффициента сопротивления движению ленты а) от расстояния между роlikоопорами, б) натяжения ленты: 1) $S = 1500$ даН; 2) $S_0 = 6000$ даН; 3) $q_r + q_n = 160$ даН/м; 4) $q_r + q_n = 100$ даН/м; 5) $q_r + q_n = 60$ даН/м

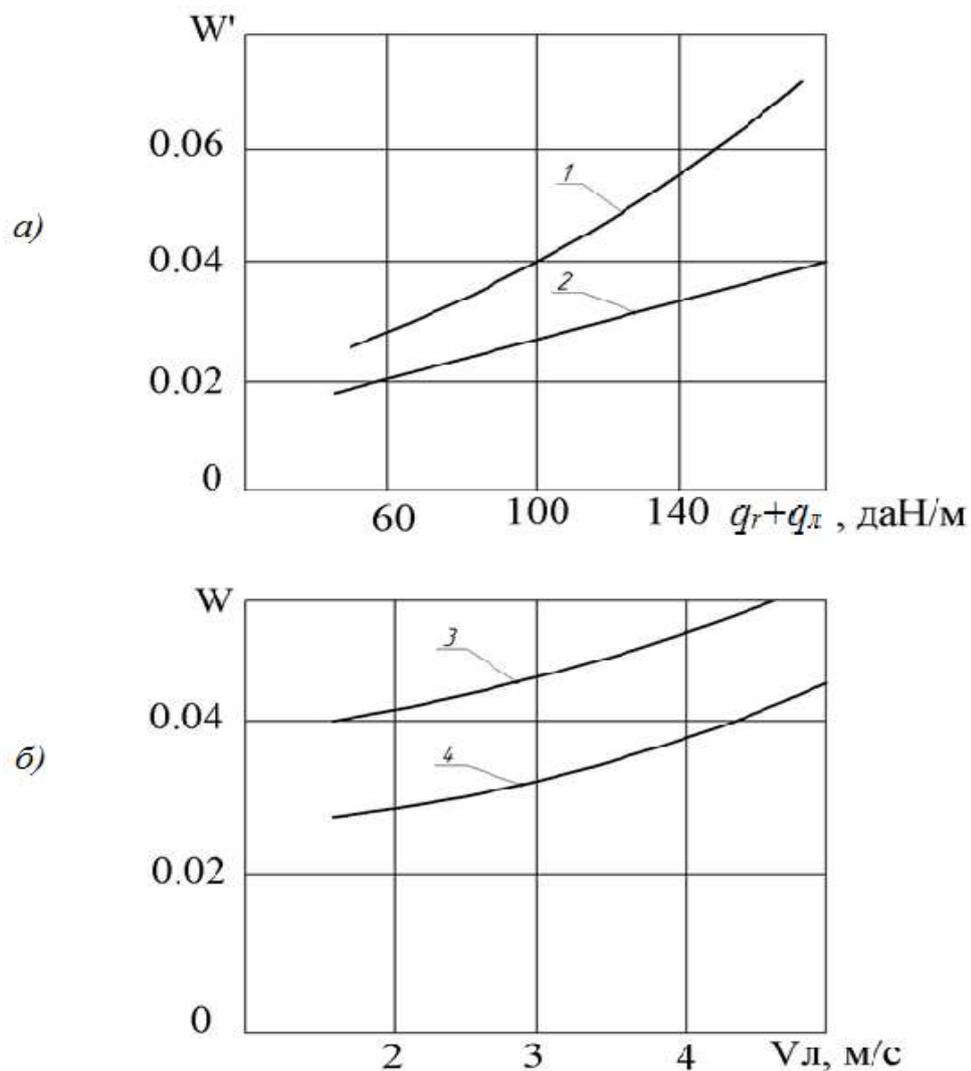


Рис. 2.10. Экспериментальная зависимость коэффициента сопротивления движению от погонной нагрузки (а) и скорости ленты (б); $q_r + q_l = 100$ даН/м; $l'_p = 1,2$ м: 1,3 - $S_0 = 1500$ даН; 2, 4 - $S_0 = 6000$ даН

2.2. Влияния состояния роликов на эксплуатационные показатели конвейера

Нормальная работа конвейера во многом зависит от работы поддерживающих роликов, количество которых на 1 м длины конвейера составляет обычно 3,3-3,5.

Ролики ленточных конвейеров являются массовой продукцией. Они отличаются типами подшипников, уплотнений, способами смазки, габаритами, размерами деталей и др.

Со временем состояние подшипников роликов и других вращающихся частей ухудшается, сопротивление движению увеличивается, качество конвейера падает.

Хорошим показателем конвейера ходовых качеств может являться значение коэффициента сопротивления движению ω_0 ленты, от которого зависит сила сопротивления движению.

Общий коэффициент сопротивления движению ω_0 можно определить из уравнения движения конвейера и на реально действующем конвейере методом свободного выбега, отключая при этом механические тормоза.

Уравнение движения конвейера будет иметь вид:

$$W_{np} = -m_{np}a \text{ ,} \quad (2.6)$$

где W_{np} - приведенная сила сопротивления движению; m_{np} - приведенная масса; a - замедление ленты при свободном выбеге, м/с².

Торможение происходит за счет сопротивлений движению W_{np} . При этом приведенные сопротивления движению W_{np} и массу m_{np} можно считать постоянными.

Скорость движения ленты до свободного выбега

$$v = at_{\epsilon} \text{ .} \quad (2.7)$$

Путь свободного выбега ленты

$$l_{\epsilon \text{ выб}} = \frac{vt_{\epsilon}}{2} \text{ .} \quad (2.8)$$

Замедление ленты при ее свободном выбеге

$$a = \frac{2l_{\epsilon \text{ выб}}}{t_{\epsilon}^2} \text{ ,} \quad (2.9)$$

где t_{ϵ} - время свободного выбега ленты, с.

Проведение опыта заключается в освобождении тормозов, нажатии на кнопку «Стоп» и измерении после этого времени t_e и длины выбега ленты $l_{\text{выб}}$ за счет инерции конвейера.

Чтобы получить общее представление о влиянии состояния роликов на эксплуатационные показатели конвейера сошлемся на данные проделанного опыта на четырех конвейерах 1ЛУ100, работающих на различных шахтах Донбасса. На них была навешена резинокросовая лента 2РТЛО-1500 с погонной массой $q_l = 28,8$ кг/м, движущаяся со скоростью $v = 1,6$ м/с. Масса вращающихся частей верхнего ролика составляла 8,7 кг, нижнего - 19 кг.

В период обследования конвейеров и проведения эксперимента осуществлялся везде необходимый надзор; выработки всюду были чистыми, а атмосфера не была запыленной.

С помощью экспериментов и расчетами дополнительно к данным из заводской технической характеристики были найдены моменты сопротивления и моменты инерции вращающихся элементов конвейера 1ЛУ100.

Характеристики обследованных конвейеров 1ЛУ100 и результаты опытов свободного выбега с величинами общих коэффициентов сопротивления движению ленты приведены в табл. 2.1

Таблица 2.1

Данные обследования конвейеров и результаты опытов [94]

Показатели	Конвейера			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Продолжительность эксплуатации конвейера, мес.	11	30	32	57
Длина конвейера l , м	366	590	640	520
Средний угол наклона конвейера, град.	16,6	8,3	0	15,5
Установленная мощность двигателей на конвейере, кВт	2*90	2*100	1*90	2*90

Масса вращающихся частей роликов, кг: - верхних - нижних	6949	14163	13936	11314
	1292	801	2440	1982
Приведенная сила сопротивления, Н	1321	1321	791	1321
Приведенная масса конвейера, $m_{пр}$, кг	91054	114602	91058	107585
Длина хода ленты при свободном выбеге $l_{выб}$, м	14,35	11,95	8,0	5,5
Время свободного выбега $t_в$, сек	20,2	13,65	8,0	6,7
Общий коэффициент сопротивления движению, ω^0	0,0182	0,0281	0,0420	0,0606

Данные табл.2.1 позволяют сделать вывод, что со временем эксплуатации конвейера общий коэффициент сопротивления движению ленты увеличивается. А это приводит к излишнему расходу энергии, более интенсивному износу ленты и других частей.

Метод свободного выбега позволяет определить ходовые качества роликов конвейера в целом в любой момент времени.

Одним из важных требований при эксплуатации ролика является обеспечение защиты подшипника от внешних воздействий. Поэтому в новых конструкциях роликов, производимых заводом «Собтензоприбор» (бывший Топкинский механический завод), не применяются подшипники и с защитными резинометаллическими уплотнениями, которые сами по себе не обеспечивали необходимого уровня защиты. Ролики «Сибтензоприбора» имеют индекс 2 (средний уровень условий эксплуатации) и 3 (для тяжелых условий) группы защиты. В них применяются кольцевые лабиринтные уплотнения из высокопрочного полимера с защитными металлическими втулками, что позволяет обеспечить серьезный уровень защиты. Внутренние полости узла и подшипника при этом заполняются консистентной смазкой типа ЛИТОЛ-24 или любой другой. Применение 3 группы защиты позволяет практически исключить попадание грязи и влаги

в подшипник, что способствует значительному увеличению ресурса работы роликов. ОАО «Завод ПИРС», также выпускает конвейерные ролики. Эти ролики имеют замкнутый автономный внутренний объем, не зависящий от условий внешней среды и мест эксплуатации. Данные ролики не требуют ухода, дополнительной смазки и ремонта в течение всего срока эксплуатации [10, 18; с.27-29, 44].

Оригинальная конструкция подшипникового узла обеспечивает защиту лабиринтного уплотнения и самого подшипника при возникновении таких аварийных ситуаций, когда температура наружной поверхности ролика повышается до 200-250 оС. В этом случае температура в подшипниковом узле не превышает допустимых в эксплуатации величин 140 °С [10, 18; с.27-29, 44, 121; с.949-951, 122; с.622-631, 123; с.330-341, 124; с.319-329, 125; с.254-255, 126; с.1301-1315, 128; с.123-138, 170].

Таким образом, повышение надежности конвейерных роликов, улучшение их приспособленности к техническому обслуживанию и ремонту, а также совершенствование самой системы технического обслуживания и ремонта может создать условия для повышения эффективности работы ленточных конвейеров[170].

Известно, что увеличение шага ролика опор сопровождается увеличением сопротивления движению ленты на каждый опоры. Но при увеличении шага уменьшается масса вращающихся частей роликкоопор на конвейере за счет уменьшения их количества. Было не ясно, приводит ли такое увеличение шага роликов к увеличению общего сопротивления движению ленты и, следовательно, к увеличению мощности и энергозатрат на транспортирование [10, 18; с.27-29, 44, 170].

Ответ на этот вопрос дают результаты эксперимента на конвейере производственного объединения «Каратау» [106]. Во время эксперимента шаг роликкоопор менялся - $l_p = 1-1,8$ м, причем по трассе конвейера шаг

возрастал по арифметической прогрессии по мере увеличения натяжения ленты [170].

После увеличения шага роlikоопор общее количество роlikоопор уменьшилось на 25%.

Установлено, что мощность, потребляемая электродвигателем при незагруженном конвейере, при шаге роlikоопор $l_p = 1 \div 1,8$ м меньше, чем мощность при шаге роlikоопор $l_p = 1$ м. При работе под нагрузкой на конвейере с увеличенным шагом роlikоопор ($l_p = 1 \div 1,8$ м) мощность практически не увеличивается. Это говорит о том, что в данном случае увеличение шага роlikоопор не приводит к изменению общего сопротивления движению ленты. Увеличение сопротивления движению на каждом роlike из-за увеличения шага роlikоопор здесь компенсируется уменьшением сопротивления вращающихся масс оставшихся роlikоопор [106].

Приведенные выше результаты экспериментов хотя освещают только одну сторону вопроса, однако свидетельствует о реальной возможности увеличения шага роlikоопор против существующих норм, что может дать значительный экономический эффект.

2.3. Исследование неравномерности грузопотока на конвейере

Практика эксплуатации ленточных конвейеров на горных предприятиях (с подземной и открытой добычей) показывает, что эти конвейеры загружены по производительности на 40-60% и используются во времени всего на 30-35%. Такая невысокая степень использования конвейеров объясняется значительной неравномерностью поступающих на них грузопотоков [5,9,32,33].

При расчете параметров конвейерных установок пользуются расчетной производительностью Q_p , определяемой выражением

$$Q_p = \frac{Q_z K_n}{T_p}, \quad \text{т/ч}$$

где Q_z - годовой объем перевозок, т; K_n - коэффициент неравномерности грузопотока; T_p - планируемое чистое время работы оборудования в году.

Коэффициент неравномерности принимается в пределах $K_n = 1,15-1,5$ независимо от числа конвейеров в линии. Такой метод расчета не совсем точно учитывает аварийные простои конвейерной линии, определяемые надежностью работы оборудования, и неравномерность поступающего на линию грузопотока, оказывающую существенное влияние на выбор необходимой ширины и прочности ленты, а также мощности приводных устройств отдельных установок.

Надежность работы конвейерной линии может быть учтена с достаточной точностью средним коэффициентом готовности, который при последовательном соединении оборудования находится произведением коэффициентов готовности отдельных элементов линии. С учетом надежности необходимая средняя часовая производительность $Q_{\text{ч}}$ определится по выражению [5,9,32,33]:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{Q_z}{TK_z}, \quad \text{т/ч}, \quad (2.11)$$

где T - планируемое время работы оборудования в году, включающее аварийные простои; K_z - коэффициент готовности системы конвейеров.

Неравномерность грузопотока, поступающего на конвейерную линию, как и прежде, может быть учтена коэффициентом неравномерности, который, однако, должен приниматься различным при расчете ширины ленты, прочности ленты и мощности двигателей приводных устройств. Ширину конвейерной ленты нужно определять по коэффициенту неравномерности за минимальный интервал времени, так как необходим учет пикового значения грузопотока, т. е. практически мгновенного. Прочность ленты и

мощность двигателей привода должна находиться с учетом неравномерности, измеренной за период, равный времени движения груза по длине конвейера.

Для оценки количественных показателей коэффициентов неравномерности приведем результаты работы, в котором был исследован грузопоток, поступающий на конвейерную линию Ингулецкого ГОКа (Украина) [107].

Этими исследованиями установлена значительная неравномерность суточных, сменных и часовых производительностей. Коэффициент неравномерности суточной и сменной производительностей за время наблюдений за конвейерной линией ИнГОКа достигал соответственно 1,7-2,0 и 1,4-1,5. Неравномерность часовой производительности также велика [107].

Значительная неравномерность суточных, сменных и часовых грузопотоков, в основном, обусловлена неритмичной работой в карьере разные периоды суток и аварийными остановками конвейерной линии.

Изменение коэффициента неравномерности грузопотока K_n конвейерной линии в зависимости от степени загрузки, определенной отношением возможной производительности выемочно-погрузочной машины Q_e к ее технической (приведенной в технической характеристике) производительности Q_p показано на рис.2.11 [107].

На рис.2.11 показаны также (кривые со штрихом) зависимость коэффициента неравномерности от степени загрузки конвейерной линии разреза «Ангренский».

Кривая, отражающая связь между коэффициентом неравномерности и отношением $\frac{Q_e}{Q_p}$, с достаточной точностью описывается уравнением

$$K_n = 1,08 + \frac{0,32}{\frac{Q_e}{Q_p} - 0,2}. \quad (2.12)$$

Как видно из рис.2.11 при производительности машины, равной технической, коэффициент неравномерности имеет значение около 1,4.

На основании изложенного можно рекомендовать значения коэффициентов неравномерности грузопотока, которые необходимо учитывать при расчете параметров конвейерных установок.

Общий коэффициент неравномерности для расчета ширины ленты изменяется в пределах 1,4-1,7, среднее значение - 1,56. Для расчета прочности конвейерной ленты учитывается коэффициент неравномерности, определяемый отношением $K_n = \frac{Q_g}{Q_p}$, значение которого можно принимать равным 1,2-1,3. Этот же коэффициент с определенным запасом может приниматься также для расчета необходимой мощности приводных станций.

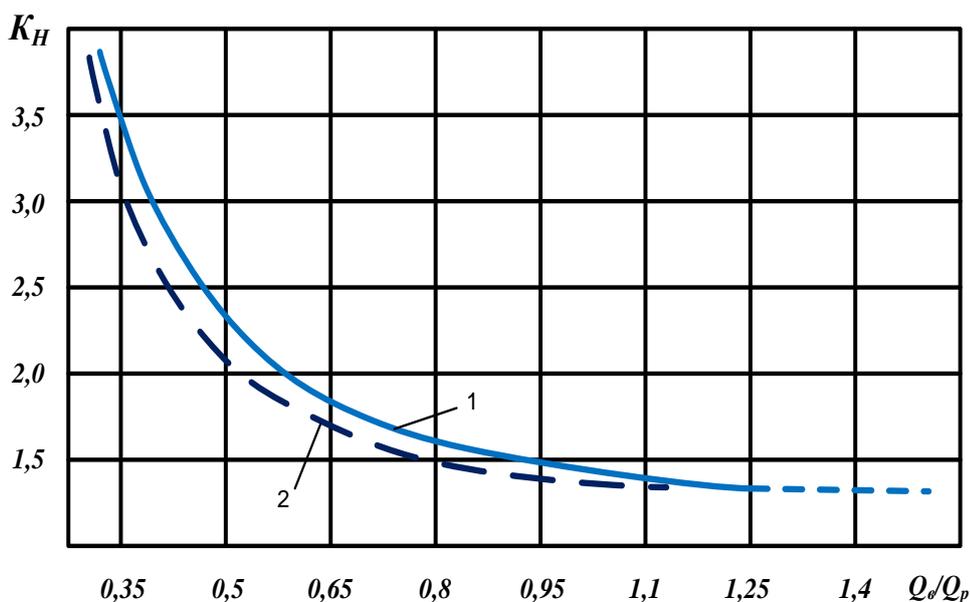


Рис. 2.11. Зависимость коэффициента неравномерности от степени загрузки конвейерной линии [94]

Мгновенная производительность грузопотока, поступающего от добычной машины на конвейер, непрерывно изменяется в широких пределах. По существующим методикам расчета ширина конвейерной ленты определяется по максимальному значению производительности поступающего грузопотока (по расчетной производительности). Требуемая ширина ленты получается завышенной, а конвейер соответственно

мощным и дорогим. Если принимать во внимание неравномерность грузопотока, то окажется, что мощные и дорогостоящие конвейеры большую часть времени работают со значительной недогрузкой. Это приводит к неоправданному увеличению стоимости транспортирования горной массы конвейерами.

Уменьшая стоимость конвейера сокращением ширины ленты, можно снизить стоимость транспортирования горной массы, но при этом уменьшается и паспортная производительность конвейера. Следовательно, в моменты времени, когда производительность грузопотока будет превышать паспортную производительность конвейера, появляются просыпи транспортируемых горных пород. Это приводит к дополнительным расходам на их уборку. Кроме того, из-за просыпа уменьшается средняя производительность как экскаватора, так и конвейера. Все это удорожает транспортирование горной массы. Таким образом, уменьшение ширины ленты приводит к снижению одних расходов (капитальных) и увеличению других (эксплуатационных). Следовательно, существует оптимальная ширина ленты, обеспечивающая минимальную стоимость экскавации и транспортирования горной массы.

Оптимальная ширина ленты была выражена через среднюю производительность грузопотока ($Q_{\text{ср.гр.}} \text{ м}^3/\text{час}$), его коэффициент вариации (V), коэффициент производительности конвейера (K), скорость движения ленты (\mathcal{Q} , м/сек) и коэффициент разрыхления породы (k_p). В результате были получены следующие выражения для расчета оптимальной ширины ленты и коэффициента неравномерности поступающего грузопотока:

$$B_{\text{опт}} = \sqrt{Q_{\text{ср.гр.}} \frac{1 + 1,5V}{K \mathcal{Q}}} k_p, \text{ м}; \quad (2.13)$$

$$k_n = 1 + 1,5V.$$

По этой методике в условиях Грушевского карьера [108]. Никопольского бассейна [109] и других карьеров определялась

оптимальная ширина ленты для конвейеров шести вскрышных комплексов горно-транспортного оборудования непрерывного действия, имеющих действительную ширину ленты от 1200 мм до 2800 мм.

Численные значения входящих в формулы (2.12) и (2.13) величин, установленные на основании их технических характеристик или данных их эксплуатации, приведены в табл. 2.2, а результаты вычислений B_{opt} и k_n , а также рекомендуемое значение ширины ленты для исследованных комплексов приведены в табл. 2.3 [108, 109].

При выборе ширины ленты по приведенной методике ее оптимальное (расчетное) значение редко совпадает или не совпадает со стандартной величиной (табл.2.3). К установке следует принимать ближайшее большее или меньшее ее типовое значение.

Из табл. 2.2 и 2.3 следует, что для конвейеров комплексов одного типа №1,2,3 работающих в разнообразных условиях Грушевского карьера, значение оптимальной ширины не превосходит 0,815 м, тогда как фактическая ширина ее для данных комплексов составляет 1,2 м [108, 109].

Таблица 2.2.

Численные значения величин, входящих в формулы (2.12) и (2.13) [94].

Обозначения величин	Номера комплексов					
	1	2	3	4	5	6
	(Грушевский карьер)			Разрез Ангренский		
$Q_{ср.гр.}$ м ³ /час	818	549	405	1850	3375	10000
V	0,262	0,59	0,386	0,333	0,333	0,333
ϑ , м/сек	5,2	3,56	4,26	4,0	4,5	5,4
K	525	525	525	525	525	525
k_p	1,15	1,20	1,25	1,25	1,25	1,25
Длина конвейерного става на вскрышном уступе, м	1725	1795	1530	1450	1000	1800

Согласно таблицы -2.3, № 4,5 и 6 для конвейеров комплексов значение оптимальной ширины ленты меньше почти на два типоразмера по сравнению с фактической для этих комплексов [108, 109].

Таблица 2.3.

Результаты вычислений и рекомендации [94].

№	Наименования параметров	Номера комплексов					
		1	2	3	4	5	6
1.	Коэффициент неравномерности грузопотока, k_n	1,2	1,2	1,2	1,6	2,0	2,8
2.	Действительное значение ширины ленты, В, м	0,686	0,815	0,358	1,285	1,640	2,51
3	Оптимальная (расчетная) ширина ленты, B_{opt} , м	1,00	1,00	1,00	1,4	1,6	2,50
4.	Рекомендуемая (стандартная) ширина ленты, $B_{рек}$, м	1,393	1,88	1,581	1,5	1,5	1,5

Таким образом, приведенные результаты показали, что конвейеры вскрышных комплексов непрерывного действия можно эксплуатировать либо с лентой шириной на один-два типоразмера меньше существующих, либо эксплуатировать их в сочетании с экскаваторами большей производительности.

2.4. Влияние климатических и атмосферных факторов

Актуальность проблемы обеспечения высоких эксплуатационных показателей за счет повышения надежности карьерных ленточных конвейеров определяется факторами, к главным из которых относятся:

- 1) увеличение производительности конвейеров достигаемой увеличением удельных нагрузок, скоростей, размеров деталей и др.;
- 2) усложнение конструкций конвейеров из-за применения многодвигательного привода, средств автоматизации и др.;

3) работа конвейеров в сложных технологических комплексах и конвейерных линиях; здесь отказ одного конвейера приводит к остановке (отказу) всего комплекса или линии;

4) работа конвейеров в большинстве случаев на открытом воздухе и неблагоприятное воздействие на них климатообразующих факторов и климатических элементов.

Увеличение единичной производительности и усложнение конструкций конвейеров вызывают снижение их надежности, если воздействию этих факторов не противопоставляется опережающее осуществление методов повышения и обеспечения надежности конвейеров. Задача повышения надежности единичных конвейеров усложняется преимущественно последовательным соединением их элементов и затруднительностью введения систем резервирования.

