

Рис. 3. Зависимость частоты свободных колебаний круглой анизотропной пластины от угла намотки стекловолокна.

В заключение отметим, что полученные выражения (7), (9) и (11) для частот свободных колебаний прямоугольной, треугольной и круглой пластин, выполненных из ориентированного стеклопластика, при угле намотки $\Phi = 0$ переходят в известные выражения [1] для частот собственных колебаний ортотропных пластин соответствующей конфигурации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пластинки и оболочки из стеклопластиков / Под ред. И. И. Гольденבלата. М.: Высш. школа, 1970. 384 с.
2. Ghosh A. K. and Dey S. S. A Simple FiNite Element for the Analysis of Laminated Plates // Computers and Structures. Vol. 44, No. 3. P. 585.
3. Batra R. C. And Jin J. Natural frequencies of a functionally graded anisotropic rectangular plate // Journal of Sound and Vibration. Vol. 282. P. 509 – 516.
4. Старовойтов Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки. Гомель: БелГУТ, 2002. – 343 с.

УДК 621.867.2

Миранович О.Л., Прушак А.В., Демченко Н.А.

ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БАРАБАННО-ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ МАШИН

Барабанно-ленточные конвейерные машины в настоящее время являются наиболее эффективным и высокопроизводительным видом конвейерного транспорта для комплексной механизации и автоматизации добычи руд, угля и нерудных ископаемых. Создание и внедрение названных машин позволяет использовать поточную и циклично-поточную технологии, обеспечивающие возможность повышения пропускной способности, производительности труда и снижения себестоимости получаемой продукции, способствующие комплексной механизации и полной автоматизации транспортных процессов, а также обеспечивающие улучшение условий и повышение безопасности труда в соответствии с техническими и экономическими параметрами горных машин. Поэтому эффективность использования барабанно-ленточных конвейеров зависит от показателей надежности последних т.е. от совершенствования барабана, ленты, роликовых опор, роликов и т.д.

Создание машин, отвечающих современным требованиям, возможно только на базе глубоких научных исследований, уточненных методик расчета и выбора основных параметров и элементов конструкции.

Конструкции таких элементов ленточных конвейеров как роликовые опоры, ролики и ленты определяются условиями работы конвейерной машины и особенно зависят от физических свойств и гранулометрического состава транспортируемого груза. Так при перемещении более тяжелых сыпучих грузов, состоящих из крупных кусковых частиц, применяются ленты со значительным количеством прокладок и большей толщиной рабочей обкладки, используются ролики с большим наружным диаметром и диаметром оси и т.д. Однако проблему обеспечения долговечности этих элементов конвейеров при транспортировании крупнокусковых грузов нельзя считать полностью решенной, поскольку на практике часто имеет место их преждевременный выход из строя. Известны случаи, когда срок службы роликов конвейеров, транспортирующих крупнокусковую скальную породу, не превышал $40 \div 50$ часов [1]. Низкую долговечность роликов можно объяснить использованием

роликовых опор, непригодных для этих случаев, а также недостаточным анализом и учетом факторов, действующих на опору, что приводит к выбору роликов со сроком службы, не соответствующим условиям работы конвейера.

В ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» проводится целенаправленное исследование динамических нагрузок, возникающих в опорных элементах ленточных конвейеров при транспортировке крупнокусковой силвинитовой руды. В качестве объекта исследования выбрана наиболее распространенная рядовая жесткая трехроликовая опора. Ранее было установлено, что расчеты на долговечность всей опоры можно вести по наиболее нагруженному среднему горизонтальному ролику [2].

Изучены методики расчета динамических нагрузок на элементы магистральных роликовых опор при транспортировании насыпных грузов, содержащих единичные крупные куски. Дальнейшее развитие проведенных в ЗАО исследований - рассмотрение динамических явлений в барабанно-ленточных конвейерных машинах как в системе со случайными распределенными параметрами, изучение законов движения рабочей и холостой ветвей ленты, с учетом возможно-го влияния эксцентриситетов роликов опор и барабанов, будет способствовать решению важной задачи определения действующих нагрузок на роликовую опору, тем самым, поможет обеспечить правильный выбор ролика, что, в свою очередь, даст возможность увеличить долговечность ленты и роликов ленточного конвейера.