Актуальной проблемой является проблема обеспечения надежности ленточных конвейеров при их эксплуатации в условиях жаркого климата.

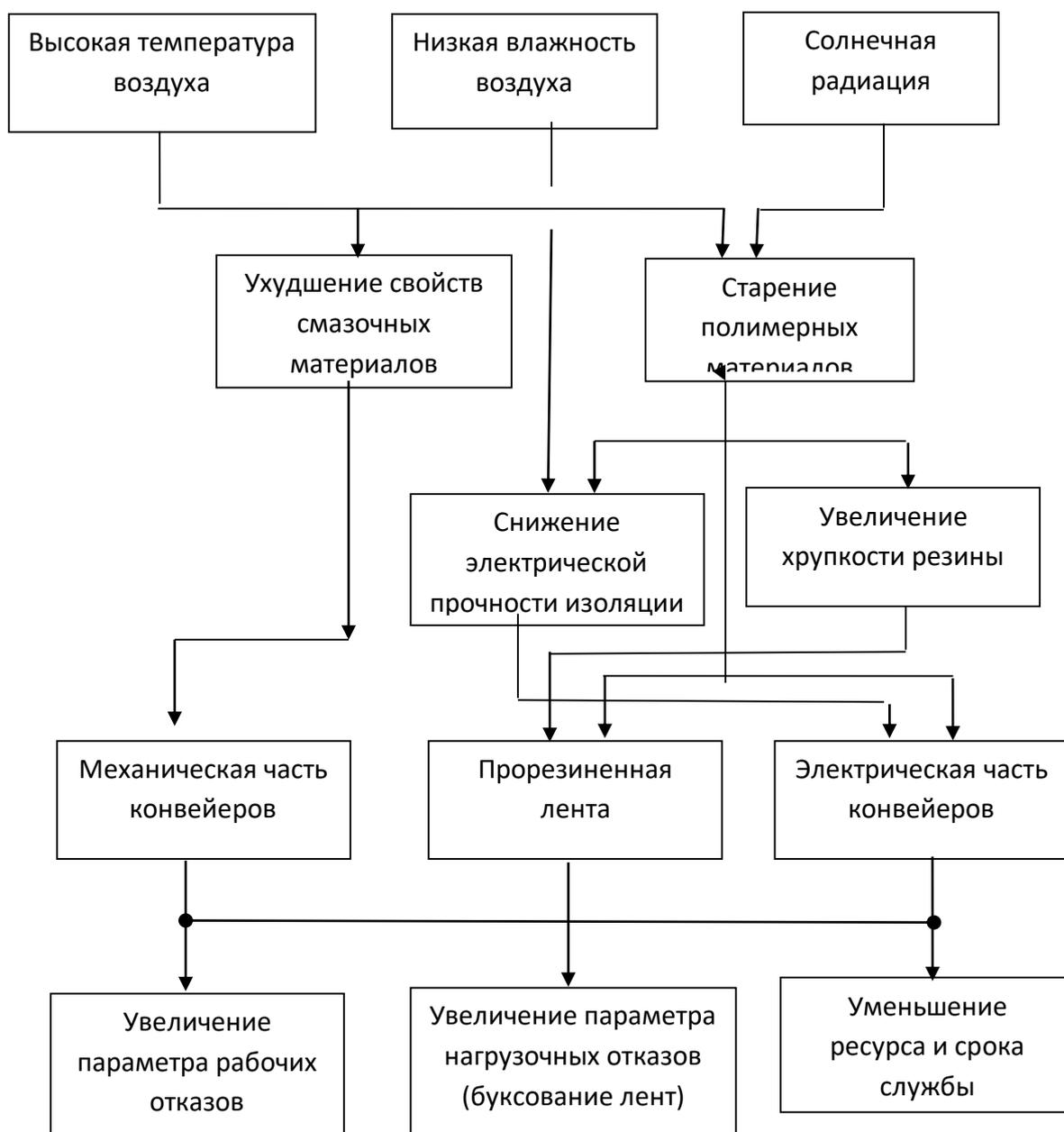


Рис.2.12. Схема влияния климатообразующих факторов и климатических элементов на надежность ленточных конвейеров [94].

Климатические элементы (температура воздуха, его влажность и др.) и климатообразующие факторы (солнечная радиация, скорость циркуляции атмосферы и др.) неблагоприятно влияют на надежность ленточных конвейеров [57; с.42-44].

Общая схема влияния этих элементов и факторов на основные показатели надежности ленточных конвейеров показана на рис. 2.14.

Из схемы видно достаточно сложный и комплексный характер неблагоприятного воздействия климатообразующих факторов и климатических элементов на конструкционные материалы, механизмы и узлы ленточных конвейеров, вызывающие снижение показателей их надежности.

При работе ленточных конвейеров в районах жаркого климата сохраняется нестационарный характер потока отказов ω ; при этом наибольшие значения параметра потока отказов приходятся на зимние и летние месяцы (рис.2.18.) [57; с.42-44].

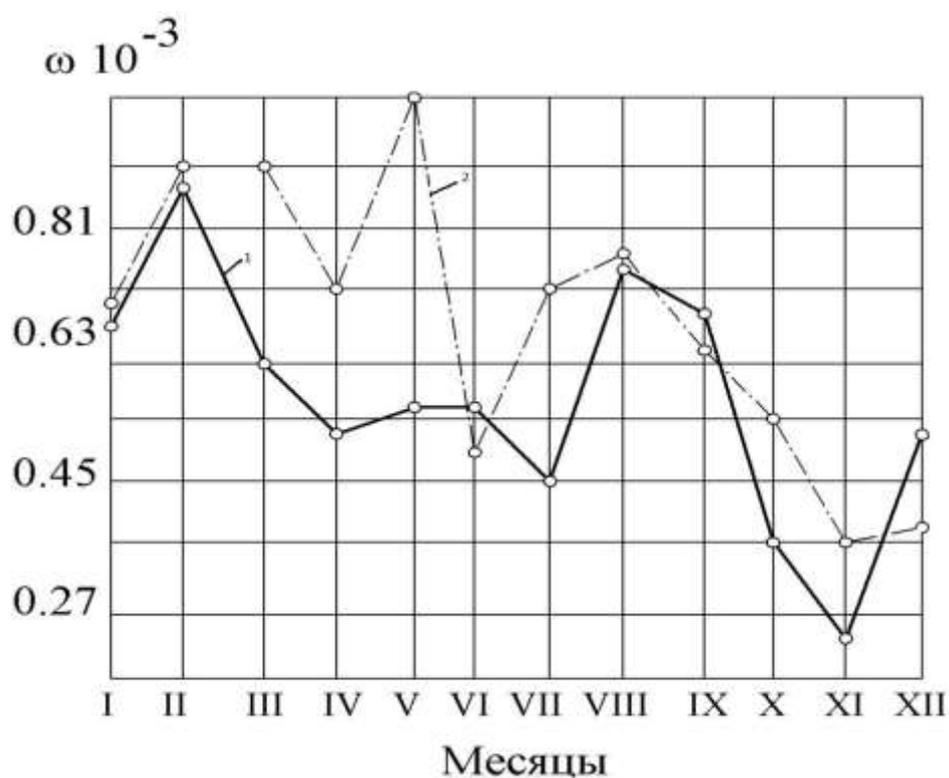


Рис.2.13. Изменение параметра потока отказов (1) и среднего времени восстановления (2) конвейеров при их эксплуатации на Ангренском угольном разреза [94].

Надежность ленточных конвейеров при их эксплуатации в районах жаркого климата может быть существенно повышена применением более вязких (летних) смазочных материалов, укрытия конвейеров от действия прямой солнечной радиации, применения теплостойкой изоляции обмоток электрических машин и др.

Достаточно полный учет влияния климатических условий не только при конструировании но и при эксплуатации ленточных конвейеров позволяет значительно улучшить их надежность.

Результаты обработки статистических данных по температурному режиму и атмосферным осадком района расположения Ангренского бурогоугольного разреза представлены в виде графика на рис. 3.19 [40,57; с.42-44].

Изучение климатических условий района Ангрена, как это видно из рис.2.14. показало, что среднемесячные величины температуры воздуха на поверхности разреза в течение года в основном остаются положительными. Основное количество атмосферных осадков выпадает с октября по май месяцы. Среднее годовое количество осадков в районе Ангрена превышает 600 мм.

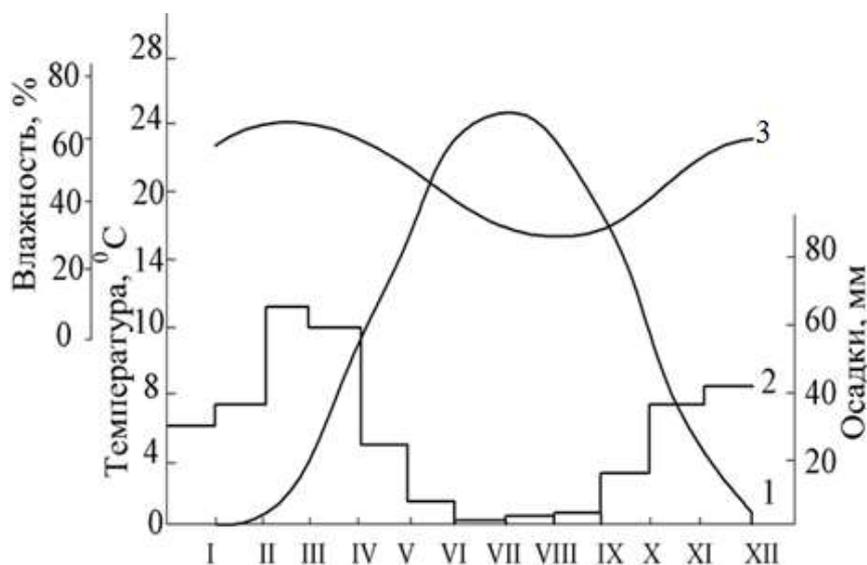


Рис. 2.14. Климатическая характеристика района Ангрена: 1 - температура воздуха; 2 - атмосферные осадки; 3 - относительная влажность [94].

Относительная влажность и количество осадков в летние месяцы достигают наименьших значений. Суточные перепады температуры достигают значительных величин. Так, температура воздуха меняется от +42 °C днем до +14 °C ночью. Кроме того, в зависимости от времени суток наблюдаются резкие различия температур почвы и воздуха в тени и на

солнце, внутри кабины машин и механизмов и вне ее. Например, в расположении угольных уступов Ангреновского бурогоугольного разреза в летние месяцы атмосфера на солнечной стороне нагревается до 45-50 °С при относительной влажности 20-30 %, а температура технических поверхностей, т.е. поверхностей горной техники и строений, достигает 60-70 °С [40,57; с.42-44].

Максимальная скорость ветра в рассматриваемой зоне доходит до 17 м/сек при среднегодовой скорости 2 - 4 м/сек.

Поверхностное обследование отказов машин и механизмов на Ангреновском бурогоугольном разрезе показало, что 60-65% годового количества отказов приходится на летние и зимние месяцы; количество отказов в весенние и осенние месяцы примерно одинаково и составляет 17-20% в каждый период. Это, по-видимому, также связано с климатическими условиями [40,57; с.42-44].

Результаты хронометража наблюдений за ленточными конвейерами на карьере "Ангреновский" показали, что неравномерность грузопотока конвейера в течении определенного времени была разнообразной. Иногда также присутствовало явление полного отсутствия груза на ленте. Эта неравномерность зависела от различных факторов. Например, отсутствие грузопотока на ленте отмечалось по причине простоев экскаватора в связи с его поломкой или отсутствием электроэнергии некоторое время. Бывало и такое, что останавливался забойный конвейер, в следствии этого магистральные конвейера работали вхолостую недлительное время. Равномерность также отчасти зависела и от размера куска погружаемого полезного ископаемого т.е. от размера его кусков, также от неподготовленности забоя. На магистральных конвейерах неравномерность грузопотока еще отмечается по следующей причине: если перегрузка на магистральный конвейер осуществляется с двух забойных конвейеров, и если один из них останавливается, грузопоток соответственно уменьшается. В целом грузопоток остается постоянным. Остановки конвейеров иногда

происходили по следующим причинам: из-за отсутствия электроэнергии, разрыва стыка ленты, замены роликов и в очень редких случаях по причине ремонта става конвейера.

Хронометраж работы роликов в отдельные, не очень оптимистичные, периоды времени, на карьере "Ангренский", давал не очень хорошие результаты. Например в какой-то период времени за один месяц их эксплуатации вышло из строя: общее количество по карьере-170 штук, и все это было не по причине их неправильной эксплуатации, а по тем причинам, что будут перечислены ниже. Параметры роликов следующие: длина нижнего равна 1400 мм., длина верхнего составляет 495 мм. Вес роликов: верхнего равен 20 кг, нижнего-60 кг. Диаметр роликов равен 159 мм [40,57; с.42-44, 94; с.79-102].

Анализ повреждений роликов показал, что качество изготовления, данных роликов, заводом изготовителем, не соответствует стандартам изготовителя:

- послабление посадочных мест подшипников - 20%;
- некачественная приварка подшипникового узла - 1%;
- недостаточное количество смазки в подшипниках - 27%;
- недостаточный фиксирующий момент стопора (стопор при эксплуатации выпадает)-30%;
- некоторые ролики не прокручиваются - 5%.

В итоге для безаварийной работы конвейерной установки, часть поврежденных роликов была заменена роликами с демонтируемых конвейеров, в процентном соотношении, от вышедших из строя роликов, составило около 64,7%. Сроки службы остальных роликов составляют 18 месяцев. Причины их выхода из строя как следствие долговременное воздействие осадков, попадание пыли внутрь ролика, в подшипниковый узел, вследствие чего происходит увеличение трения, увеличивается сопротивление вращению роликов и как следствие выход, через некоторое время, из строя. Иногда ролики выходили из строя из-за воздействия на них

удара со стороны крупногабаритных кусков полезного ископаемого, что также негативно отражается на подшипниковом узле.

Лента же в свою очередь эксплуатируется долго и срок ее эксплуатации, фактический, часто совпадает с нормативным. Иногда бывает, что лента т.е. ее маленькая часть выходит из строя в местах ее стыка, происходит ее порыв из-за больших тяговых усилий и нагрузки в этих местах. В основном на карьере лента выходит из строя, приходит в негодность, по причине ее старения, появления больших трещин вследствие воздействия осадков окружающей среды и солнечных лучей. Срок службы ее составляет около 3-х лет.

На открытых работах Разреза «Ангренский», конвейера работают в тяжелых условиях. Различие температурного режима в течение года, действие на ленту воды, снега, пыли, ветра, солнечных лучей иногда осложняют их работу.

Изучение климатических условий Разреза «Ангренский» горно-промышленной зоны, рис.3.19 [40, 57; с.42-44], показало, что среднемесячная температура воздуха на поверхности карьера в течение года в основном остается положительной. Из рис.3.16 мы видим, что основное количество атмосферных осадков выпадает с октября по май месяцы. Среднегодовое количество осадков в районе по данным метеорологической станции превышает 600 мм. Относительная влажность и количество осадков в летние месяцы достигают наименьших значений. Суточные периоды температуры достигают значительных величин. Так температура воздуха меняется в условиях разреза от 41°C днем до 14°C ночью. Кроме того, в зависимости от времени суток наблюдаются резкие перепады температур внутри кабины машин и механизмов, так и вне ее. Например, в расположении угольных уступов Разреза «Ангренский» или неподалеку от них, в летние месяцы атмосфера на солнечной стороне нагревается до 45-50°C при относительной 25-35°C, а температура технических поверхностей, т.е. поверхностей горных машин достигает 64-75°C. Если же брать

среднемесячные данные по температуре по среднедневной, то она будет в 1,4-1,6 раз больше относительно среднесуточной. Перепад ночной температуры с дневной составляет где - то в пределах двух раз. Осадки приведены среднемесячные, поскольку нет данных о количестве дней, то мы по этим данным не можем судить о количестве дней с большой влажностью. Графики, по климатической характеристике, показан на рис.3.19 [40,57; с.42-44].

Анализ показал также, что максимальная скорость ветра в Ангреном районе доходит до 17 м/сек при среднегодовой скорости 2-4 м/сек. Из вышеизложенного сделаем вывод, что климатические условия в зоне расположения Разреза «Ангреномский» отличаются резкими перепадами суточной температуры, температура поверхностей машин достигает больших значений в летний период.

2.5. Экспериментальные определения параметров конвейерных установок влияющих на момент сопротивления АД

Определяем основные параметры конвейеров, установленные на Разрезе «Ангреномский».

Установим условные обозначения для расчета по таблице-2.4, расчетная схема конвейера по рис.2.15 (для конвейера 2.7.) и результаты расчета сводим в таблицу 2.5.

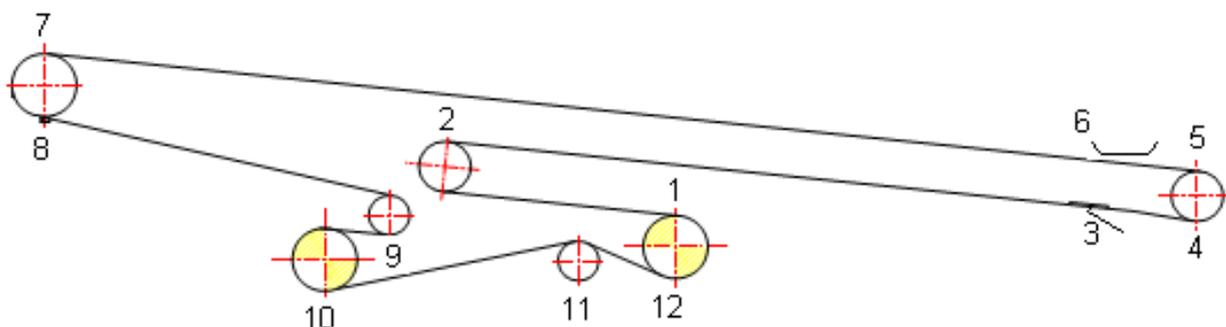


Рис. 2.15. Расчетная схема обхода ленты конвейера 3.7. [94].

Таблица 2.4.

Условные обозначения для расчета конвейеров [94].

Основные рабочие параметры	Обозначение	Ед. измерение
Часовая техническая производительность	Q	т/час
Погонная масса груза	q_z	кг/м
Погонная масса ленты	q_l	кг/м
Погонная масса вращающихся частей роlikоопор (верхний)	q'_p	кг/м
Погонная масса вращающихся частей роlikоопор (нижний)	q''_p	кг/м
Общий коэффициент сопротивления движению ленты	ω'	н/Кн
Угол наклона конвейера	β	градус
Длина конвейера	L	м
Расстояние между линейными роlikоопорами грузеной ветви	l'	м
Расстояние между линейными роlikоопорами порожняковой ветви	l''	м
Суммарная погонная нагрузка грузеной ветви конвейера	q_z^c	кг/м
Суммарная погонная нагрузка порожняковой ветви конвейера	q_n^c	кг/м
Ширина ленты	$B(\text{лента})$	м
Скорость перемещения ленты	ϑ	м/сек
Установленная мощность	$N_{\text{уст}}$	кВт
Силы сопротивления грузеной ветви	W_{Γ}	Н
Силы сопротивления порожняковой ветви	W_{Π}	Н
Силы сопротивления загрузочный устройств	$W_{\text{заг}}$	Н
Силы натяжения i-ой точки ленты	S_i	Н
Общая сила тяги	W_0	Н
Потребляемая мощность	$N_{\text{потр}}$	кВт

Таблица 2.5.

Расчетные результаты конвейеров [94].

Показатели	Номера конвейеров								
	3.1.	3.2.	3.3.	3.4.	3.5.	3.6.	3.7.	3.8.	3.9.
$Q, \text{т/час}$	3167	3167	3167	3167	3167	3167	3167	9501	9501
$q_{\Gamma}, \text{кг}$	176	176	176	176	176	176	176	471	471
$m(\text{в.ролик}), \text{кг}$	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
$m(\text{н.ролик}), \text{кг}$	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7
$q(\text{лента}), \text{кг}$	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6
$B(\text{лента}), \text{м}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2
$l(\text{в.ролик}), \text{м}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$l(\text{н.ролик}), \text{м}$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Показатели	Номера конвейеров								
	3.1.	3.2.	3.3.	3.4.	3.5.	3.6.	3.7.	3.8.	3.9.
$q(\text{г.сторон}), \text{кг/м}$	248,1	248,1	248,1	248,1	248,1	248,1	248,1	543,4	556,3
$q(\text{п.сторон}), \text{кг/м}$	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	80,1
$L, \text{м}$	1226	451	311	570	120	476	562	718	980
η	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
k	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
K_m	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
g	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
$\beta, \text{град}$	0	1	1	5	1	1	1	0	0
$\vartheta, \text{м/сек}$	5	5	5	5	5	5	5	5,6	5,6
$N_{\text{уст}}, \text{кВт}$	1120	1120	560	1120	560	560	560	1680	1120
W_{Γ}	89499,6	32923,6	22703,4	41610,7	8760,15	34748,6	41026,7	21170,4	114821
W_{Π}	19491,1	7170,04	4944,3	9061,91	1907,77	7567,49	8934,72	4610,44	11414,8
$W_{\text{заг}}$	2073,18	2073,18	2073,18	2073,18	2073,18	2073,18	2073,18	2073,18	5292,34
S1	16109	4178,46	2943,91	5227,83	1259,63	4398,91	5157,28	2758,73	12909,5
S2	16592,3	4387,38	3091,1	5489,22	1322,61	4618,86	5415,14	2896,66	14200,5
S3	36083,3	11557,4	8035,41	14551,1	3230,38	12186,3	14349,9	7507,11	25615,3
S4	37165,8	12135,3	8437,18	15278,7	3391,9	12795,7	15067,4	7882,46	26896
S5	39024,1	12984,8	9027,78	16348,2	3629,33	13691,4	16122,1	8434,23	28778,8
S6	41097,3	15057,9	11101	18421,4	5702,52	15764,5	18195,3	10507,4	34071,1
S7	130597	47981,5	33804,4	60032,1	14462,7	50513,2	59222	31677,8	148893
S8	137127	51340,2	36170,7	64234,4	15475,1	54049,1	63367,5	33895,2	159315
S9	141241	52880,4	37255,8	66161,4	15939,3	55670,5	65268,5	34912,1	164094
S10	148303	55524,5	39118,6	69469,5	16736,3	58454,1	68532	36657,7	172299
S11	152752	57190,2	40292,1	71553,5	17238,4	60207,7	70587,9	37757,4	177468
S12	160389	60049,7	42306,7	75131,2	18100,3	63218,1	74117,3	39645,3	186342
W_0	108991	40093,6	27647,7	50672,6	10667,9	42316,1	49961,4	25780,8	126236
ω'	0,042	0,104	0,073	0,040	0,205	0,044	0,036	0,079	0,049
Nпотреб.	678,723	257,686	181,628	322,336	77,8623	271,268	317,989	170,219	900,24

Из приведенных расчетов видно, что на эксплуатационные показатели работы ленточных конвейеров оказывают влияния такие параметры, как натяжение и тяговое усилия ленты погонная нагрузка от ленты и транспортируемого груза расстояние между роlikоопорами; скорость движения ленты угол наклона боковых роликoв от которых зависят коэффициенты и силы сопротивления движению [171]. Изменения общего коэффициента сопротивления движению ленты конвейеров для различных условий показан на рис.2.15.

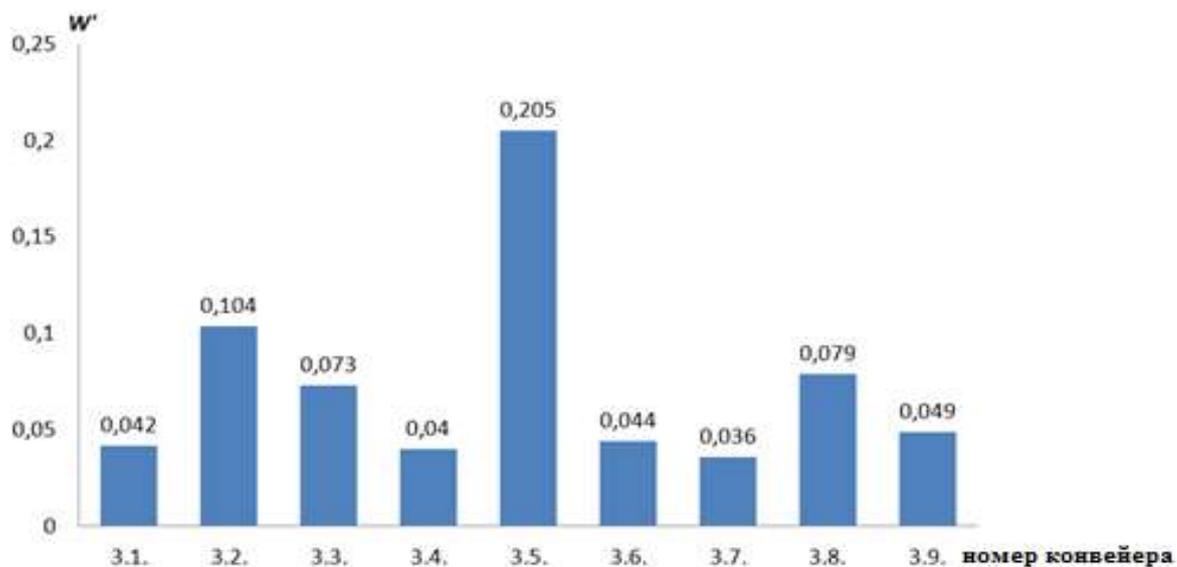


Рис.2.16. Графическая диаграмма показателей коэффициента сопротивления движению соответствующих конвейеров [94].

По данному расчету можно определить общий коэффициент сопротивления движению ленты по фактическим параметрам конвейера (установленная мощность двигателя, вес груза и ленты, масса вращающихся частей роlikоопор, угол установки конвейера, скорость ленты и т.д) и можно сравнивать с допустимыми пределами общих коэффициентов сопротивлений.

Например, по расчету для конвейера 3.4 коэффициент сопротивления составляет $\omega' = 0,205$ при установленном мощности $N=560$ кВт. Это означает, что у конвейера установлены двигатели с большими запасами мощности. Для этого конвейера по расчету можно рекомендовать $N=322,3$ кВт.

Таким образом, на основании вышеприведенных исследований совершенствован метод определения коэффициента сопротивлений ленточных конвейеров по типу конвейера и конкретным условиям эксплуатации. При этом обязательные необходимые параметры: установленная мощность привода, скорость движения ленты (принимается в соответствии с техническими характеристиками) и погонный вес груза на ленте: q_r, q_p' и q_p'' . $L_{k.рух.}$ – допустимая длина конвейера определяется с углами установки и производительности:

$$\omega' = \frac{1000 N_{усм} \eta}{k K_m g L} q_2 \sin \beta \cdot \frac{1}{(q_z^c + q_n^c) \cos \beta}$$

Учитывая все вышеизложенное, мы предлагаем следующую формулу для определения статического момента конвейерного двигателя:

$$M_c = \frac{W_0 D_6}{2i\eta} = (1,05 \div 1,08) \frac{D_6}{2i\eta} \cdot L \cdot g [(q_r + 2q_l + q'_p + q''_p) \cdot \omega' \cdot \cos\beta \pm q_r \cdot \sin\beta]$$

Потребная эксплуатационная производительность конвейера устанавливается по максимальной производительности выемочно – погрузочной машины (экскаватора).

Максимальная техническая производительность экскаватора составляет

$$Q_{m.э} = 3167 \text{ т/ч.}$$

Фактическая производительность конвейера зависит от эксплуатационных показателей экскаватора. Поэтому для различных условий определяем основные фактические параметры конвейеров по таблице 2.6.

Таблица 2.6.

Определение производительности конвейера при различных углах установки и длины [94].

Показатели	3.1.	3.1.	3.1.	3.1.	3.1.	3.1.	3.1.
Q, т/час	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
q _r , кг/м	56	56	56	56	56	56	56
Q, т/час	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
q _r , кг/м	111	111	111	111	111	111	111
Q, т/час	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
q _r , кг/м	167	167	167	167	167	167	167
Q, т/час	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
q _r , кг/м	222	222	222	222	222	222	222
m(в.ролик), кг	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
m(н.ролик), кг	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7
q _p ['] , кг/м	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6
q _p ^{''} , кг/м	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
q _л , кг/м	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6
q _л ['] , кг/м	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12
B(лента), м	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
l(в.ролик)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
l(н.ролик)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
L, м	1226	1226	1226	1226	1226	1226	1226
η	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
k	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Km	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

g	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
β , град	2	4	6	8	10	12	14
ϑ , м/сек	5	5	5	5	5	5	5
Нуст, кВт	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120
W _Г , Н	107579	147146	186532,9	225692,9	264577,9	303140,6	341334
W _п , Н	43716,1	60066,4	76343,46	92527,53	108598,9	124537,9	140325,2
ω'	0,04204	0,04204	0,042039	0,042039	0,042039	0,042039	0,042039
L_{доп} (Q=1000)	1634,34	1399,4	1224,816	1090,145	983,2335	896,4138	824,6057
L_{доп} (Q=2000)	1155,31	933,117	783,4059	675,8021	594,8254	531,7565	481,3099
L_{доп} (Q=3000)	893,437	699,908	575,869	489,6832	426,3885	377,9912	339,8325
L_{доп} (Q=4000)	728,345	559,96	455,2626	383,9435	332,293	293,2063	262,6334

По таблице 2.6. для конвейера 2.1. находим кривую с технической производительностью, равной эксплуатационной производительности $Q_{к.э} = 3000m/час$ и $Q_{к.э} = 4000m/час$. По этой кривой в соответствие с величиной угла наклона конвейера β определяем максимальную допустимую длину конвейера соответственно $L_{к.доп} = 1237m$ и $L_{к.доп} = 1043m$. [172]

Допустимая длина конвейера $L_{к.доп}$ определяется для каждого типа конвейера по своим характеристикам [172]

$$L_{к.доп} = \frac{1000N_{к.ю}\eta}{(kg\vartheta\omega K_d(q_\Gamma + 2q_l + q'_p + q''_p \cos\beta) + q_\Gamma \sin\beta)}$$

Для этого на графике с характеристиками для конкретного типа конвейера находится кривая с технической производительностью, равной эксплуатационной производительности $Q_{к.э}$. По этой кривой в соответствии с величиной угла наклона конвейера β определяется максимально допустимая длина конвейера $L_{к.доп}$. [172]

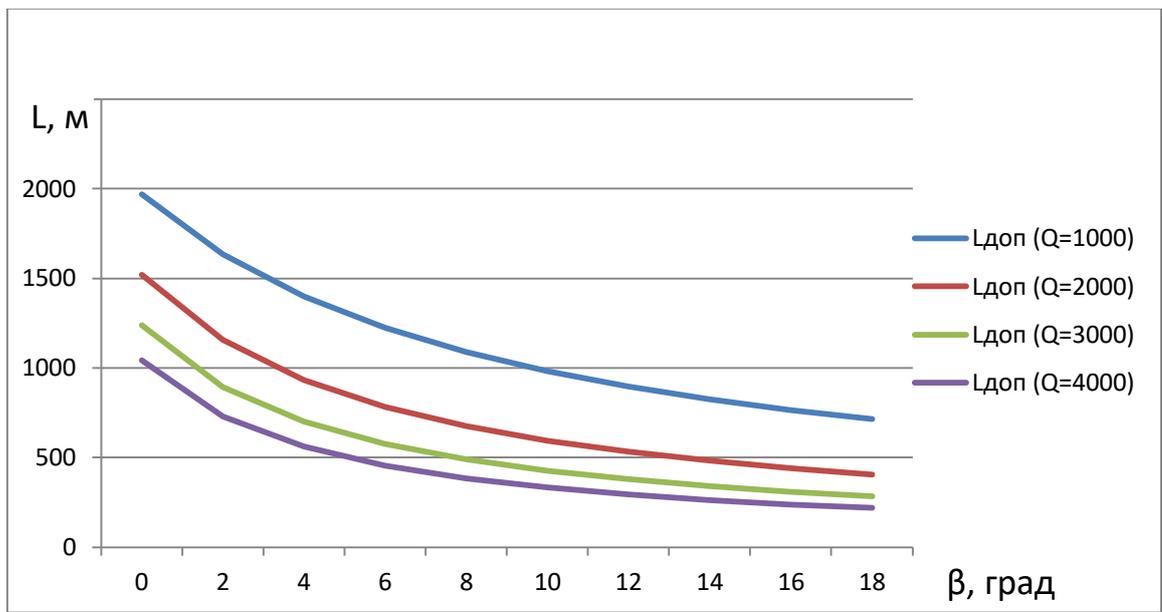


Рис.2.17. Графическая зависимость допустимой длины конвейера 3.1. от угла наклона и производительности [разработка автора]

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

3.1. Условия эксплуатации электрооборудований и электродвигателей конвейерных установок на карьерах

На открытых горных выработках применяют электрооборудование, отвечающие специфическим особенностям, к которым относятся [54, 173]:

- работа на открытом воздухе под воздействием пыли, дождя, снега в условия жаркого климата и т.д.
- значительная площадь, разбросанность и глубина размещения горных выработок в границах месторождения;
- наличие буровзрывных работ и непостоянство рабочих горизонтов и т.д.

К карьерному электрооборудованию предъявляются повышенные требования к надежности оборудования и безопасности его обслуживания. Для удовлетворения этих требований электрооборудование открытых разработок должно отличаться повышенной механической прочностью оболочек, применением влага и теплостойкой изоляции для электродвигателей, использованием электродвигателей с высокой перегрузочной способностью.

Характерной особенностью ленточных и скребковых конвейеров является большой статический момент сопротивления, который, как правило, превосходит номинальный. К электроприводу конвейеров предъявляются требования высокой надежности, простоты обслуживания, а также обеспечения повышенного момента при пуске [45-53,62,95-104; с.45-62]. В некоторых случаях возникают дополнительные требования по обеспечению, плавного пуска, предотвращению при буксование ленты, небольшому регулированию скорости и согласованному вращению нескольких электроприводов. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым или фазным ротором.

Мощность электропривода конвейера определяют путем построения диаграммы тяговых усилий и учета потерь в каждом элементе по всей трассе конвейера - со всеми подъемами и спусками, перегибами, приводными и натяжными станциями, направляющими блоками и барабанами [174]. Мощность приводного электродвигателя конвейера P (кВт) можно определить по упрощенной формуле:

$$P = \frac{kQ}{367 * \eta_m} (cL + H), \quad (3.1)$$

где k - коэффициент запаса ($k = 1,2 \div 1,3$); Q - производительность транспортера, т/ч; L - расстояние между осями концевых барабанов, м; H - высота подъема груза, м; η - КПД передаточного механизма (0,7-0,85); c - опытный коэффициент, зависящий от производительности конвейера и его длины.

Электропривод конвейеров большой протяженности нецелесообразно осуществлять одним электродвигателем, так как в этом случае в механическом оборудовании, расположенном близко к приводной станции, создаются значительные усилия. Перегрузка отдельных участков конвейера приводит к тому, что габариты механической части и особенно тягового органа резко возрастают. Для предотвращения возникновения больших тяговых усилий такие конвейеры приводятся в движение от нескольких приводных станций. В таком случае в тяговом органе приводной станции создается усилие, пропорциональное статическому сопротивлению только одного участка, и тяговый орган не передает усилий для привода всего конвейера [174].

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором применяют только для однобарабанных приводов. Плавный и безударный пуск при этом не обеспечивается, поэтому такой вариант применяется при мощности до 50 кВт. Для осуществления плавного пуска и устранения ударов, возникающих в редукторе вследствие зазоров, в приводах с асинхронными двигателями с

короткозамкнутым ротором применяют различные приводные муфты (турбомуфты или электромагнитные муфты) для любых схем при мощности одного электродвигателя до 250 кВт. Однако чаще всего в таких случаях применяются асинхронные двигатели с фазным ротором, которые отвечают всем требованиям и применяются для любых схем и любых мощностей. Плавность пуска обеспечивается значительным числом ступеней пускового реостата или применением жидкостного реостата. Стабилизация распределения нагрузки при наличии двухдвигательного (или многодвигательного) варианта привода достигается смягчением характеристики при введении нерегулируемых резисторов в цепь ротора [174].

На рис. 3.1 приведены механические характеристики двухдвигательного привода конвейера [49,51]. Характеристики 1 и 2 являются естественными, характеристики 1' и 2' получены при введенном в цепь ротора электродвигателя дополнительном сопротивлении. Суммарный момент и тяговое усилие, развиваемое электродвигателями, будут одинаковыми как при жестких (1, 2), так и при мягких (1', 2') характеристиках. Однако нагрузка между электродвигателями при мягких характеристиках распределяется более равномерно [49,51].

Следует заметить, что требованиям плавного пуска и регулирования скорости удовлетворяет также тиристорный асинхронный привод с импульсным регулированием выпрямленного тока ротора. Этот вариант конвейерного привода в последнее время находит некоторое применение на горных предприятиях.

К системам электропривода конвейеров, используемых на шахтах и рудниках, предъявляется ряд требований, связанных с автоматизацией производственных процессов, дистанционным управлением и соблюдением последовательности пуска и остановки нескольких конвейерных линий. В таких системах используются специальные виды аппаратуры и устройств

автоматизации, к которым в первую очередь следует отнести реле скорости с магнитоиндукционными или тахогенераторными датчиками [58, 61,76-79].

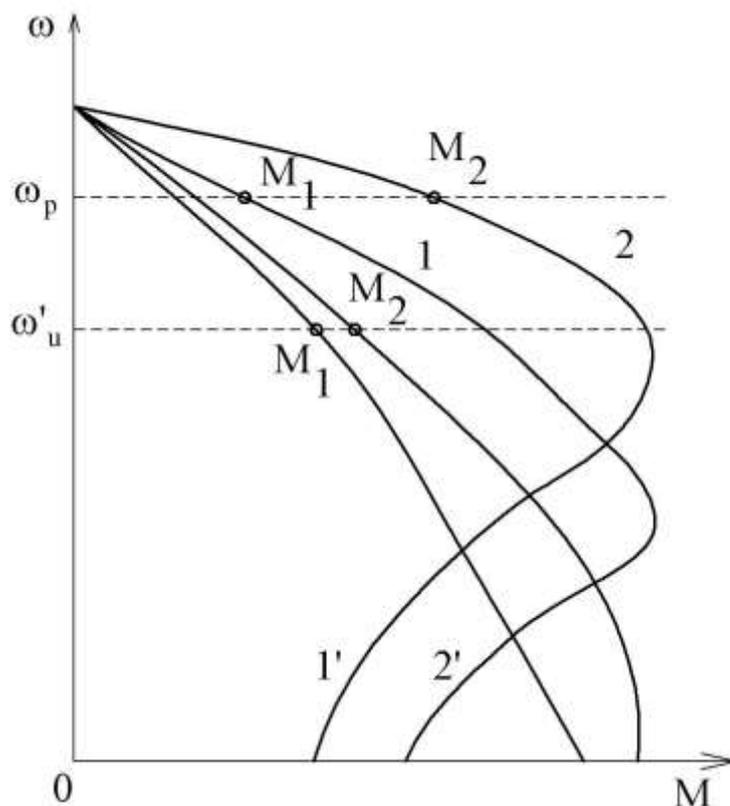


Рис. 3.1. Распределение нагрузки между двигателями конвейера при различной жесткости их характеристик [58; с.309-310, 61; с.60-62].

На рис. 3.2 приведена принципиальная схема пуска трех конвейерных линий с применением реле скорости, действующими от рабочего органа конвейера (ленты) и включающими каждый последующий конвейер только после того, как лента предыдущего конвейера достигнет номинальной скорости движения. На этой схеме применен также контроль длительности пуска каждого конвейера по времени [58; с.309-310, 61; с.60-62].

Кратковременным нажатием на кнопку «Ход» включается катушка контактора КЛ1 и реле времени РВ1. Кнопка «Ход» шунтируется замыкающим контактом контактора КЛ1 и размыкающим контактом РВ1. После того как лента первого конвейера приобретет нормальную скорость, включится реле скорости и замкнет свои контакты РС1 в цепи контактора КЛ1 первого пускателя и в цепи контактора КЛ2 второго пускателя. В связи с

этим первый конвейер переводится на самоконтроль (после размыкания, контактора PB1), а второй конвейер переводится в пусковой режим [175].

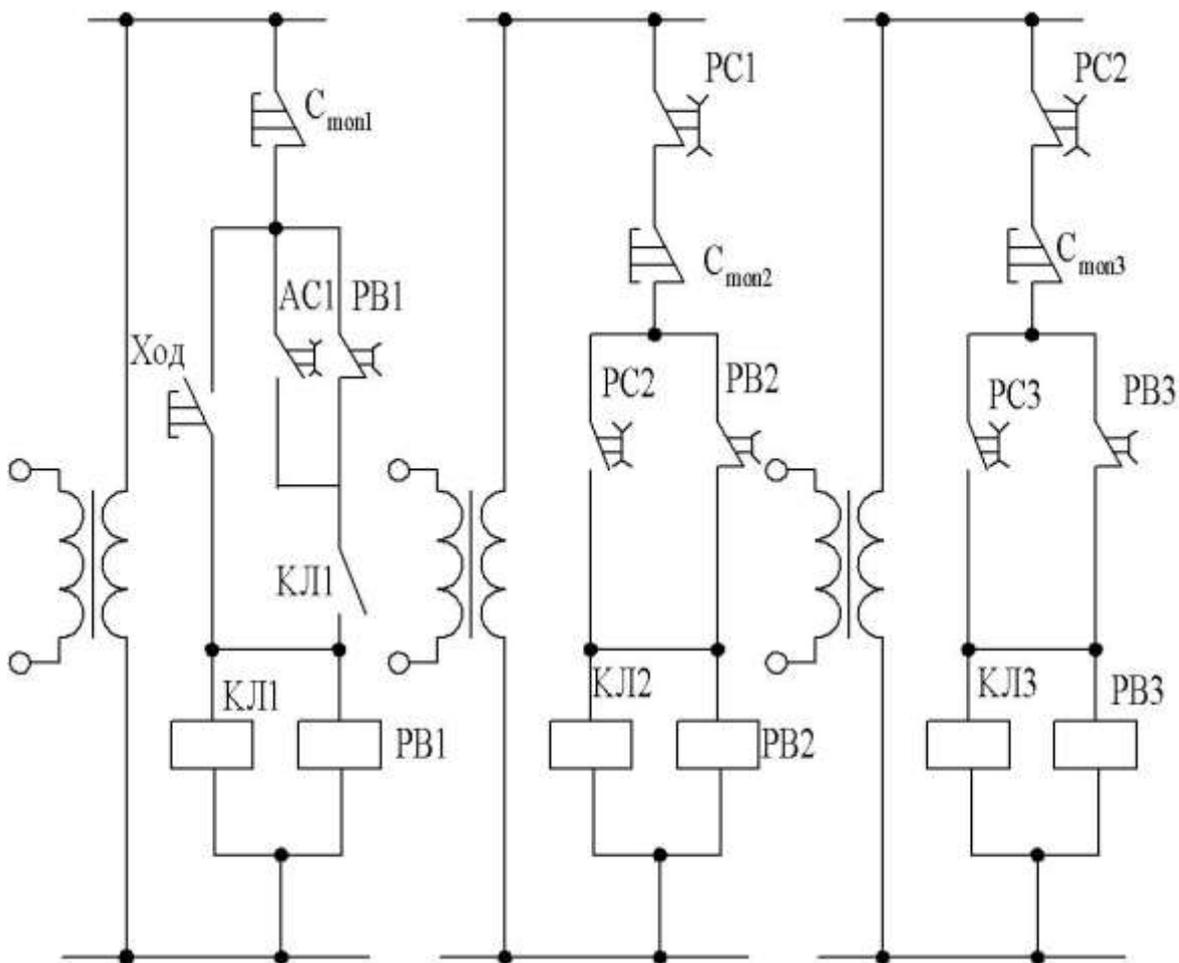


Рис. 3.2. Принципиальная схема пуска трех конвейерных линий с применением реле скорости и контроля длительности пуска каждого конвейера по времени [175]

После окончания пускового режима, когда лента второго конвейера достигнет номинальной скорости, его реле скорости сработает и замкнет свои контакты. Первым контактом PC2 второй конвейер переводится на самоконтроль, а вторым контактом осуществляется пуск третьего конвейера и т. д. [175, 176].

Таким образом, после пуска первого конвейера дальнейший пуск всех остальных конвейеров будет осуществляться автоматически в зависимости от скорости движения рабочих органов конвейеров. [175, 176].

Если по каким-то причинам скорость рабочего органа одного из конвейеров не достигнет номинального значения и не замкнутся контакты

его реле скорости РС, то размыкающий контакт соответствующего реле времени РВ разомкнется и пуск конвейерной линии будет приостановлен.[175, 176].

Если во время нормальной работы конвейерной линии рабочий орган значительно снизит скорость или совсем остановится (в результате пробуксовки или обрыва), то произойдет автоматическая остановка поврежденного конвейера и всех конвейеров, передающих груз на поврежденный конвейер, вследствие размыкания соответствующих контактов реле РС (блокировка остановки конвейеров осуществляется введением в цепи управления дополнительных контактов реле скорости) [175, 176].

В качестве приводных двигателей для ленточных конвейеров применяются преимущественно электродвигатели переменного тока асинхронные с короткозамкнутым и фазным ротором .[175, 176].

На конвейерах устанавливается как однодвигательный так и многодвигательный электропривод. На конвейерах относительно небольшой длины и производительности используется преимущественно однобарабанный однодвигательный электропривод. Электроприводы конвейеров большой длины и высокой производительности выполняют обычно двухбарабанными и многодвигательными. В большинстве случаев электропривод мощных конвейеров при однобарабанном двух-, трех - или четырехдвигательным.

3.2. Выбор мощности электропривода ленточных конвейерных установок

Характерной особенностью ленточных конвейеров является большой статический момент сопротивления, который, как правило, превосходит номинальный. К электродвигателю конвейеров предъявляются требования высокой надежности, простоты обслуживания, а также обеспечения повышенного момента при пуске. В некоторых случаях возникают дополнительные требования по обеспечению плавного пуска,

предотвращению при буксовании ленты, небольшому регулированию скорости и согласованному вращению несколько электродвигателей. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым или фазным ротором [175, 176].

Мощность электродвигателя конвейера определяют путем построения диаграммы тяговых усилий и учета потерь в каждом элементе по всей трассе конвейера – со всеми подъемами и спусками, перегибами, приводными и натяжными станциями, направляющими блоками и барабанами. Мощность приводного электродвигателя конвейера P (кВт) можно определить по уравнению (3.1) [58; с.309-310, 61; с.60-62, 175, 176].

Для ленточных конвейеров коэффициент c принимается по табл.3.4.

Таблица 3.1

Значение коэффициента c [94]

$L, м$	$Q, т/ч$			
	10	50	200	400
10	2	0,92	0,5	0,37
50	0,66	0,35	0,22	0,18
200	0,35	0,21	0,14	0,08

Электропривод конвейеров большой протяженности нецелесообразно осуществлять одним электродвигателем, так как в этом случае в механическом оборудовании, расположенном близко к приводной станции, создаются значительные усилия. Перегрузка отдельных участков конвейера приводит к тому, что габариты механической части и особенно тягового органа резко возрастают. Для предотвращения возникновения больших тяговых усилий такие конвейеры приводятся в движение от нескольких приводных станций [174].

Таким образом, условием выбора электродвигателя, рассчитанного на длительный режим, является соотношение [174].

$$P_c \leq P_n, \tag{3.2}$$

где P_c - мощность статической нагрузки на валу; P_n - номинальная мощность двигателя, рассчитанного на длительный режим работы.

При выполнении условия (3.2) электродвигатель не будет перегреваться выше допустимой температуры.

Для выбора электродвигателя нужно знать величину мощности P_c . Она может быть определена путем расчета, но в условиях эксплуатации не всегда имеются необходимые для расчета исходные данные [51].

Статическая нагрузка на валу электродвигателя может быть определена и опытным путем.

Для определения мощности, потребляемой двигателем из сети при нормальных условиях работы конвейера, можно использовать одну из схем измерения, приведенных на рис. 3.4.

В схеме на рис. 3.4, (а) получим определенные показания ваттметров P_{1w} и P_{2w} .

В этом случае мощность, потребляемая двигателем, подсчитывается по выражению

$$P_1 = P_{1w} + P_{2w}, \quad (3.3)$$

В схеме на рис. 3.4, (б) получим одно показание, т.е. P_{1w} .

При этом мощность, потребляемую двигателем из сети, подсчитывается по формуле

$$P_1 = 3P_{1w}, \quad (3.4)$$

Подсчитываем коэффициент загрузки двигателя по мощности

$$K_3 = \frac{P_c}{P_n} \approx \frac{P_i \eta_m}{P_n}. \quad (3.5)$$

Определим КПД двигателя при K_3 с помощью известных кривых, приведенных в [51].

Значение мощности на валу двигателя определяем по формуле

$$P_c = P_1 \eta_1 \quad (3.6)$$

Соответствующий статический момент на валу двигателя равен

$$M_c \approx 9550 \frac{P_c}{n_n} . \quad (3.7)$$

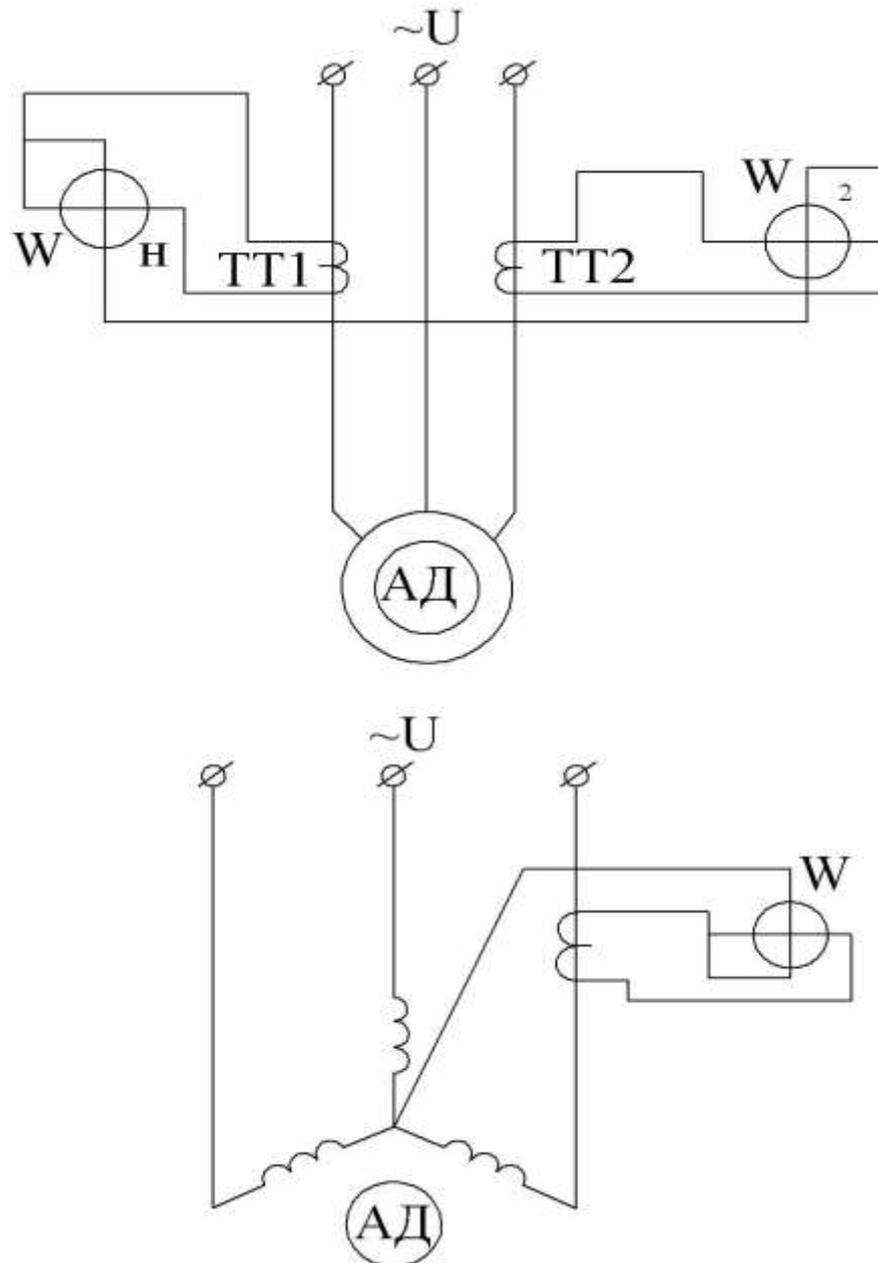


Рис. 3.3. Схемы измерения мощности, потребляемой асинхронным двигателем из сети: а- с двумя ваттметрами; б- с одним ваттметром при соединении обмотки статора в звезду: АД – асинхронный двигатель; ТТ1, ТТ2 – измерительные трансформаторы тока; W1, W2 - ваттметры[174, 175].

Однако предварительно нужно проверить двигатель по пусковому моменту, так как конвейеры являются механизмами с тяжелыми условиями пуска. Такая проверка осуществляется следующим образом.

В расчетах можно принимать, что при пуске статический момент на 30% выше, чем в установившемся режиме работы, т.е.

$$M_{c.n} = 1,3M_c \quad (3.8)$$

Требуемый пусковой момент определяется по формуле

$$M_{n.тр} = M_{c.n} + M_{дин}. \quad (3.9)$$

При пуске конвейеров можно принимать

$$M_{дин} \approx 0,2 * M_{c.n}. \quad (3.10)$$

По справочникам находим кратность пускового момента

$$\frac{M_n}{M_n}$$

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} \quad (3.11)$$

Пусковой момент равен

$$M_n = \frac{M_n}{M_n} \bullet M_n \quad (3.12)$$

Далее проверяется условие пуска конвейера:

$$M_n \succ M_{n.тр}. \quad (3.13)$$

Если условие (3.13) выполняется, то конвейер запускается. Случае в тяговом органе приводной станции создается усилие, пропорциональное статическому сопротивлению только одного участка и тяговый орган не передает усилий для привода всего конвейера.

3.3. Влияние кусковатости груза на выбора мощности электродвигателя ленточных конвейеров

Разными авторами в различное время проводились теоретические и экспериментальные исследования по изучению влияния кусковатости груза

на работу ленточного конвейера [110]. При этом целью исследований являлись изучение влияния гранулометрического состава и крупности транспортируемого груза на устойчивость отдельных кусков на ленте при их взаимодействии с роlikоопорами; исследование возникновения колебаний ленты в поперечном направлении из-за периодичности прохождения крупных кусков, а также увеличения энергоемкости транспортирования крупнокусковых грузов; влияния скорости движения ленты и шага расстановки роlikоопор на поведение крупных кусков.

Ниже приводятся в обобщенном виде условия исследований основные результаты и выводы, вытекающие из этих исследований [110].

При проведении экспериментальных исследований на ленточном конвейере транспортировался рядовой уголь, включающий крупные куски 30-50 кг. Увеличение массы кусков вызывало снижение критической скорости транспортирования груза [110].

Частота взаимодействия крупных кусков с роlikоопорами на конвейере регулировалась изменением скорости ленточного конвейера ($v_l = 1, 2; 3,15; 4$ и $5,15$ м/с и шага расстановки роlikоопор ($l_p = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$ м.) Регулирование скорости ленточного конвейера от 1 до 5,15 м/с производилось при помощи сменных шестерен. Запись поперечных смещений производилась при груженой ленте насыпным грузом и крупными кусками, расположенными на ленте с определенными интервалами.

Выявлено, что с увеличением скорости транспортирования груза поведение крупных кусков на ленте изменяется (под крупным куском имеется в виду кусок горной массы, линейные размеры которого превышают диаметр опорного ролика).

При скорости транспортирования до 1 м/с не наблюдается отрыв куска от ленты - происходит перекачивание куска по ролику, что воспринимается визуально как незначительное «кивание» куска [110].

При скоростях транспортирования 2 - 2,5 м/с заметно подпрыгивание одной стороны куска над роlikоопорой, в то время как противоположная сторона куска не отрывается от ленты и движется по ролику, что также воспринимается визуально как «кивание», при этом заметного проскальзывания куска по ленте не наблюдается.

При скоростях свыше 2,5 м/с четко просматриваются три стадии взаимодействия куска с роlikоопорой: первая - соударение, вторая подпрыгивание куска над роlikоопорой и третья - свободный полет на расстоянии 500-700 мм в зависимости от скорости транспортирования и массы куска. Именно этот случай является для ленточного конвейера критическим, так как крупные куски груза, взаимодействуя с роlikоопорами, подпрыгивали, скатывались вниз по ленте, выпадали за ее пределы, и дальнейшее транспортирование крупнокусковых грузов на конвейере становилось невозможным [110].

Экспериментальные исследования, проведенные на другом натурном конвейерном стенде (длина 30 м, ширина ленты 1200 мм, скорость ленты 1,25-3,5 м/с, толщина ленты 20 мм), подтвердили, что прохождение крупнокусковой горной массы над линейной роlikоопорой с куском 400 мм и более сопровождается ударными нагрузками. При соударении крупнокускового груза с роlikоопорой крупный кусок приобретает скорость, отличную от скорости ленты. При этом скорость груза до роlikоопоры меньше скорости ленты, а за роlikоопорой - больше. В результате разности скоростей возникают компенсационные дуги проскальзывания, где происходит износ ленты, зависящий от величины силы трения скольжения, относительной скорости и длины пути скольжения [110].

Поэтому износ верхних резиновых обкладок конвейерных лент происходит не только в пункте загрузки, но и на линейных роlikоопорах.

Поскольку соударение груза и роlikоопоры сопровождается вращением последней, в рассматриваемой зоне реализуется скольжение с перекатыванием [110].

Таким образом, при прохождении груза над линейной роlikоопорой на систему груз–лента–роlikоопора действуют импульсы силы, вызывающие относительное движение груза по ленте. Кинетическое и динамическое трения, возникающие при скольжении груза перекатыванием, приводят к износу верхней обкладки конвейерной ленты.

Для ленточных конвейеров угольных предприятий натяжение ленты $S < 10$ кН. По нашему мнению, в этом случае динамические усилия при прохождении крупных кусков груза через роlikоопоры обусловлены изменением вектора скорости центра тяжести куска из-за прогиба ленты, возникающего под действием веса этого куска [178].

В ходе работы определены коэффициенты динамичности при движении крупных кусков груза по ставу с жесткими роlikоопорами. При этом предполагалось, что лента представляет собой упругую гибкую нить, деформирующуюся под действием сосредоточенной силы, обусловленной силой тяжести куска груза. Весом мелкокускового груза и ленты пренебрегали. [178].

Однако, как показали экспериментальные исследования, на динамические усилия при взаимодействии крупных кусков груза с роlikоопорами существенную роль играет вес ленты, мелкокускового груза, а также вес подвесных роlikоопор [178].

Целью данной исследований является изучение влияния параметров роlikоопор и гранулометрического состава груза на динамические усилия при взаимодействии грузопотока с роlikоопорами ленточных конвейеров. При этом решались задачи: взаимодействия крупного куска груза с роlikоопорами ленточного конвейера различной конструкции с учетом веса ленты, груза, а так же веса роlikоопор [178].

Представим ленту как гибкую упругую тяжелую нить с натяжением S и распределенной нагрузкой q , которая движется совместно с крупным куском груза [178].

Вектор динамических усилий при взаимодействии куска груза с роlikоопорой, согласно уравнению об изменении количества движения, имеет вид (рис. 3.4):

$$\overline{P}_d = \frac{m_k \overline{V}_k}{\Delta t} \quad (3.14)$$

где m_k – масса куска, кг; \overline{V}_k – вектор скорости центра тяжести куска, м/с; Δt – длительность взаимодействия куска груза с роlikоопорой, с.

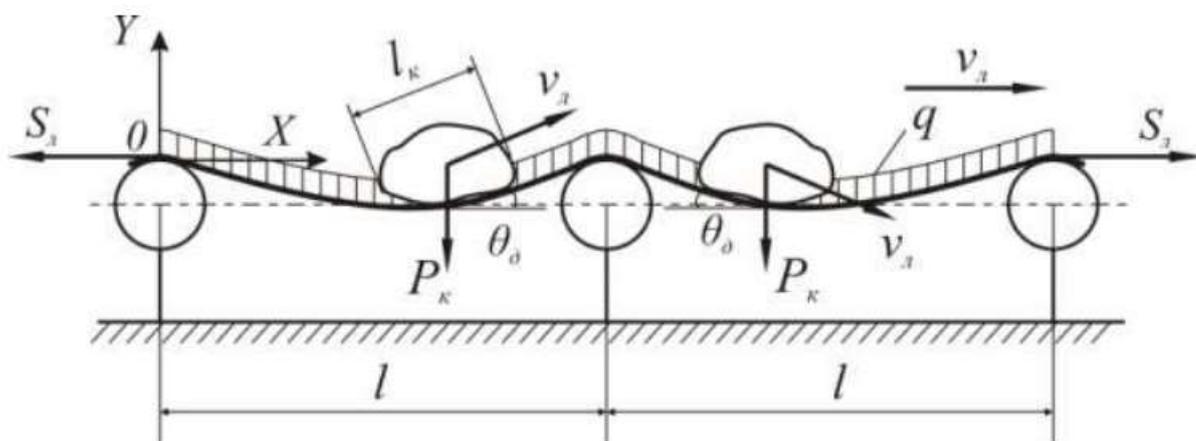


Рис.3.4 Расчетная схема движения кусков по жестким роlikоопорам [178].

Проекция изменения количества движения $k \, kV \, m$ на вертикальную ось Y определится по формуле:

$$m_k \overline{V}_k = 2m_k \vartheta_d \sin \theta_d \quad (3.15)$$

ϑ_d – скорость движения конвейерной ленты, м/с;

d – угол набегания ленты на роlikоопору, рад.

Время взаимодействия куска груза с роlikоопорой определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{l_k}{\vartheta_d} \quad (3.16)$$

где l_k – длина куска, м.

Подставим (3.15) и (3.16) в (3.14). Учитывая, что θ_d мало ($\sin \theta_d \approx \theta_d$), получим

$$P_d = \frac{2m_k \vartheta_d \theta_d}{l_k}. \quad (3.17)$$

Коэффициент динамичности при взаимодействии с куском груза определяется из выражения

$$K_d = \frac{P_k + P_d}{P_k}, \quad (3.18)$$

где $P_k = m_k g$ – сила тяжести куска груза.

Подставляя в последнее выражение (4), получим

$$K_d = 1 + \frac{2\vartheta_d^2}{l_k} \theta_d. \quad (3.19)$$

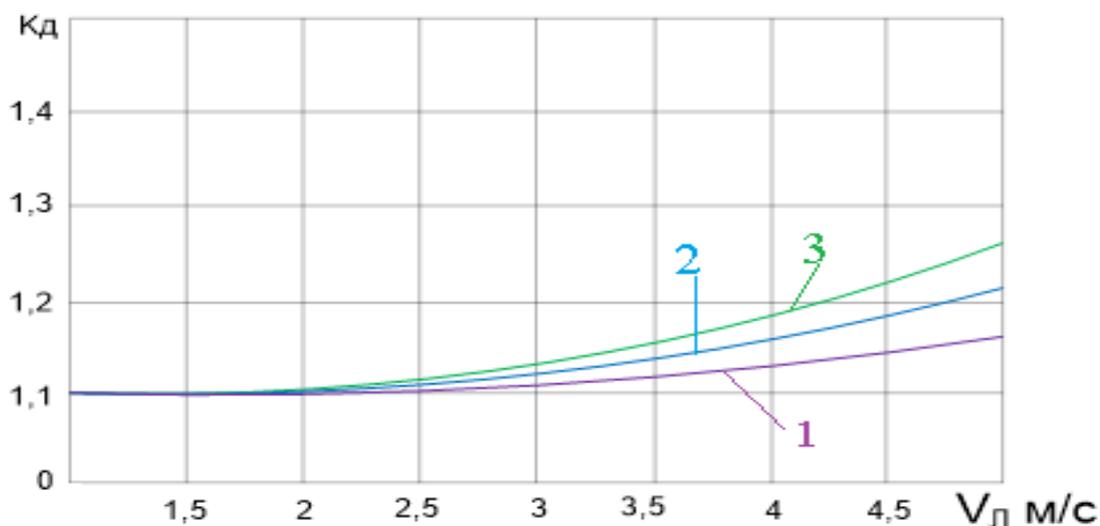


Рис.3.5. Графики зависимости коэффициента динамичности от скорости ленты трехропного става

На рис. 3.13 показан график зависимости коэффициента динамичности от скорости ленты конвейера для жестких роlikоопор трехроlikоопорного ставов при различных натяжениях каната $S_k = 1000$ кг и $S_k = 2000$ кг. При этом параметры конвейера, роlikоопор и груза принимали следующие значения: $S_{л} = 1000$ кг, $l = 1$ м, $q_r = 100$ кг, $q_{л} = 16$ кг, $P_k = 100$ кг, $l_k = 0,5$ м, $q_p = 60$ кг, $q_k = 10$ кг, $G = 60$ кг, $c = 1000$ кг/м.

Из рисунка видно, что коэффициент динамичности при взаимодействии крупных кусков груза с жесткими роlikоопорами с увеличением скорости ленты увеличивается.

На основе исследований определен коэффициент динамичности при взаимодействии крупных кусков груза с жесткими роlikоопорами ленточного конвейера. При этом учитываются динамические усилия, возникающие при движении ленты с мелкокусковым и крупнокусковым грузом/

3.4. Уравнения напряжений асинхронного двигателя ленточных конвейеров

Наиболее важными переходными процессами являются процессы пуска асинхронного двигателя в ход. Чтобы исследовать эти процессы, необходимо на ЭВМ при тех или иных значениях параметров, питающего напряжения и частоты [179].

Уравнения асинхронных машин могут быть получены из уравнений обобщенной машины. Уравнения напряжений в установившемся режиме имеют вид [45,46,47-49, 129, 179]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{s\alpha} &= R_s \dot{I}_{s\alpha} + j\omega L_s \dot{I}_{s\alpha} + j\omega M \dot{I}_{r\alpha}, \\ \dot{U}_{s\beta} &= R_s \dot{I}_{s\beta} + j\omega L_s \dot{I}_{s\beta} + j\omega M \dot{I}_{r\beta}, \\ -\dot{U}_{r\alpha} &= R_r \dot{I}_{r\alpha} + j\omega L_r \dot{I}_{r\alpha} + j\omega M \dot{I}_{s\alpha} + M \dot{I}_{s\beta} \omega_r + L_r \dot{I}_{r\beta} \omega_r, \\ -\dot{U}_{r\beta} &= R_r \dot{I}_{r\beta} + j\omega L_r \dot{I}_{r\beta} + j\omega M \dot{I}_{s\beta} + M \dot{I}_{s\alpha} \omega_r + L_r \dot{I}_{r\alpha} \omega_r, \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

где $\dot{U}_{s\alpha}$, $\dot{U}_{s\beta}$, $\dot{U}_{r\alpha}$, $\dot{U}_{r\beta}$ - соответственно напряжения по осям α и β на статоре и роторе; ω_r - угловая скорость ротора; $\dot{I}_{s\alpha}$, $\dot{I}_{s\beta}$, $\dot{I}_{r\alpha}$, $\dot{I}_{r\beta}$ - соответственно токи в обмотках статора и ротора по осям α и β ; R_s , R_r - активные сопротивления обмоток статора и ротора; L_s , L_r - индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора, M - взаимная индуктивность, j - момент инерции. [179].

Для асинхронной машины с короткозамкнутым ротором $\dot{U}_{r\alpha} = 0$; $\dot{U}_{r\beta} = 0$. С учетом $j\omega L_s = j\omega M + j\omega l_{s\sigma}$, $j\omega L_r = j\omega M + j\omega l_{r\sigma}$; $x_0 = \omega M$; $x_s = \omega l_{s\sigma}$; $x_r = \omega l_{r\sigma}$ и относительной скорости $v = \omega_r / \omega_s$ уравнения для асинхронной машины примут вид[179].

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{s\alpha} &= R_s \dot{I}_{s\alpha} + jx_s \dot{I}_{s\alpha} + jx_0 \dot{I}_{s\alpha} + jx_0 \dot{I}_{s\alpha}, \\ \dot{U}_{s\beta} &= R_s \dot{I}_{s\beta} + jx_s \dot{I}_{s\beta} + jx_0 \dot{I}_{s\beta} + jx_0 \dot{I}_{s\beta}, \\ 0 &= -R_r \dot{I}_{r\alpha} - jx_r \dot{I}_{r\alpha} - jx_0 \dot{I}_{r\alpha} - jx_0 \dot{I}_{s\alpha} + x_0 \dot{I}_{r\beta} v + (x_r + x_0) \dot{I}_{r\beta} v, \\ 0 &= -R_r \dot{I}_{r\beta} - jx_r \dot{I}_{r\beta} - jx_0 \dot{I}_{r\beta} - jx_0 \dot{I}_{s\beta} + x_0 \dot{I}_{r\alpha} v + (x_r + x_0) \dot{I}_{r\alpha} v. \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Учитывая, что $\dot{I}_{s\beta} = j\dot{I}_{s\alpha}$, $\dot{I}_{r\beta} = j\dot{I}_{r\alpha}$ и пропуская промежуточные преобразования для обмоток статора и ротора, расположенных по одной оси, получим[179].

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_s &= R_s \dot{I}_s + jx_s \dot{I}_s + jx_0 \dot{I}_0, \\ 0 &= -R_r \dot{I}_r - jx_r (l-v) \dot{I}_r - jx_0 (l-v) \dot{I}_r - jx_0 (l-v) \dot{I}_s, \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_s + \dot{I}_r. \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

Приведя обмотки ротора к обмоткам статора и используя выражение для скольжения:

$$S = \frac{\omega_c \pm \omega_r}{\omega_c} = 1 \pm v, \quad (3.23)$$

после замены $\dot{E}_0 = -j\dot{I}_0 z_0$ и $\dot{E}_s = \dot{E}_r = \dot{E}_0$ и преобразования получим уравнения асинхронной машины:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_s &= -\dot{E} + \dot{I}_s z_s, 0 = \dot{E}_0 - \dot{I}'_r z_r - \dot{I}'_r R'_r (1-s) / s, \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_s + \dot{I}'_r, \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

Уравнения равновесия напряжений (3.21) можно записать в виде [45,46,47-49]:

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha} &= d\Psi_{s\alpha} / dt - w_s \Psi_{s\beta} + R_s I_{s\alpha} \\ U_{s\beta} &= d\Psi_{s\beta} / dt - w_s \Psi_{s\alpha} + R_s I_{s\beta} \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

Напряжения для обмотки ротора имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= d\Psi_{r\alpha} / dt - (w - w_s)\Psi_{r\beta} + R_r I_{r\alpha} \\ 0 &= d\Psi_{r\beta} / dt - (w - w_s)\Psi_{r\alpha} + R_r I_{r\beta} \end{aligned} \right\} \quad (3.26),$$

Уравнение движения

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{P}{j} (M_{\text{ЭМ}} - M_c) = \frac{P}{j} (M_{\text{ЭМ}} - M_W) \quad (3.27)$$

$$M_{\text{ЭМ}} = pL_{i2}/L_2(i_\beta\Psi_\alpha - i_\alpha\Psi_\beta)$$

$$M_c = M_W = \frac{W_0 D_6}{2i\eta}$$

$$W_0 = (W_\Gamma + W_\Pi) + W_{\Pi.6}$$

$$W_\Gamma = L * g[(q_\Gamma + q'_p + q_\lambda) * \omega_0 * \cos\beta \pm (q_\Gamma + q_\lambda) * \sin\beta]$$

$$W_\Pi = L * g[(q''_p + q_\lambda) * \omega_0 * \cos\beta \pm (q_\lambda) * \sin\beta]$$

где M_W - момент сопротивлений на вал двигателя; W_0 -общая сила сопротивлений на приводного барабана, Н; D_6 - диаметр барабана, м; i - передаточное число редуктора; η -КПД передаточных механизмов; Сила сопротивлений приводного барабана в $W_{\Pi.6} = (1,05 \div 10,8)(W_\Gamma + W_\Pi)$

$q_\Gamma = \left(\frac{Q}{3,69}\right)$, кг- погонная масса груза;

$q'_p = \frac{m'_p}{l_1}$, кг - погонная масса вращающихся частей верхнего роlikоопора;

$q''_p = \frac{m''_p}{l_2}$, кг - погонная масса вращающихся частей нижнего роlikоопора;

$q_\lambda = m_\lambda * B$, кг - погонная масса ленты;

β -уголь установки конвейера, град;

Обозначения в уравнениях (3.26-3.28) общеизвестные

Уравнения (3.26), (3.27) и (3.28) легко решаются с помощью ЭВМ.

ГЛАВА IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

4.1. Общие рассуждения

В установившихся режимах для асинхронных двигателей ленточных конвейеров характерен номинальный режим [180,181].

Переходные процессы значительно разнообразнее и сложнее установившихся процессов [180,181].

Переходные процессы в асинхронных двигателях ленточного конвейера происходят при изменениях частоты и напряжений на выводах двигателя и отключении ее от сети торможения и т.д.[180,181].

Ленточные конвейеры как наиболее экономичный, производительный и надежный вид транспорта массовых грузов получили широкое распространение в нашей республике и зарубежье. С увеличением длины конвейеров и их производительности особое значение приобретает динамика пуска. По этому пуск ленточных конвейеров имеет важное значение. Динамические процессы в ленточных конвейерах характеризуются появлением динамических натяжений, которые алгебраически суммируясь со статическими, значительно увеличивают результирующие натяжения в конвейерной ленте и усилия в элементах конвейера. При пуске эти изменения могут привести к неустойчивой работе приводного барабана, например, частичной или полной пробуксовке[179, 181].

Пробуксовка недопустима по многим причинам: нагрев барабана, резкое снижение коэффициента сцепления, при котором затрудняется пуск конвейера и др. Все это может стать причиной аварийных ситуаций и даже быть причиной возникновения пожара, что недопустимо в условиях Разреза «Ангренский» поскольку приводит к материальному ущербу, кроме того динамические усилия увеличивают нагрузки в механизмах натяжных устройств, в редукторе и других элементах конвейера. Поэтому анализ

процессов пуска и торможения ленточных конвейеров имеет важное значение.

Анализ этих процессов позволяют с большой точностью определить значения динамических нагрузок, что поможет избежать нерациональных технических решений, повысить надежность системы ленточный конвейер-электродвигатель, а следовательно, резко снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций и увеличить производительность ленточного конвейера [180,181].

4.2. Расчет режима торможения асинхронного двигателя ленточного конвейера

Ниже проведены результаты расчета при включении нагрузки и последующем аварийном заклинивании механизма на валу асинхронного двигателя ленточного конвейера разреза «Ангренский» [55; 296-297, 56; с.480-483, 59; с.221-222, 63; с.361-364, 64; с.268-271, 111; с.117-121, 112; с.228-230].

Для расчета режима торможения и пуска асинхронных двигателей использованы уравнения (4.6-4.8) [45-48; с.210-211, 49,54,75,90; с.74-78].

Процессы, происходящие при аварийном заклинивании механизма на валу асинхронного двигателя ленточного конвейера приведены на рис. 4.1 [56,60].

На рис.4.1 приведены кривые изменения вращающего момента, тока статора, частотой вращения и коэффициента мощности асинхронного двигателя ленточного конвейера.

В начале процесса асинхронный двигатель ленточного конвейера работает в режиме холостого хода. В момент $t = 0,1$ сек включается номинальная механическая нагрузка. В момент $t_2 = 0,3$ сек прикладывается большой тормозной момент. В результате заклинивания частоты вращения падает до нуля, ток статора увеличивается до значения пускового тока.

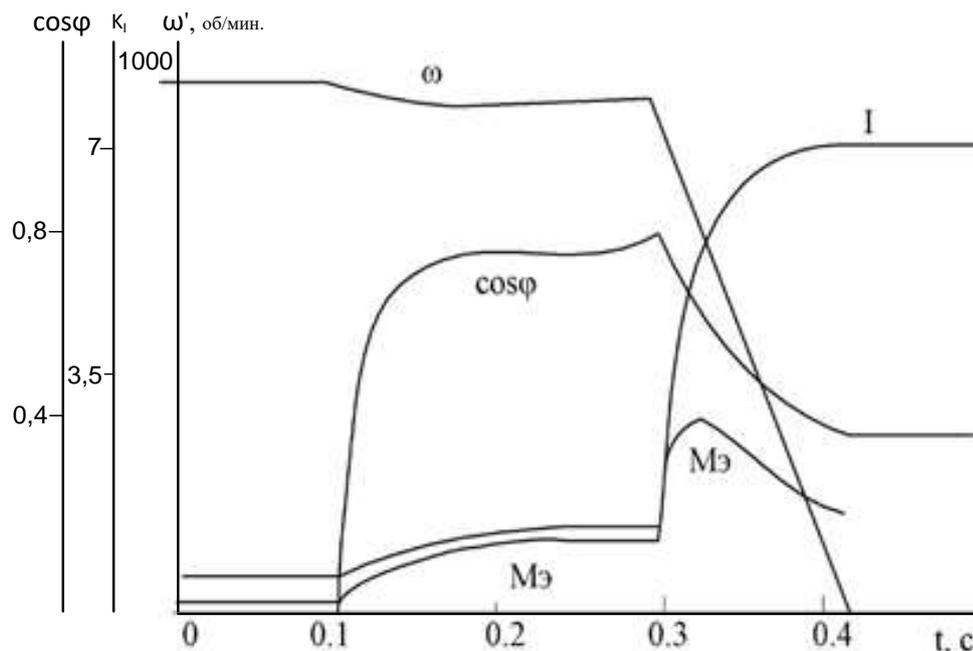


Рис.4.1. Переходной процесс при заклинивании механизма на валу асинхронного двигателя ленточного конвейера

Таким образом, такой режим является аварийным и недопустимым по многим причинам: нагрев барабана, резкое снижение коэффициента сцепления и др.

4.3. Расчет пусковых режимов работы асинхронных двигателей ленточных конвейеров

Как известно, транспортировка добытого с забоя угля на Разрезе «Ангренский» производится комбинированным транспортом: автосамасвалами, конвейерным транспортом (забойные и магистральные конвейера) [94; с.79-102].

На рис. 2.1 (2-глава) показана схема расположения конвейеров разреза «Ангренский».

На ленточных конвейерах Разреза «Ангренский» используются в качестве привода асинхронные двигатели с короткозамкнутыми роторами [94; с.79-102].

Мощность этих двигателей следующие: 55 кВт (1500 об/мин), 75 кВт (1000 об/мин), 90 кВт (1500 об/мин), 160 кВт (1000 об/мин) и т.д.

В этих двигателях произведены расчеты пусковых характеристик на ЦВМ [59; с.221-222, 63; с.361-364, 64; с.268-271, 111; с.117-121, 112; с.228-230]. На рис. 4.2. показаны зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega = f(t)$ при пуске асинхронного двигателя мощностью 55 кВт, $U = 380$ В, $2p = 4$, когда нагрузка на конвейере отсутствует.

На рис.4.3 для этого же двигателя показаны зависимости токов в статоре и роторе $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$, когда нагрузка на конвейере отсутствует.

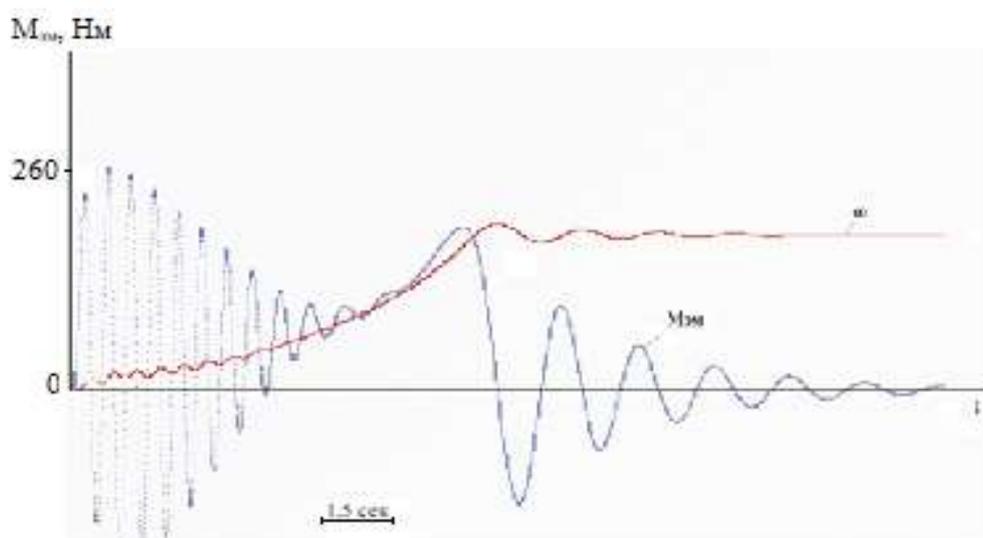


Рис. 4.2. Зависимость $M_{эм} = f(t)$ и $\omega = f(t)$ при пуске АД мощностью 55 кВт, $U=380$ В, $2p = 4$

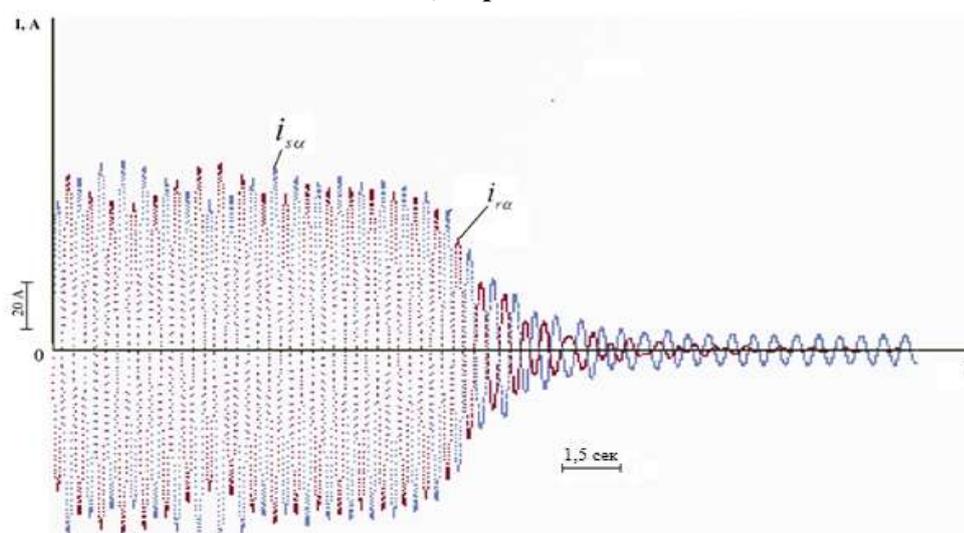


Рис. 4.3. Зависимости токов в статоре $i_{s\alpha}$ и роторе $i_{r\alpha}$ от времени

Как видно из рис. 4.2 и 4.3 в течении $e = 0,4$ с токи в статоре $i_{s\alpha}$ и роторе $i_{r\alpha}$ имеют максимальные значения, что и обуславливает максимальные значения электромагнитного момента $M_{эм}$. Потом токи $i_{s\alpha}$ и $i_{r\alpha}$ затухают, колебания электромагнитного момента $M_{эм}$ сокращаются и значение частоты вращения ротора ω_r приближается к установившемуся. Пуск продолжается в течении $t_M = 4,5$.

На рис. 4.4 даны зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ при пуске асинхронного двигателя мощности 55 кВт, $2p = 4, U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен.

На рис. 4.5 для этого же двигателя показаны зависимости $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$, когда ленточный конвейер нагружен. Время пуска составляет $t_n = 9,5$ с.

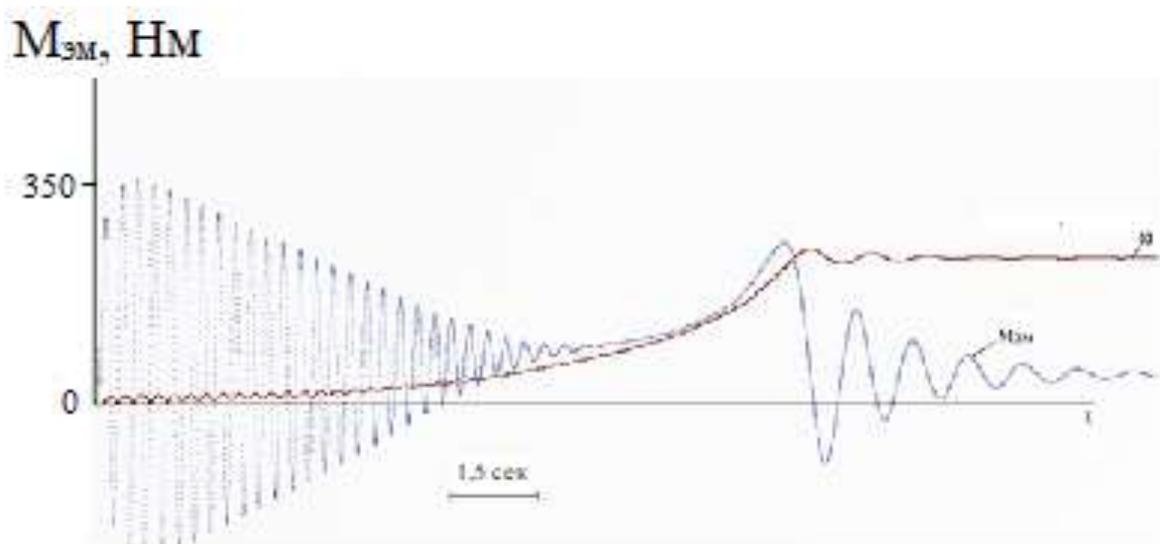


Рис. 4.4. Зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ при пуске АД мощностью 55 кВт, $2p = 4, U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен

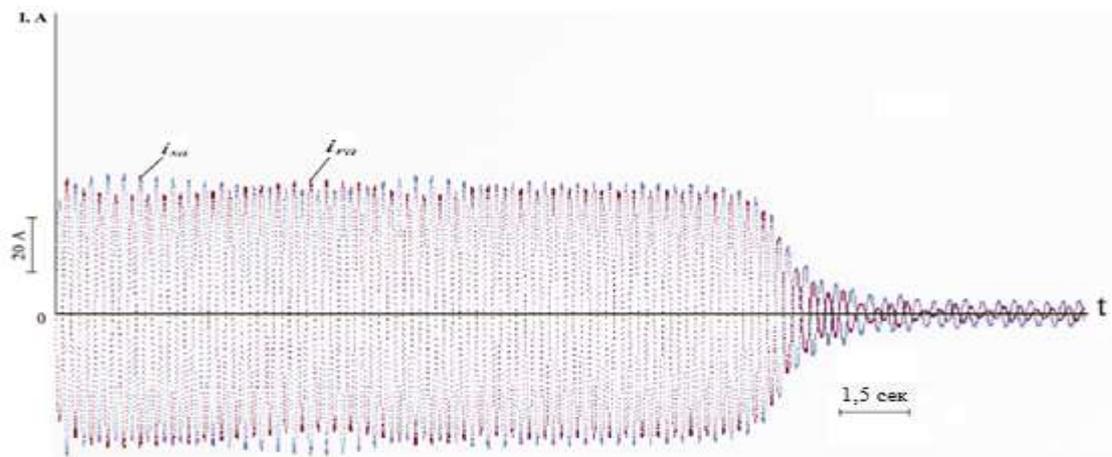


Рис. 4.5. Зависимости $i_{s\alpha}, i_{r\alpha} = f(t)$, когда ленточный конвейер нагружен

На рис. 4.6 показаны зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ при пуске асинхронного двигателя мощностью 75 кВт, 380 В, $2p = 6$, когда нагрузка на конвейере отсутствует.

На рис. 4.7 для этого же двигателя показаны зависимости токов в статоре $i_{s\alpha}$ и роторе $i_{r\alpha}$ от времени, т.е. $i_{s\alpha}, i_{r\alpha} = f(t)$, когда нагрузка на конвейере отсутствует.

Как видно из рис. 4.6 и 4.7 в течении $t = 3,5$ с токи в статоре $i_{s\alpha}$ и роторе $i_{r\alpha}$ имеют максимальные значения, что и обуславливает максимальные значения $M_{эм}$.

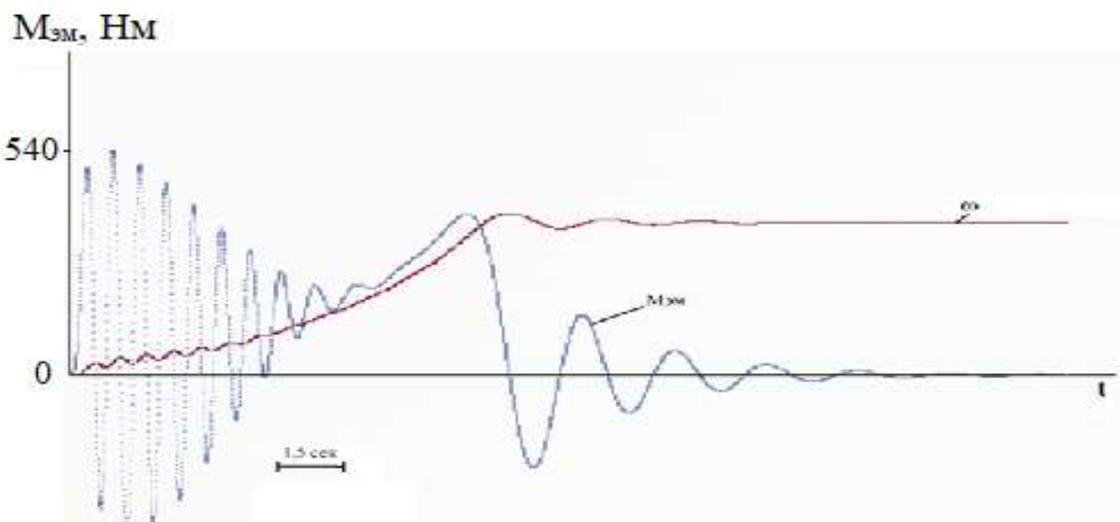


Рис. 4.6. Зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ при пуске асинхронного двигателя мощностью 75 кВт, 380 В, $2p = 6$, когда нагрузка на конвейере отсутствует

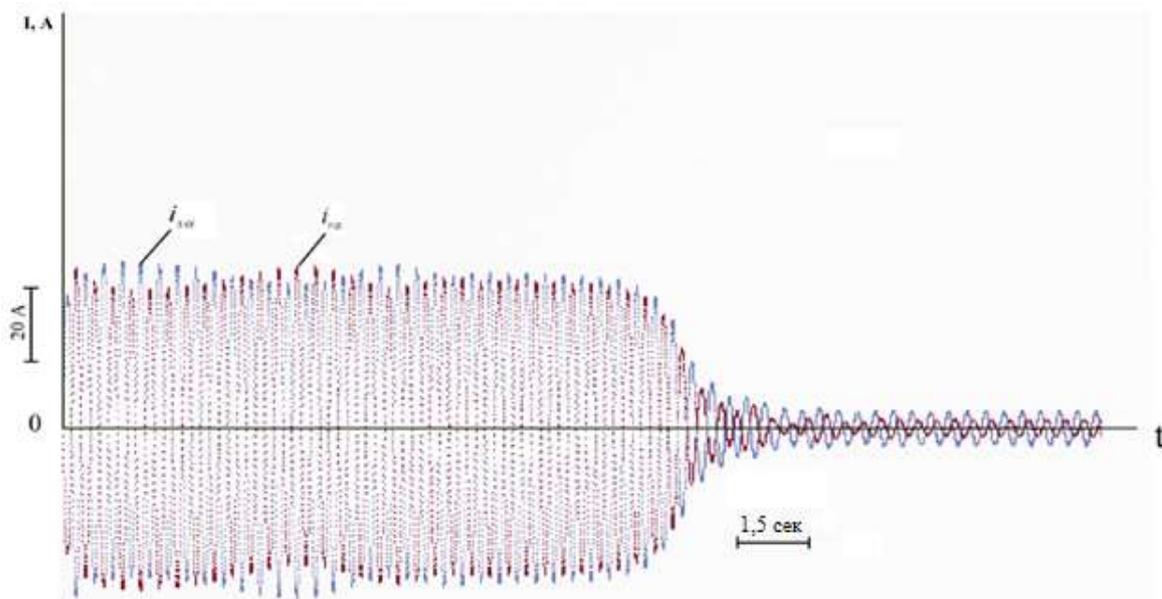


Рис. 4.7. Зависимости токов в статоре $i_{s\alpha}$ и роторе $i_{r\alpha}$ от времени, т.е. $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$, когда нагрузка на конвейере отсутствует

На рис. 4.8 даны зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ при пуске асинхронного двигателя мощности 75 кВт, $2p = 6$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен.

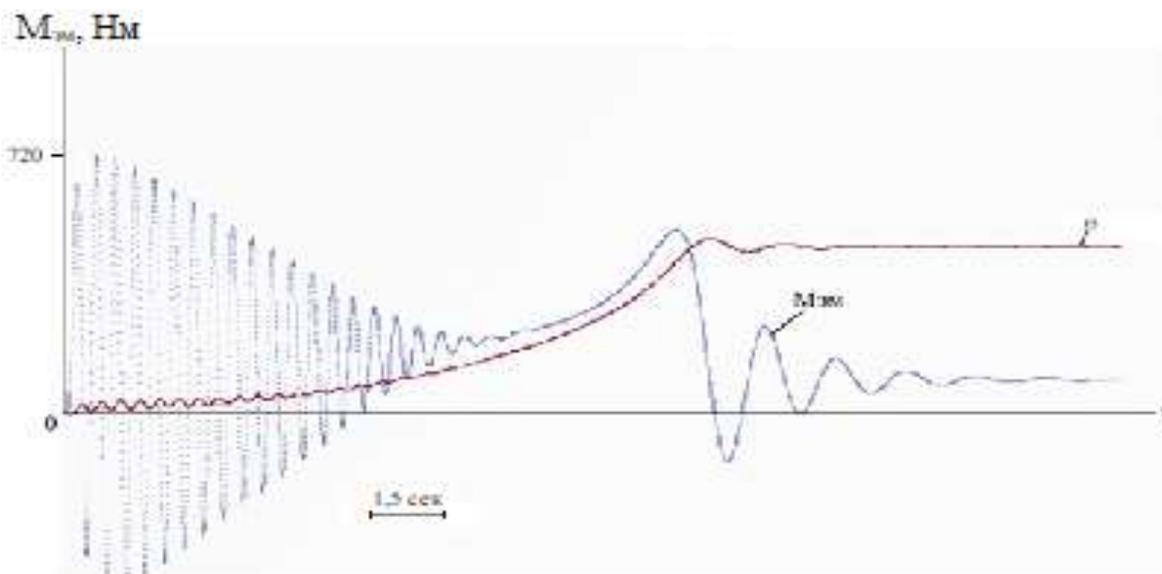


Рис. 4.8. Зависимости $M_{эм} = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ при пуске асинхронного двигателя мощности 75 кВт, $2p = 6$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен.

На рис. 4.9 для этого же двигателя показаны зависимости $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$, когда ленточный конвейер нагружен. Время пуска составляет $t_n = 7,5$ с.

На рис. 4.10 - 4.13 приведены зависимости $M_{эм} = f(t)$, $\omega_r = f(t)$ и $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$ при холостом ходе и при нагрузке асинхронного двигателя мощностью 90 кВт, $2p = 4$, 380 В.

На рис. 4.14 – 4.17 приведены зависимости $M_{эм} = f(t)$, $\omega_r = f(t)$ и $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$ при холостом ходе и при нагрузке асинхронного двигателя мощностью 160 кВт, $2p = 6$, 380 В.

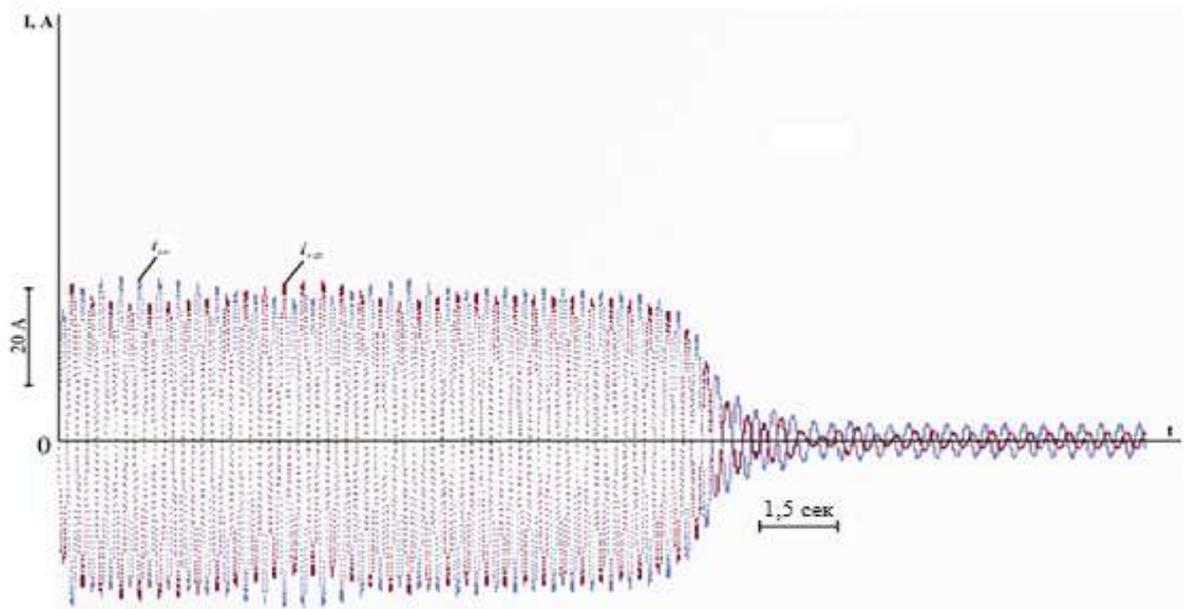


Рис. 4.9. Зависимости $i_{s\alpha}$, $i_{r\alpha} = f(t)$, когда ленточный конвейер нагружен

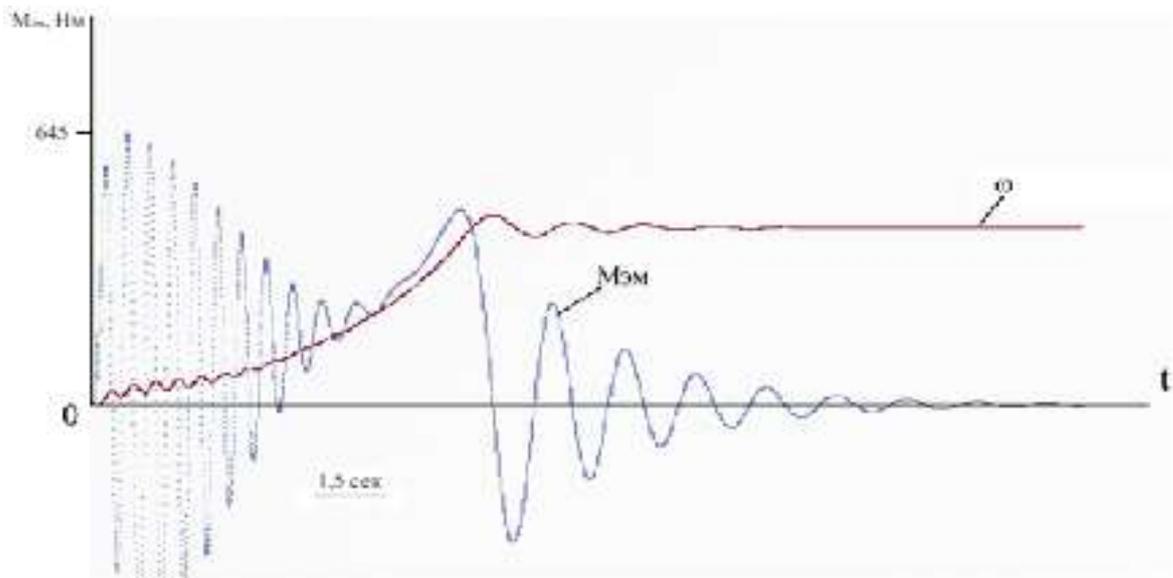


Рис. 4.10. Зависимости $M_{эм} = f(t)$, $\omega_r = f(t)$ при пуске АД мощностью 90 кВт, $2p = 4$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер ненагружен

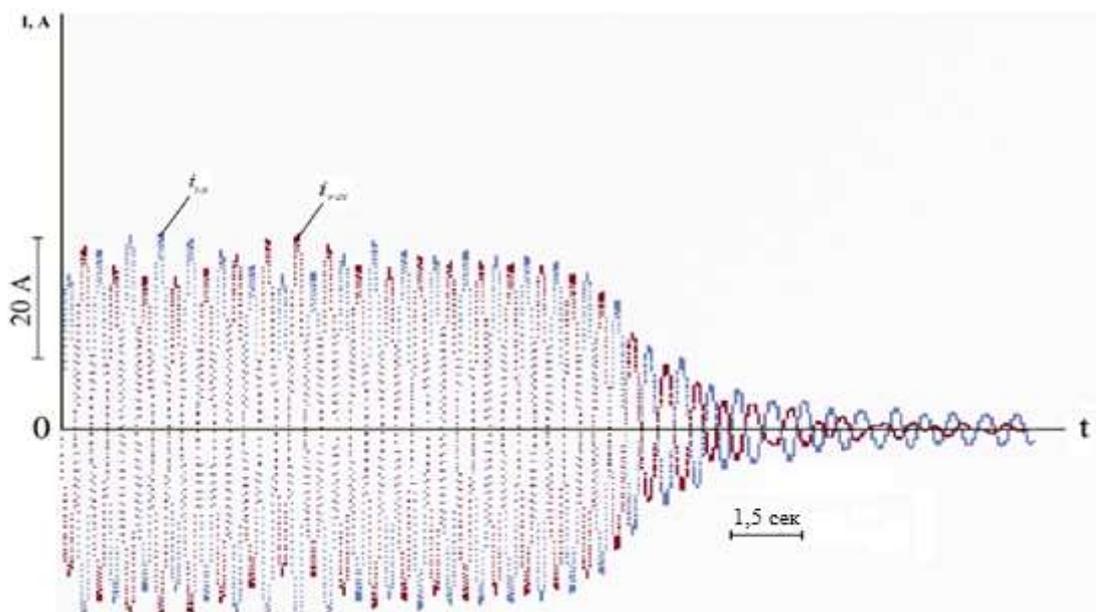


Рис. 4.11. Зависимости $i_{са}, i_{ра} = f(t)$ при пуске АД мощностью 90 кВт, $2p = 4$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер не нагружен

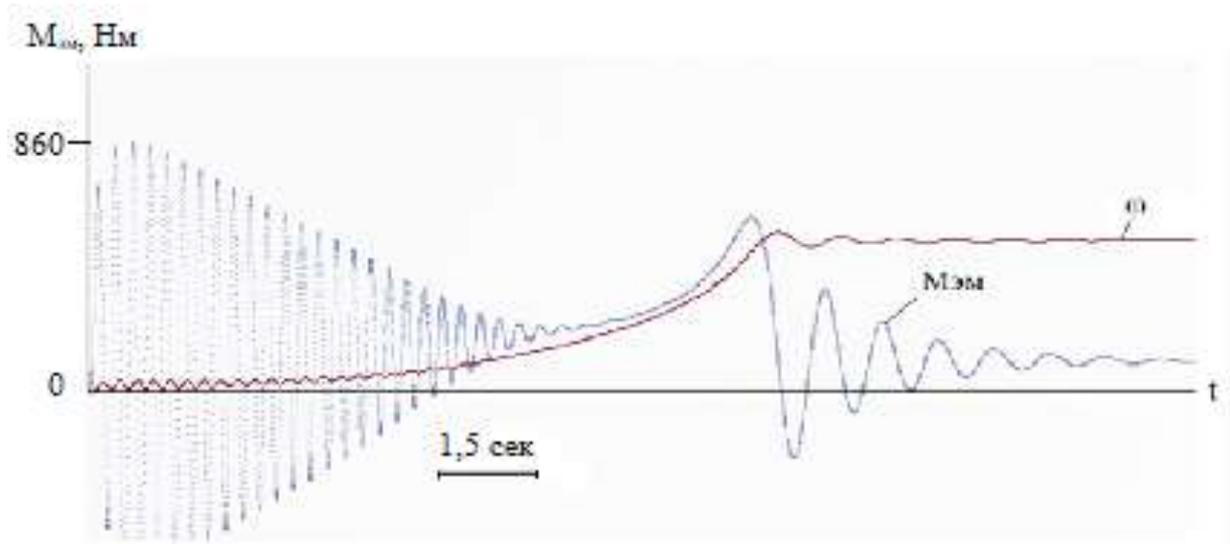


Рис. 4.12. Зависимости $M_{эм} \omega = f(t)$, при пуске АД мощностью 90 кВт, $2p = 4$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен

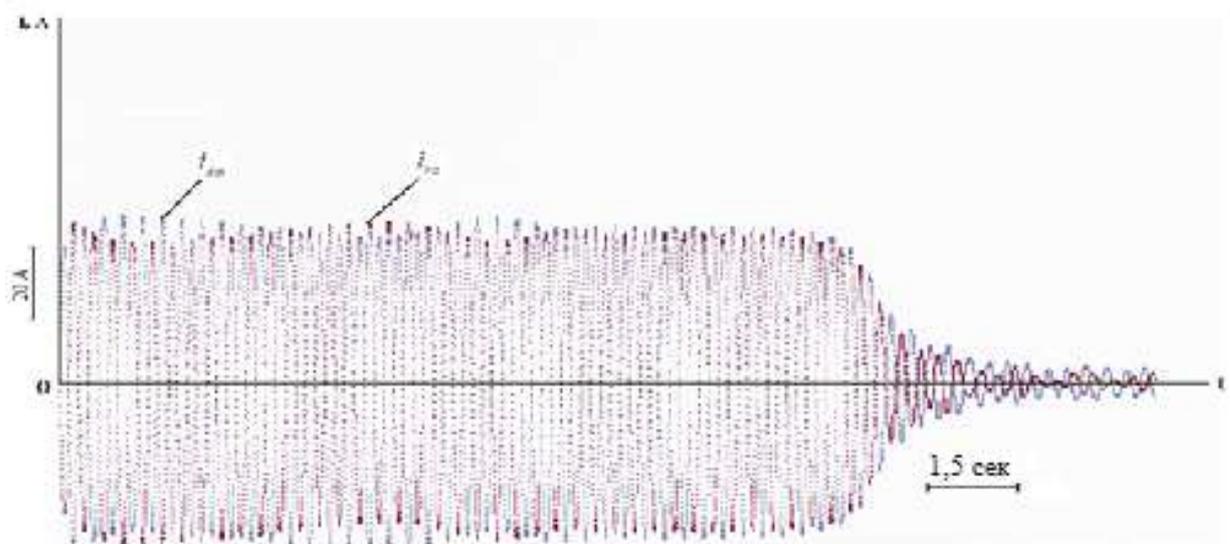


Рис. 4.13. Зависимости токов $i_{s\alpha}, i_{r\alpha} = f(t)$ при пуске АД мощностью 90 кВт, $2p = 4$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен

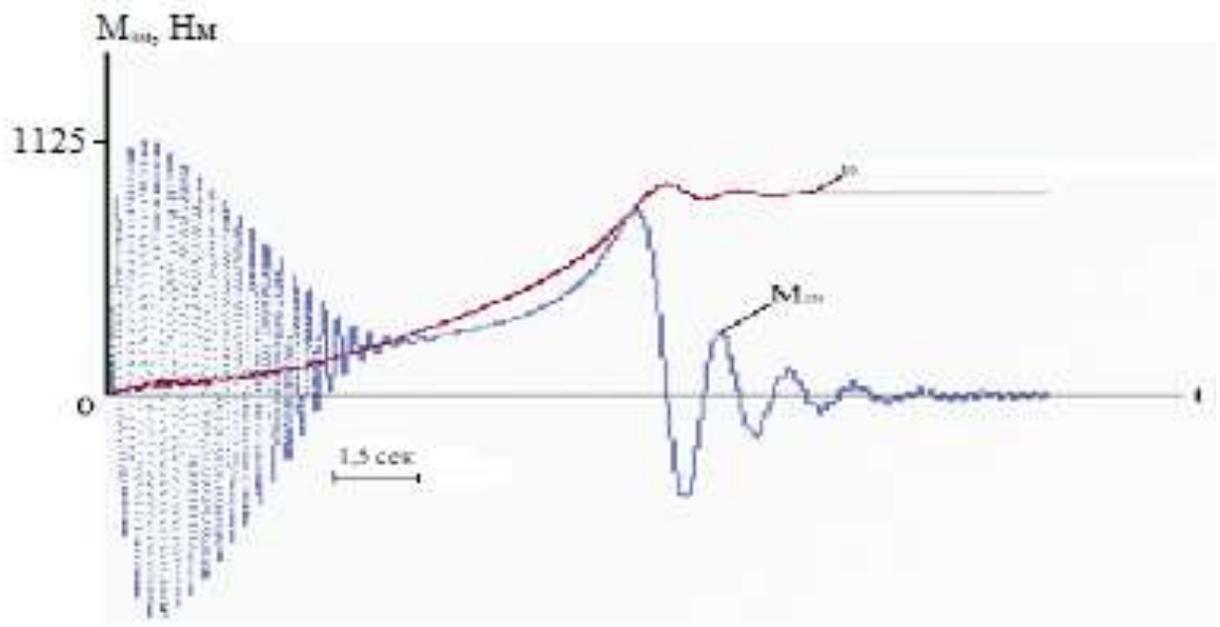


Рис. 4.14. Зависимости $M_{эм1} \omega = f(t)$, при пуске АД мощностью 160 кВт, $2p = 6$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер не нагружен

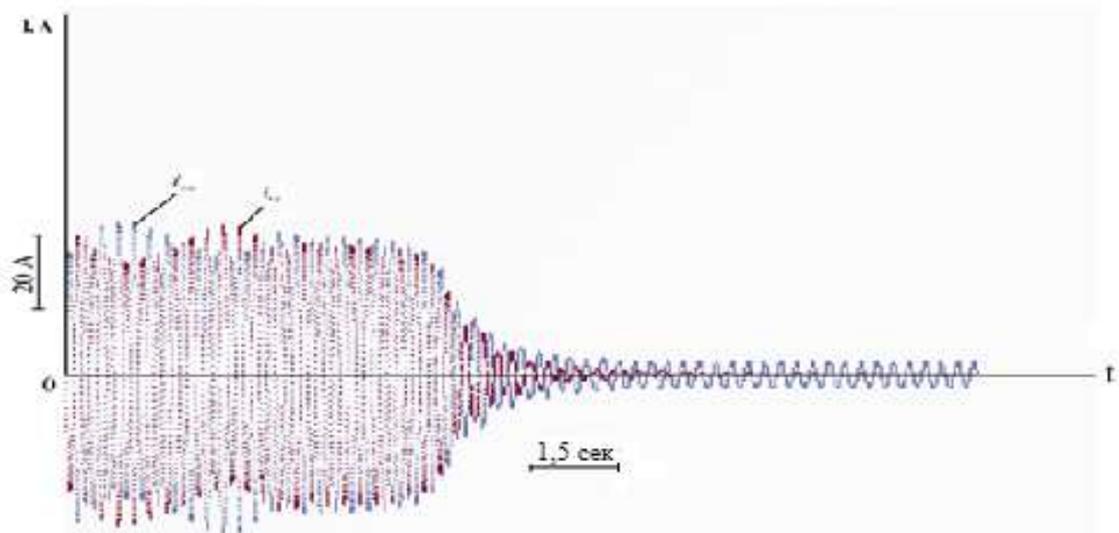


Рис. 4.15. Зависимости токов $i_{s\alpha}, i_{r\alpha} = f(t)$ при пуске АД мощностью 160 кВт, $2p = 4$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер не нагружен

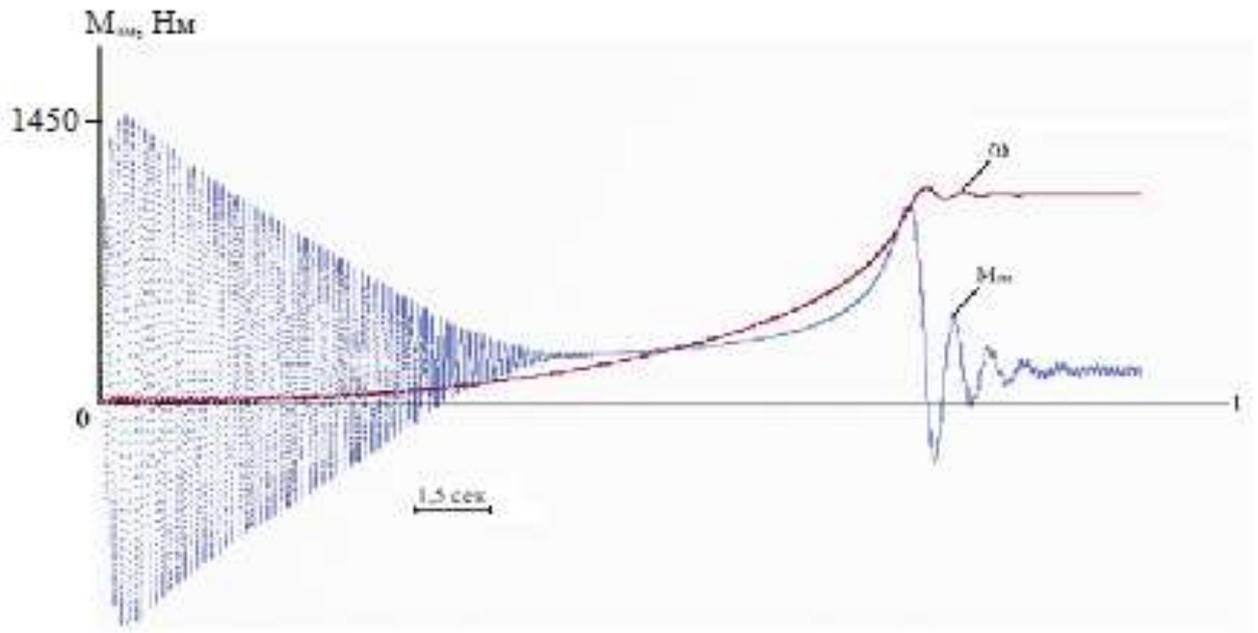


Рис. 4.16. Зависимости $M_{эм} \omega = f(t)$ при пуске АД мощностью 160 кВт, $2p = 6$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен ω

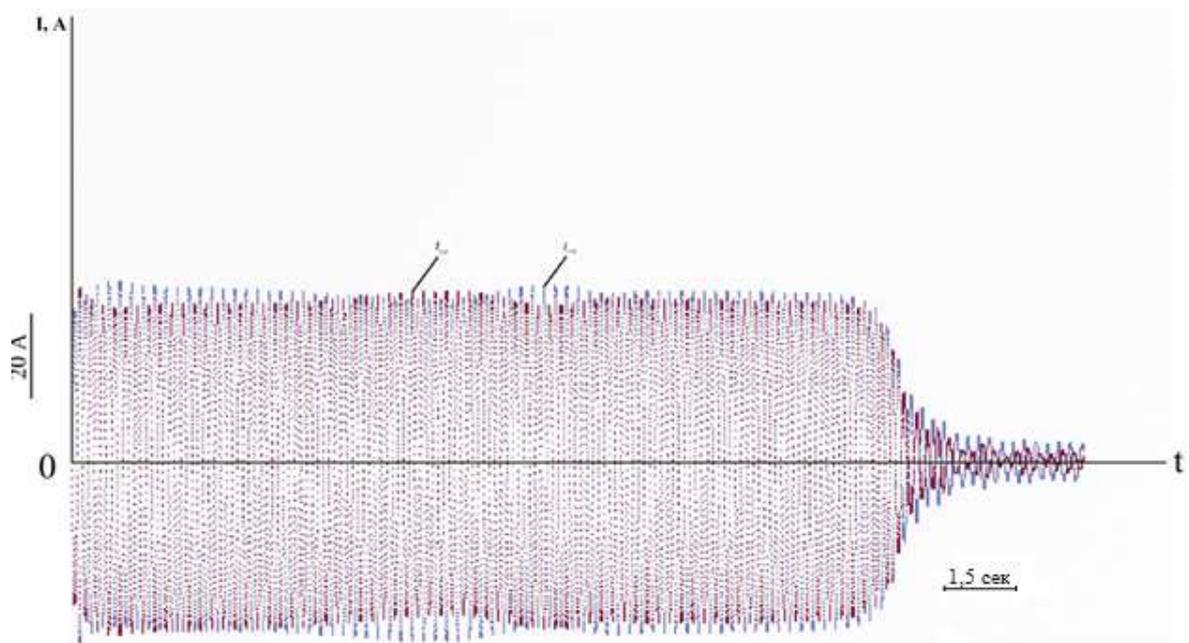


Рис. 4.17. Зависимости $i_{s\alpha}, i_{r\alpha} = f(t)$ при пуске АД мощностью 160 кВт, $2p = 6$, $U = 380$ В, когда ленточный конвейер нагружен

Из качественного анализа пуска асинхронных двигателей ленточных конвейеров следует, что эти процессы отличаются друг от друга характером изменения токов, ударных моментов и угловой скорости.

4.4. Моделирование асинхронного двигателя в пакете «Matlab»

При моделировании асинхронных двигателей ленточных конвейеров используется программа в пакете «Matlab» которые показаны модель электропривода конвейера на рис. 4.18. Для этого дифференциальные уравнения собираются в определенном порядке, основываясь на принципах аналогового моделирования [88].

Используются следующие дифференциальные уравнения, описывающие динамические процессы в асинхронных двигателях.

Динамический процесс в статоре [45-50, 53]:

$$\begin{cases} U_{1a} = i_{1a} \cdot R_1 + \partial \Psi_{1a} / \partial t; \\ U_{1b} = i_{1b} \cdot R_1 + \partial \Psi_{1b} / \partial t; \\ U_{1c} = i_{1c} \cdot R_1 + \partial \Psi_{1c} / \partial t; \end{cases} \quad (4.1)$$

Динамические процессы в роторе:

$$\begin{cases} U'_{2a} = i'_{2a} \cdot R'_2 + \partial \Psi_{2a} / \partial t; \\ U'_{2b} = i'_{2b} \cdot R'_2 + \partial \Psi_{2b} / \partial t; \\ U'_{2c} = i'_{2c} \cdot R'_2 + \partial \Psi_{2c} / \partial t; \end{cases} \quad (4.2)$$

Потокоцепление определяется по выражению:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{s\alpha} &= L_s i_{s\alpha} + M \cos \theta i_{r\alpha} + M \sin \theta i_{rb}; \\ \Psi_{s\beta} &= L_s i_{s\beta} + M \cos \theta i_{rb} - M \sin \theta i_{ra}; \\ \Psi_{ra} &= L_r i_{ra} + M \cos \theta i_{s\alpha} - M \sin \theta i_{s\beta}; \\ \Psi_{rb} &= L_r i_{rb} + M \cos \theta i_{s\beta} - M \sin \theta i_{s\alpha}; \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

где L_s и L_r - индуктивность обмотки соответственно статора и ротора; M - взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора (индекс s относится к статорной, а индекс r – к роторной обмотке).

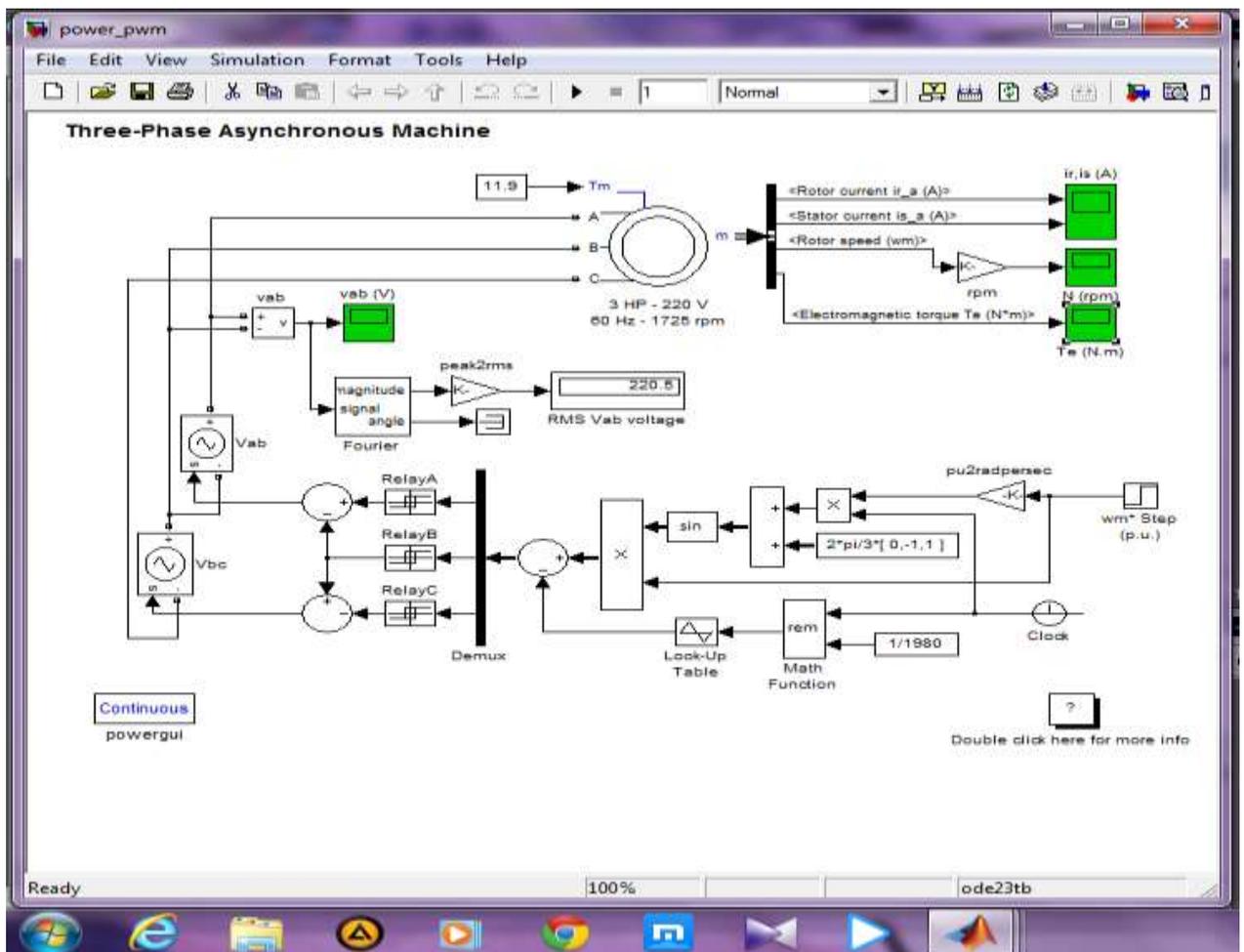


Рис.4.18. Моделирование АД в пакете Матлаб

На рис.4.19 - 4.21 показаны полученные на модели переходные процессы по токам статора и ротора, скорости и моментам вращения на валу асинхронного двигателя при пуске с загруженными рабочими участками.

Анализ осциллограмм на рис.4.19 позволяет определить [182].:

- при пуске с загруженными лентами пусковой ток статора асинхронного двигателя составляет 850 А и превышает номинальное значение тока в 3,5 раза, такой ток протекает в цепи статора в течение 6,5 сек; в дальнейшем переходный процесс по току носит колебательный характер с затуханием, время переходного процесса по току до установившегося значения 250 А составляет 12 сек;

- при пуске с загруженными лентами пусковой ток ротора асинхронного двигателя составляет 800 А и превышает номинальное значение тока в 10 раза, такой ток протекает в цепи статора в течение 5 сек; в

дальнейшем переходный процесс по току носит колебательный характер с затуханием, время переходного процесса по току до установившегося значения 80 А составляет 11 сек;

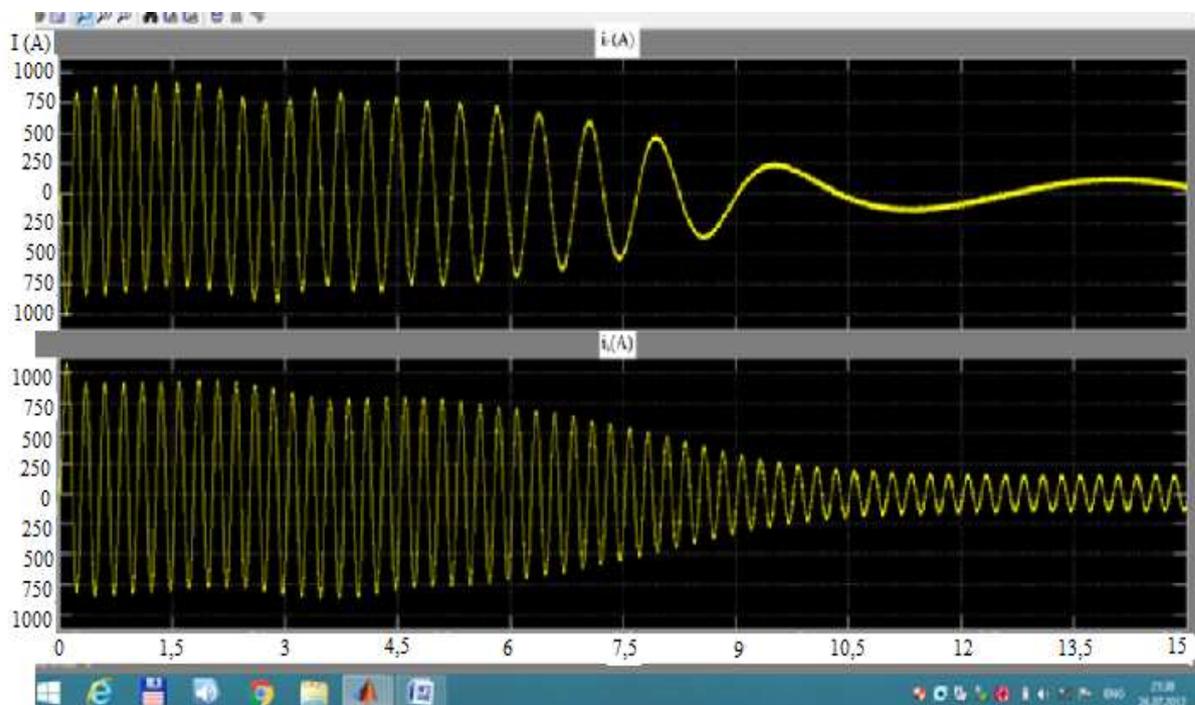


Рис.4.19. Пуск АД ленточного конвейера: изменения тока статора и ротора.

Анализ осциллограмм на рис.4.20 позволяет определить - при пуске с загруженными лентами ленточного конвейера скорость асинхронного двигателя нарастает плавно, время переходного процесса по скорости составляет 9,5 сек;

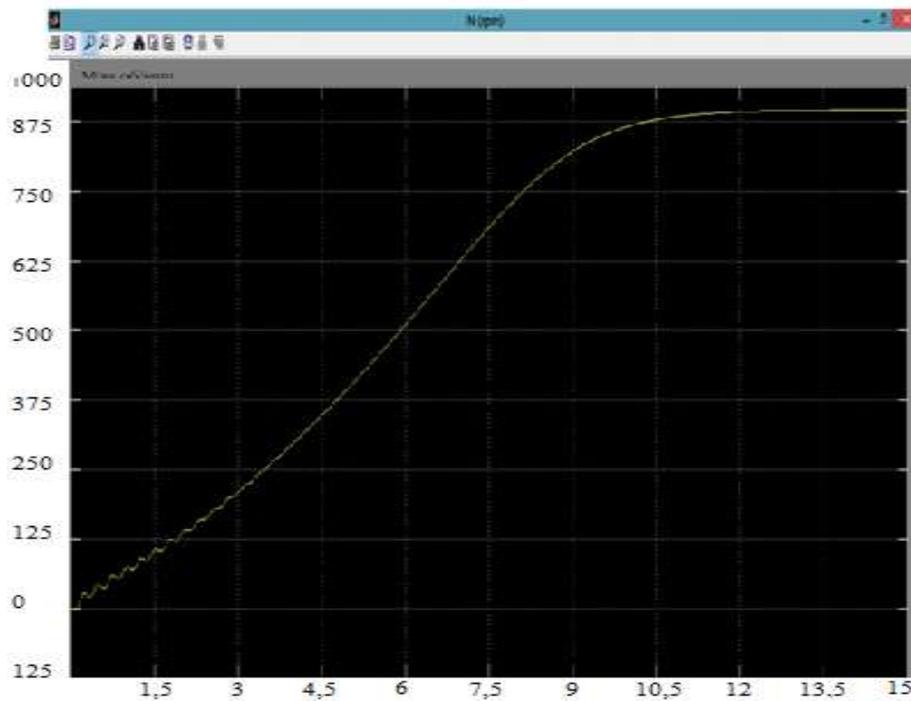


Рис.4.20. Пуск АД ленточного конвейера: изменения частоты вращения

Анализ осциллограмм на рис.4.21 позволяет определить - при пуске с загруженными лентами максимальный момент асинхронного двигателя составляет 1250 Н.м, и превышает номинальное значение момента в 4,5 раза; в дальнейшем переходный процесс по моменту носит колебательный характер с затуханием, время переходного процесса по моменту до установившегося значения 280 Н.м, составляет 12,5 сек;

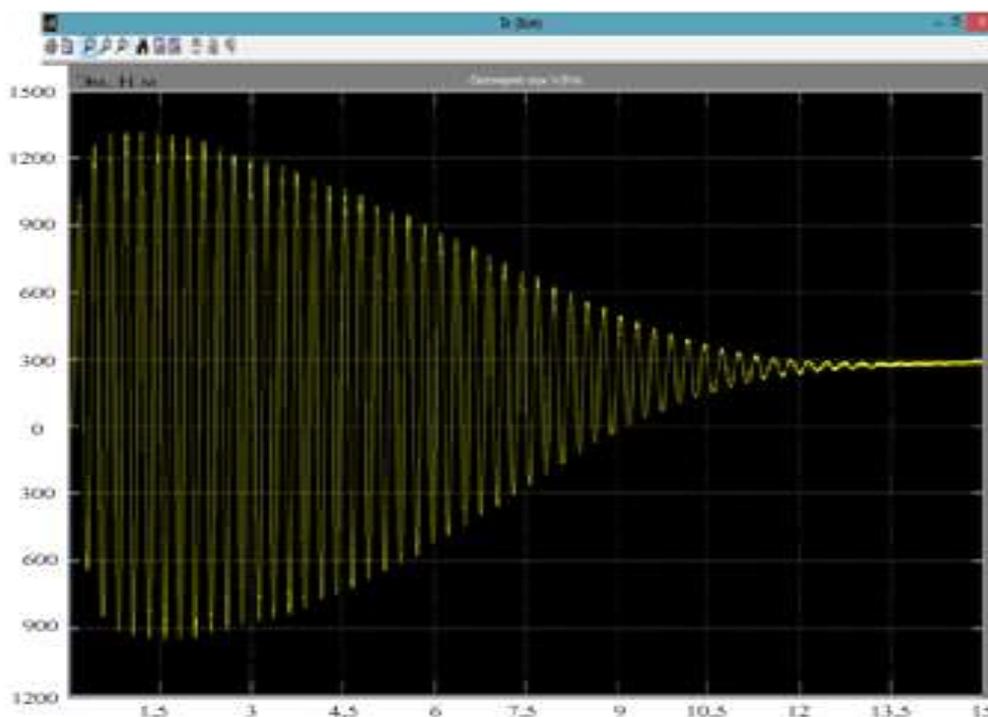


Рис.4.21. Пуск АД ленточного конвейера: изменения момента

Разработана математическая модель на пакете «Matlab» асинхронного двигателя ленточного конвейера, учитывающая распределенные по длине конвейера следующие параметры, а именно: масса перемещаемого груза, масса и упругость тягового органа, усилия статического и динамического сопротивления.

Расчитаны режимы и осциллограммы переходных процессов по параметрам тока статора и ротора двигателя, скорости, моментам вращения и сил сопротивления на валу асинхронного двигателя при пуске ленточного конвейера.

Разработанная математическая модель ленточного конвейера позволяет проводить исследования статических и динамических режимов работы как приводного двигателя так и механической части конвейера, на каждом из которых могут быть рассчитаны усилия натяжения при пусках с различными нагрузками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты исследований, относящиеся к данной монографии, можно сделать следующие выводы:

1. Усовершенствован метод определения общего коэффициента сопротивления движению и отдельные его составляющие: коэффициенты деформирования груза и ленты, коэффициенты сопротивления вращению роликов и вдавливанию роликов в ленту.

2. Разработана методика определения дополнительные потребляемые мощности привода конвейеров с учетом габарита, количества и скорости транспортирования крупнокусковых грузов. Установлена, дополнительная потребляемая мощность составляет на 17-18 % больше при включение крупнокусковых груза 10-15 % от общего массы транспортируемой массы.

3. Разработана математическая модель и модель на пакете Матлаб режима торможения и пуска асинхронных двигателей ленточных конвейеров, с учетом коэффициента сопротивления ленты и роликов.

4. Режим торможения (заклинивания механизма на валу) является аварийным и недопустим из-за нагрева барабана и резкого снижении коэффициента сцепления ленты.

5. Усовершенствована методика определения необходимой мощности электродвигателя в зависимости от длины и угла наклона ленточных конвейеров.

6. Разработанная математическая модель пуска нагруженного ленточного конвейера даёт возможность исследовать статические и динамические режимы работы асинхронного двигателя ленточного конвейера, а так же рассчитывать усилия натяжения при его пуске с различными нагрузками.

7. Результаты исследования внедрены в разрезе «Ангренский». В результате научных исследований создана возможность сбережения 369096000 (триста шестьдесят девят миллиона девяноста шесть тысячи) сум.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ президента Республики Узбекистан о стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947.
2. “Критический анализ, жесткая дисциплина и персональная ответственность должны стать повседневной нормой в деятельности каждого руководителя”. Доклад на расширенном заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2016 году и важнейшем приоритетном направлении экономической программы на 2017 год / Ш.М. Мирзиёев. – Ташкент : Ўзбекистан, 2017. - 104 с.
3. Вайсберг Л.А., Баранов В.Ф. Состояние и перспективы развития циклично-поточной технологии//Горный журнал.-2002. -№4.
4. <http://motorzib.ru/books/item/f00/s00/z0000006/st009.shtml>.
5. Столяров В.Ф. Проблема циклично-поточной технологии глубоких карьеров. – Екатеринбург: Уро РАН, 2004. – 232 с.
6. Теоретические основы создания надежных и эффективных крутонаклонных конвейерных подъемников: Отчет о НИР. Рук. Яковлев В.Л. – № ГР 01970009116. – Екатеринбург, 2000. – 118 с.
7. Яковлев В.Л., Смирнов В.П., Берсенев В.А. Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. – Екатеринбург: ИГД Уро РАН. – 2003. – 42 с.
8. Берсенев В.А., Бахтурин Ю.А. Особенности формирования дробильно-конвейерных комплексов при отработке глубоких карьеров//(Мельниковские чтения). Доклады международной конференции, 6–10 июля 1998. – Том 4. – Екатеринбург, 1998, 87 с.
9. Галкин В.И., Дмитриева В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. Издательство: Горная книга, 2011. -544 с.

10. Реутов А.А. Монтаж, эксплуатация и ремонт ленточных конвейеров. –Брянск: Изд-во БГТУ, 2008. -103 с.
11. Кожушко Г.Г., Лукашук О.А. Расчет и проектирование ленточных конвейеров. Изд-во Уральского университета, 2016. -236 с.
12. Васильев К.А., Хачатрян С.А. Эффективность применения многоприводных ленточных конвейеров в условиях угольных шахт//Горные машины и автоматика. 2002. -№11. С.31-34.
13. Васильев К.А. эксплуатационные расчеты ленточных конвейеров-С.-Пб.: Санкт-Петербургский горный институт, 2001. С. 20-47.
14. Галактионов Б.Г. Новое в конструировании ленточных конвейеров в горной промышленности-М.: 1989. - 60 с.
15. Галкин В.И., Дмитриев В.Г. Дьяченко В.П. и др. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий/-М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. -543 с.
16. Гридчин В.С., Шаталов В.Ф. Повышение эффективности использования ленточных конвейеров на шахтах.// Горные машины и автоматика. 2002. -№8. С.29-31.
17. Шеметов П.А. Транспортирование горной массы межступенным крутонаклонным перегружателем//Горный журнал. -2007. -№5.
18. Кесслер Ф. Исследование напряжений в конвейерной ленте между натяжным барабаном и роlikоопорой.//Горные машины и автоматика. 2004. - №2. С. 27-29.
19. Умаров Ф.Я. Насиров У.Ф. Исследование динамических характеристик крутонаклонного конвейера при воздействиях, возникающих в условиях карьера Мурунтау. Материалы XIV Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва (Россия)-Бишкек (Кыргызстан), 2015, 117-119 стр.
20. Кучерский Н.И., Малыгин О.Н. и др. Эффективность проектируемого комплекса ЦПТ-руда с крутонаклонным конвейером для карьера «Мурунтау»// Горный журнал, 2005. -№11.

21. Тарасов Ю.Д. Промежуточные приводы ленточных конвейеров.-М.: Недра, 1996. – 64 с.
22. Червонный С.И., Тарасов Ю.Д. Выбор рациональных параметров двухконтурного ленточного конвейера//Научное обозрение-М.: 2012, №2. С.37-43.
23. Галкин В.И., Шешко Е.Е., Сазанкова Е.С. Влияние типов и характеристик лент на эксплуатационные параметры специальных ленточных конвейеров//Горный журнал. 2015, №8. С.88-91.
24. http://miningwiki.ru/wiki/Разрез_Волчанский.
25. <http://istoki-tur.ru/karpinsk-ugolnye-kopi>.
26. https://ru.wikipedia.org/wiki/Днепровский_буроугольный_бассейн.
27. Карагандинский угольный бассейн // Казахстан. Национальная энциклопедия. - Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2005.
28. https://ru.wikipedia.org/wiki/Карагандинский_угольный_бассейн.
29. <https://gelio.livejournal.com/188052.html> (Кузбасс угол).
30. <https://nashural.ru/mesta/chelyabinskaya-oblast/korkinskiy-razrez/> (Коркинский разрез).
31. https://ru.wikipedia.org/wiki/Экибастузский_угольный_бассейн.
32. Кармаев Г.Д., Глебов А.В. Выбор горно-транспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров. -Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012.- 296 с.
33. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. -М.: Машиностроение, 1983.-487 с.
34. Умаров Ф.Я., Норов Ю.Д., Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш. Новые прогрессивные технологические решения циклично-поточной технологии в карьере Мурунтау. Известия Кыргызского государственного технического университета. 2014. – №33 – С. 245-248.
35. Коенова Ю.И., Масыгин А.В. Зарубежные исследования характеристик конвейерных лент с использованием наноматериалов/Подъемно-транспортное дело. 2014. №3-4, С.29-33.

36. Галькин В.И., Шоджааталхоссейни А. Установление рациональной геометрической формы роликкоопор линейных секций мощных ленточных конвейеров//Горное оборудование и электромеханика. 2009. №3. С.50-54.
37. Jennings A., Perrone P., Cornet J. Case study: correcting control problems on Essroc's multidrive station, horizontally curved conveyor// Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2013.Vol.334.P. 472-476.
38. Phoenocord. Steel Cord Conveyor Belt/Phoenix Conveyor Belt Systems GMBH. –Hamburg, 2017. 15с.
39. Спиваковский А.О. Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 8. -М.: Недра, 1983. 264 с.
40. Шаходжаев Л.Ш. Разработка мероприятий по повышению эффективности эксплуатации ленточных конвейеров на разрезе «Ангренский». Т., 2005.
41. Мирсаидов Г.М.,Шаходжаев Л.Ш. Методические указания по курсу Транспортные машины. Т., 2004.
42. Kusel B. New energy-saving conveyor belts standardized// Coal end Minerals Asia, 2012. Vol.25.P. 102-103.
43. Alspaugh M.A. Latest Developments in belt Conveyor Technology: presented at MINExpo/Overland Conveyor Co., Las Vegas, 2004. -11 p.
44. Стамов А.И. Конвейерные ролики улучшенной конструкции. Журнал «Уголь». Выпуск №3, М., 2001.
45. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин.-М.: Высшая школа, 1987. -248 с.
46. Иванов–Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т.том1.- М.:МЭИ, 2004.
47. Аллаев К.Р. Режимы электрических систем с асинхронными турбогенераторами.-Т.: «Фан ва технологиялар марказининг босмахонаси», 2005.-287 с.

48. Аллаев К.Р. Асинхронные турбогенераторы и перспективы их применения. Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции. Современные проблемы энергетики. –М.: МЭИ, 1989. Часть 2. С.210-211.
49. Копилов И.П. Электрические машины. – Москва: Юрайт, 2015. – 675 с.
50. Гольдберг О.Д., Буль О.Б., Свириденко И.С.,Ю Хлемская С.П. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования. – М.: Высшая школа, 2001.-512 с.
51. Москаленко В.В. Электрический привод.–М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
52. Лихачев В.Л. Электродвигатели асинхронные.–М.:Солон-Р, 2002.– 304с.
53. Свириденко И.С. Переходные процессы в электрических машинах. –М.: МГОУ, 2001.-153с.
54. Косимов В.А. Математическое моделирование динамики электрических машин переменного тока. – СПб.: Издательство университета, 1995. -379 с.
55. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Динамические процессы асинхронного двигателя ленточного конвейера разреза «Ангренский». Илмий – Амалий конференция маърузалар тўплами, Тошкент, 2007. 10-11 октябрь.
56. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Процессы, происходящие при аварийном заклинивания механизма на валу асинхронного двигателя. «Пахта тозалаш, тўқимачилик, энгил ва матбаа саноатларида инновацион ва интеграцион жараёнларнинг истикболлари», халқаро илмий – амалий анжуманнинг материаллари. Тошкент, Тошкент тўқимачилик ва энгил саноат институти, 2007. 2 қисм, 12 октябрь.
57. Шаходжаев Л.Ш., Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Повышение эффективности эксплуатации ленточных конвейеров разреза «Ангренский». Горный вестник Узбекистана, 2008, №1, 42-44 с.

58. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Аппараты автоматизированного управления конвейерами. Материалы международной научно-технической конференции «ISTIQLOL» Современная техника и технология горно-металлургической отрасли и пути их развития. г. Навои, 2008, 29-30 сентября.

59. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Математическая модель асинхронного двигателя ленточного конвейера. Материалы международной научно-технической конференции. Современная техника и технология горно-металлургической отрасли. г. Навои, 2010, 12-14 мая.

60. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Процессы, происходящие при аварийном заклинивании механизма на валу асинхронного двигателя. Материалы международной научно-технической конференции. Современная техника и технология горно-металлургической отрасли. г. Навои, 2010, 12-14 мая.

61. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Аппараты автоматизированного управления конвейерами. Материалы VII международной конференции. Москва-Ереван, Российский университет дружбы народов, 2008, 15-19 сентября.

62. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Конвейер курилмаларидаги электр двигателлари ва уларни танлаш. Материалы научно-практической конференции. “Инновационные технологии горно-металлургической отрасли. г. Навои, 2011, 21-октябрь.

63. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Лентали конвейерлар асинхрон моторининг математик модели. “Қайта тикланувчан энергетиканинг замонавий муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани материаллари. Қарши ш., 2018, 18-19 май.

64. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Лентали конвейерлар асинхрон моторининг математик модели. “Замонавий ишлаб чиқаришнинг иш самарадорлиги ва энерго-ресурс тежамкорлигини ошириш муаммолари”

мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжуман мақолалари. Андижон ш., 2018, 3-4 октябрь.

65. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. -М.: Машиностроение, 1983.- 487 с.

66. Столяров В. Ф. Проблема циклично-поточной технологии глубоких карьеров. – Екатеринбург: Уро РАН, 2004. – 232 с.

67. Яковлев В.Л., Смирнов В.П., Берсенев В.А. Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. – Екатеринбург.: ИГД УрО РАН. -2003. – 42 с.

68. Состояние и особенности развития горнодобывающего комплекса России. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2003 – 428 с.

69. Яковлев В.Л., Бахтурин Ю.А., Столяров В.Ф. Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта//Материалы международной научно-технической конференции по карьерному транспорту. – Екатеринбург, 2002. – с.15–20.

70. Тарасов П.И. Предпосылки создания новых углубочных комплексов//Научно-техническое обеспечение горного производства: Сб. науч. тр./ИГД им. Кунаева, Казахстан. – Алматы, 2004. – Том 68. – с. 190–195.

71. Сергеева Н.В. Обоснование метода расчета распределенных сил сопротивления движению ленты на линейной части трубчатого конвейера для горных предприятий. Автореф. дисс. на со-иск. ученой степени канд. техн. наук., Москва, МГГУ, 2009-24 с.

72. Яковлев В. Л., Смирнов В. П., Берсенев В. А. Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2003. – 42 с.

73. Яковлев В. Л., Тюлькин В. П., Кармаев Г. Д. Технологические аспекты применения крутонаклонных конвейеров в горнорудной промышленности//Горный информационно-аналитический вестник. – М: МГГУ-МГИ, 2002. – с. 211–217.

74. Мальгин О. Н., Сытенков В. Н., Шеметов П. А. Циклично-поточная технология в глубоких карьерах. – Ташкент: ФАН, 2004. – 337 с.

75. Дмитриева В.В., Гершун С.В. Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом». - М.: Издательство МГГУ, ГИАБ 2008. № 8.

76. Дмитриева В.В., Певзнер Л.Д. Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера. - М.: Издательство МГГУ, 2004.

77. Дмитриева В.В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Москва, 2005.

78. Дмитриева В.В., Гершун С.В. Автоматическая стабилизация величины тягового фактора магистрального ленточного конвейера с двухдвигательным приводом//Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 3. С. 246-255.

79. Дмитриева В.В. Синтез регулятора натяжения ленты для стабилизации тяговой способности привода ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 11.

80. Баженов А.А. Определение оптимальных геометрических параметров плоской конвейерной ленты с перегородками /А.А.Баженов// Промышленное и гражданское строительство, 2012. - № 5.

81. Баженов А.А. Расчет поля напряжений в сыпучем грузе на рабочем полотне крутонаклонного конвейера с перегородками /В.Н. Смирнов, А.А. Баженов, Т.В. Сапунова// Научно-технические ведомости, СПбГПУ, – СПб, 2010. №3. – С 107–111.

82. Баженов А.А. Расчет давления от сыпучего груза по перегородке и ленте наклонных конвейеров с перегородками /В.Д. Черненко, А.А. Баженов// XXXIX неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Инженерные науки. - СПб, 2010. С. 235-237.

83. Баженов А.А. Расчёт по нелинейной теории конвейерных лент с

поперечными перегородками /В.Д. Черненко А.А. Баженов// Современные проблемы техносферы и подготовки научных кадров. Сборник трудов III Международного семинара в г. Табарка (Тунис). Донецк. С. 242-246.

84. Баженов А.А. Расчёт желобчатых конвейерных лент по нелинейной теории. Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции Т. 1 Транспорт - Одесса. Черноморье, 2011.

85. Баженов А.А. Определение поля напряжений в сыпучем грузе на рабочем полотне ленточно-цепных конвейеров /А.А. Баженов// Проблемы машиноведения и машиностроения. Межвузовский сб.СЗТУ. -2008. - Вып.39. С 196-199.

86. Баженов А.А. Расчет оптимальных геометрических параметров плоской ленты с перегородками //Проблемы машиноведения и машиностроения. Межвузовский сб.СЗТУ. - 2008. - Вып. 39.С. 190-192.

87. Баженов А.А. Определение давления от сыпучего груза на перегородку и ленту крутонаклонного конвейера с перегородками /А.А.Баженов//Проблемы машиноведения и машиностроения. Межвузовский сб.СЗТУ. - 2008. - Вып. 39. С. 193-195.

88. Герман-Галкин С.Г. Электрические машины лабораторные работы на ПК. - СПб.: Корона Принт, 2013. -256 с.

89. Гринько П.А. Обоснование конструктивных параметров барабанов ленточных конвейеров, обеспечивающих повышение долговечности ленты. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Одесса. Одесский национальный политехнический университет, 2015. - 157 с.

90. Теличко Л.Я., Тарасов А.С. Математическое моделирование распределенно упругого элемента с двухдвигательным электроприводом//Вестник Воронежского государственного технического университета. - Воронеж, ВГТУ. -2009, том 5 №3 - с. 74-78.

91. Пат. 2498260 РФ, МПК7 17/00, В65В 23/14. Стенд для исследований параметров промежуточного линейного привода ленточного конвейера

/Тарасов Ю.Д., Труфанова И.С., Кузьмин А.О. «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». - № 2012146723/11; заявл. 01.11.2012; опубл. 10.11.2013, Бюл.№ 31. - 7 с.

92. Тарасов Ю.Д., Труфанова И.С. Ленточные конвейеры для увеличенных углов наклона. // Естественные и технические науки, №2, 2014. -С. 58-64.

93. Тарасов Ю.Д., Труфанова И.С. Усовершенствованные промежуточные линейные приводы ленточных конвейеров с увеличенным тяговым усилием//Горный информационно-аналитический бюллетень, № 4, 2014, - 13 с.

94. Отчет о ходе научно–исследовательской работы по хозяйственному договору №1/17 от 23.03.2017 г. «Исследования, разработка мероприятий и рекомендаций по повышению эффективности и надежности циклично-поточной технологии с применением мобильных дробильно-перегрузочных комплексов» г.Ташкент, ТГТУ.

95. Ҳошимов О.О., Имомназаров А.Т. Электромеханик тизимларда энергия тежамкорлик. Тошкент, «ЎАЖБНТ» Маркази, 2004. -96 б.

96. Хашимов А.А. Режимы работы частотно-регулируемых асинхронных электроприводов.- Т.: Фан, 1987. - 176 с.

97. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Регулируемый электропривод конвейерных установок и алгоритм их выбора. Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”.-Ташкент. 2009. -№6. –С.41-49.

98. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Математическая модель и структура схемы частотно-регулируемой конвейерной установки. Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”.-Ташкент. 2010. -№5. –С.34-39.

99. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Пусковые режимы частотно-регулируемых ленточных конвейерных установок горнорудной промышленности. Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”.-Ташкент. 2010. -№6. –С.43-49.

100. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Пуск ленточных конвейерных установок на базе частотно-регулируемых электроприводов. Материалы семнадцатой всероссийской научно-техн.конф. «Энергетика: Эффективность, надёжность, безопасность». -Томск, 2011. –С.34-36.

101. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Современное состояние ленточных конвейерных установок и вопросы их энерго- и ресурсосбережения. Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”.-Ташкент. 2013. - №1-2. –С.45-62.

102. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Повышение эффективности и перспективы внедрения частотно-регулируемого электропривода ленточных конвейерных установок. Доклады АН РУз. -Ташкент, 2014. –С.18-22.

103. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Управление режимами работы конвейерных установок на базе частотно-регулируемого электропривода в горнорудной промышленности. Журнал “Проблемы энерго- и ресурсосбережения”. 2015. -№3. –С.17-22.

104. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Нормирование расхода электрической энергии для ленточных конвейеров горно-металлургической промышленности с учетом конструктивных особенностей. Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”.-Ташкент. 2016. -№6. –С.45-62.

105. Городецкий А.В. Исследование влияния пускового режима на выбор параметров линейной части ленточного конвейера на ходовых опорах: диссертация кандидата технических наук: 05.05.06. - Жданов, 1985. - 204 с.

106. Джиенкулов О.А., Батаев С.К., Саргужин М.Х., Джумадилдаев Д.А. К вопросу расчета шага роликкоопор ленточных конвейеров. В об.: Технические науки, вып. 20, Алма-Ата, 1976.

107. <http://cityblog.com.ua/2016/05/karer-ingok-na-puti-k-rudnomu-telu>.

108. <http://mgok.dp.ua/node/45>.

109. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Никопольский марганцеворудный бассейн](http://ru.wikipedia.org/wiki/Никопольский_марганцеворудный_бассейн).

110. Стремиллов А.В. Тележечных конвейеров для крупнокузовых скальных грузов. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук., Москва, МГГУ, 2000. -24 с.

111. Пирматов Н.Б., Абдиев О.Х. Конвейер курилмаларининг параметрларини тажриба йўли билан аниқлаш. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал, 2018, №4. 117-121 б.

112. Pirmatov N.B., Abdiyev O.X., Xoliqulov D.B. Tonikal conveyors are mathematical models of asynchronous motors. European science review. 2018, №9-10. 228-230 p.

113. Абдиев О.Х. Конвейердаги нотекис юк оқимини тадқиқ қилиш “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал, 2019, №1. 111-116 б.

114. W. Daus, S. Körber, and N. Becker, “Raw Coal Loading and Belt Conveyer System at the Nochten Opencast Mine,” Braunkohle Surface Mining, vol. 50, issue 2, p. 12, March/April 1998.

115. S. Zhang and X. Xia, “Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors,” Applied Energy, vol. 88, issue 9, pp. 3061-3071, Sep. 2011.

116. J. Schützhold, K. Benath, V. Müller, and W. Hofmann, “Design criteria for energy efficient belt conveyor drives,” in Proc. 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, June 2014, pp. 1256-1263.

117. F. D. Popescu, “Controls ways of the transportation capacity variation for the canvas conveyer,” WSEAS Transactions on System and Control, vol. 3, pp. 393-402, 2008.

118. Daijie He, Yusong Pang and Gabriel Lodewijks, “Determination of Acceleration for Belt Conveyor Speed Control in Transient Operation,” IJET International Journal of Engineering and Technology, vol. 8, issue 3, pp. 206-211, June 2016.

119. J. Hiltermann, G. Lodewijks, D. L. Schott, J. C. Rijsenbrij, J. A. J. M. Dekkers, and Y. Pang, “A Methodology to Predict Power Savings of Troughed Belt

Conveyors by Speed Control,” *Particulate Science and Technology*, vol. 29, issue 1, pp. 14-27, Jan. 2011.

120. H. Lauhoff, “Speed Control on Belt Conveyors - Does it Really Save Energy,” *Bulk solids handling*, vol. 25, p. 10, 2005.

121. C. Yan and X. He, “Model and Dynamic Simulation of Belt Conveyor,” in *Proc. 2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*, Oct. 2010, pp. 949-951.

122. D. He, Y. Pang, and G. Lodewijks, “Speed control of belt conveyors during transient operation,” *Powder Technology*, vol. 301, pp. 622-631, Nov. 2016.

123. D. He, Y. Pang, and G. Lodewijks, “Green operations of belt conveyors by means of speed control,” *Applied Energy*, vol. 188, pp. 330-341, Nov. 2017.

124. Z. Kasztelewicz and J. Szymański, “Energy Saving Control Method of Electrical Drives in Coveyor Belts with Regulated Speed in Surface Brown Coal Mine,” *Archives of Mining Sciences*, vol. 53 (2), pp. 319-329, 2008.

125. B. Jeftenić, M. Bebić, L. Ristić, and S. Štatkić, “Design and Selection of Belt Conveying Equipment & Systems,” in *Design and Selection of Bulk Material Handling Equipment and Systems: Mining, Mineral Processing, Port, Plant and Excavation Engineering*, J. Bhattacharya, Ed., Kolkata: Wide Publishing, 2012, p. 254.

126. P. Kulinowski, “Analytical Method of Designing and Selecting Takeup Systems for Mining Belt Conveyors,” *Archives of Mining Sciences*, vol. 58 (4), pp. 1301-1315, Jan. 2013.

127. CEMA, *Belt conveyors for bulk materials*, 6th ed.: Conveyor Equipment Manufacturers Association, Florida, USA, 2007.

128. P. Kulinowski, “Simulation Method of Designing and Selecting Tensioning Systems for Mining Belt Conveyors,” *Archives of Mining Sciences*, vol. 59 (1), pp. 123-138, Jan. 2014.

129. Тоиров О.З. Повышение энергоэффективности процесса экскавации горной массы и рудоподготовки в горно-металлургической

промышленности. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени доктора. техн. наук., ташкент, ТГГУ, 2018. -63 с.

130. Гандин, Б. Д. Пуск асинхронных двигателей / Б. Д. Гандин, Г. Р. Гревнин, Н. А. Лазаревский. – Л.: Судостроение, 1980. – 192 с.

131. Браславский, И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением / И.Я. Браславский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.

132. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод /И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков// Под ред. И.Я. Браславского. –М.: АСАДЕМА., 2004. – 202 с.

133. Петров Л. П. - Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / Л.П. Петров, О.А. Андрющенко, В.И.Капинос и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.

134. Лазарев, С.А. Силовая преобразовательная техника в высоковольтном электроприводе для энергосбережения и ресурсосберегающих технологий / С.А.Лазарев // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сборник научных трудов. – Чебоксары, 2012. - Вып. 8. - С. 176 – 188.

135. Масандилов, Л.Б. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей / Л.Б. Масандилов, В.В. Москаленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 96 с.

136. Осипов, О.И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод/ О.И. Осипов. – М.: МЭИ, 2004. – 80 с.

137. Лазарев, С.А. Анализ совместимости преобразователя частоты с двигателем и сетью /С.А. Лазарев// Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводе АЭП-2014. – Саранск, 2014. – С. 70-74.

138. Осипов, О.И. Асинхронный тихоходный электропривод шахтной подъемной машины / О.И. Осипов, А.Г. Иванов, П.С. Игнатьев, А.В. Гусев // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по

автоматизированному электроприводу АЭП-2014. –Саранск, 2014.–С. 367–369.

139. Осипов, О.И. Электромеханический комплекс для испытания силовой трансмиссии вертолетов / О.И. Осипов, А.Е. Наживин, П.А. Жарков// Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск, 2014. – С. 205 – 206.

140. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины: Учебное пособие для машиностроительных вузов/А.О Спиваковский, В.К. Дьяков. – 3-е изд., перераб.– М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.: ил.

141. М.Г.Потапов, Карьерный транспорт издание четвертое, с..5 <http://www.libed.ru/knigi-nauka/1197978-1-m-potapov-karerniy-transport-izdanie-chetvertoe-pererabotannoe-dopolnennoe-dopuscheno-ministerstvom-visshego-sre.php>.

142. WWW.KNIGI.KONFLIB.RU <http://www.knigi.konflib.ru/8zemlya/76679-34-karerniy-transport-izdanie-chetvertoe-pererabotannoe-dopolnennoe-dopuscheno-ministerstvom-visshego-srednego-speci.php>

143. https://studopedia.ru/10_130158_vibor-apparatov-i-provodnikov-po-usloviyam-rabochego-rezhima.html

144. Молниезащита ВЛ 6-10 кВ <http://locus.ru/library/fittings/847/page/1/>

145. Шмырина О.Б. «Перемещение грузов в карьере с использованием конвейерного транспорта. Применение конвейерного транспорта. Технологические характеристики конвейеров. г.Благовещенск 2018 г. <https://infourok.ru/tematicheskaya-tekuschaya-lekciya-peremeschenie-gruzov-v-karere-s-ispolzovaniem-konveyernogo-transporta-2717032.html>

146. Тажибаева Т.Л., Сальников В.Г, Полякова С.Е. Устойчивое развитие: экология и энергетика Учебное пособие , 2017 [https:// artic lekz. com / article](https://artic.lekz.com/article)

147. Ш.Ш.Маткасимова, Г.М.Мирсаидов. Транспортировании вскрышных пород в условиях разреза «Ангренский» ао «Узбекуголь» 2019

Электронный научный журнал <https://e-journal.uz/category/%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd%d0%b8%d1%87%d0%b5%d1%81%d0%ba%d0%b8%d0%b5-d0%bd%d0%b0%d1%83%d0%ba%d0%b8/> <https://e-journal.uz/>

148. <http://earthpapers.net/razrabotka-metodov-i-sredstv-intensifikatsii-tsiklichno-potochnoy-tehnologii-otkrytoy-razrabotki-slozhno-strukturnyh-mest>

149. [.https://www.soft-start.com.ua/primenenie-in-use/38-pochemu-zhelatelen-plavnyj-pusk-konvejera](https://www.soft-start.com.ua/primenenie-in-use/38-pochemu-zhelatelen-plavnyj-pusk-konvejera)

150. Золотовский Д.В. Плавный пуск электродвигателя. Книга 1, 85 с. <https://ru.b-ok.org/book/3080923/407106>

151. Пуск и торможение асинхронных электродвигателей <https://studopedia.org/9-87745.html>

152. https://studopedia.ru/15_78918_pusk-i-tormozhenie-asinhronnih-elektrodvigatelay.html

153. Афлятунов И.Ф. «Асинхронный электропривод с конденсаторным пуско-компенсирующим устройством» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Ульяновск, 2016 <http://www.lib.knigi-x.ru/23tehnicheskie/596054-1-asinhronniy-elektroprivod-kondensatornim-pusko-kompensiruyuschim-ustroystvom.php>

154. Компенсация реактивной мощности как один из путей энергосбережения в электроприводе https://studexpo.ru/751262/elektrotehnika/kompensatsiya_reaktivnoy_moschnosti_putey_energoberezheniya_elektroprivode

155. 1. Способы пуска асинхронного двигателя <https://helpiks.org/2-117794.html>

156. Вольдек Электрические машины

156. <http://servomotors.ru/documentation/electromotor/book47/book47p2.html>

157. Энергосберегающий асинхронный электропривод Оптимизация потерь и КПД в системах ТПН — АД при изменении параметров установившегося режима, 2007 <https://msd.com.ua/sitemap/>

158. <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1917-cto-takoe-sinkhronnoe-vrashhenie.html>
159. Регулирование скорости асинхронного двигателя
<http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/661-regulirovanie-skorosti-asinkhronnogo.html>
160. <https://lib2.znate.ru/docs/index-310232.htm>
161. <http://www.dslib.net/gornye-mashiny/obosnovanie-metoda-rascheta-raspredelennykh-sil-soprotivleniya-dvizheniju-lenty-na.html>
162. <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-parametrov-lineynoy-sektsii-trubchatogo-lentochnogo-konveyera>
163. <http://www.dslib.net/gornye-mashiny/obosnovanie-metoda-rascheta-raspredelennykh-sil-soprotivleniya-dvizheniju-lenty-na.html>
164. https://studexpo.ru/1060620/tehnologiya_mashinostroeniya/obzor_analiz_rabot_posvyaschennykh_opredeleniyu_osnovnykh_sostavlyayuschih_obschey_sily_soprotivleniya_dvizheniyu_lenty
165. <https://cyberleninka.ru/article/n/tyagovyy-raschet-lentochnyh-trubchatyh-konveyerov>
166. <https://www.dissercat.com/content/obosnovanie-metoda-rascheta-raspredelennykh-sil-soprotivleniya-dvizheniyu-lenty-na-lineinoi->
167. <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sily-soprotivleniya-ot-deformirovaniya-gruza-na-lente-trubchatogo-konveyera>
168. <https://b-ok.org/book/3673843/9e23d2>
169. Мамонтов Д.Ю..Исследование составляющих сопротивления движению конвейерной ленты и разработка способов снижения энергоемкости конвейеров.<http://masters.donntu.org/2007/fema/mamontov/diss/index.htm>
170. А.И. Стамов Производство конвейерных роликов улучшенной конструкции, Горное дело, 2011 <http://www.vyborg.ru/org/pirs/rolik.htm>
171. Пособие к СНиП 2.05.07-85 Пособие по проектированию конвейерного транспорта. Ленточные конвейеры

172. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих угольных шахт - файл n1.docx

173. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий - условия эксплуатации электрооборудования Энергоснабжение. <https://content-watch.ru/text/>

174. Выбор электропривода конвейеров https://aturnal.ru/stati/article_post/vybor-elektroprivoda-konveyerov

175. Способы питания и схемы управления электроприводами <https://zdamsam.ru/b57175.html>

176. <http://www.rayax.ru/tex/slovar-d-lp-1/557/index.htm>

177. <http://www.rayax.ru/tex/slovar-d-p-1/557/index.html>

178. В.Ф. Монастырский, , Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов, Т.Ф. Мищенко
Определение динамических усилий при взаимодействии грузопотока с роlikоопорами ленточных конвейеров угольных шахт, с.146-159

<http://dspace.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/54257/16-Monastyrskyy.PDF?sequence=1>

179. <http://sawi.ru/elektricheskie/4.html>

180. <http://masters.donntu.org/2002/fema/kremeshnaya/diss/>

181. <https://zavantag.com/docs/index-16819206-1.htm>

182. <https://pandia.ru/text/82/614/2764.php>