Рассмотрим наиболее распространенные соединения конвейерных лент и проанализируем их использование.

Клеемеханические соединения конвейерных лент не получили практического признания, поскольку они лишены таких достоинств механических соединений, как быстрота и простота изготовления. Усиление же клеевых соединений дополнительными механическими элементами не оправдано из-за меньшей долговечности последних.

Вулканизированные соединения резинотканевых лент по режиму вулканизации делятся на клеевые (холодновулкани-

Миранович О.Л., ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсоснабжения с опытным производством».

Колдаев Ю.Н., ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсоснабжения с опытным производством».

Беларусь, СИПРСОП, 223710, Минская обл-ть, г. Солигорск, ул. Козлова, 69.

зируемые и подогреваемые) и горячевулканизируемые, по конструкции - на ступенчатые, бесступенчатые и профильные. Подогреваемые соединения применяют при необходимости быстрого включения конвейера в работу. Технология их изготовления предполагает нагрев и выдержку стыка при $70^{\circ} - 80^{\circ}$ в течение 20 – 25 мин, а затем охлаждение до $30^{\circ} - 40^{\circ}$. После чего стык может работать при полном номинальном натяжении.

Ступенчатые соединения выполняют нахлестного и полунанхлестного типов (рис. 1), а также с охватом одного конца разделанными половинками другого.

Прочность ступенчатых соединений достигает 60% – 90% прочности ленты, а долговечность – до 80% срока службы ленты [5]. До 60% времени изготовления ступенчатого соединения составляет разделка, подготовка концов лент и сборка соединения, выполняемые в настоящее время вручную с применением простейших инструментов.

К бесступенчатым соединениям относятся клиновые стыки, разработанные в Брянском институте транспортного машиностроения [6, 7]. Клиновые соединения имеют прочность на 5% – 8% выше, чем ступенчатые такой же длины. Прочность соединений при горячей вулканизации на 10% выше, чем при холодной.

Другим типом бесступенчатого соединения является соединение без расслоения каркаса. В данной конструкции после снятия обкладок каркас разрезают на продольные полосы равной ширины, которые затем поочередно накладывают друг на друга, размещая между ними слой эластомера.

Для двухпрокладочных лент предложена конструкция соединения, в котором удален средний слой резины и между прокладками лент размещена дополнительная прокладка с таким

же относительным удлинением, что и лента. В качестве дополнительной прокладки используют высокоэластичное металлокордное полотно, имеющее прочность равную прочности ленты [4]. Однако, удаление слоя резины вручную очень трудоемко. Из перечисленных бесступенчатых соединений наиболее удобны для механизации клиновые соединения.

К профильным (рис.2) относятся соединения, имеющие сложный профиль соединяемых поверхностей [8]. Главной целью придания поверхностям лент специальной формы является увеличение площади поверхности соединения, обеспечения плотного контакта соединяемых поверхностей.

Для увеличения прочности соединения в [8] рекомендовано на концах лент в продольном направлении выполнять выступы и впадины прямоугольного, трапецевидного или волнообразного сечения так, чтобы выступы одного конца заходили во впадины другого.

Для стыковки цельнотканых лент на основе поливинилхлорида применяют так называемый «пальцевый» стык, для изготовления которого на соединяемых концах вырезают равнобедренные треугольники с основанием 40 – 70 мм и длиной 400 – 3000 мм. При вырезании используют шаблон. Разработано соединение сложного профиля, для изготовления которого требуется специальный профильный резак. Однако, данные, подтверждающие обоснованность использования предлагаемого профиля в работе отсутствуют.

Профильные соединения требуют большей точности изготовления по сравнению с другими типами соединений. Даже небольшие неточности изготовления профилей приводят к невозможности сборки соединения, либо к значительной потере прочности.

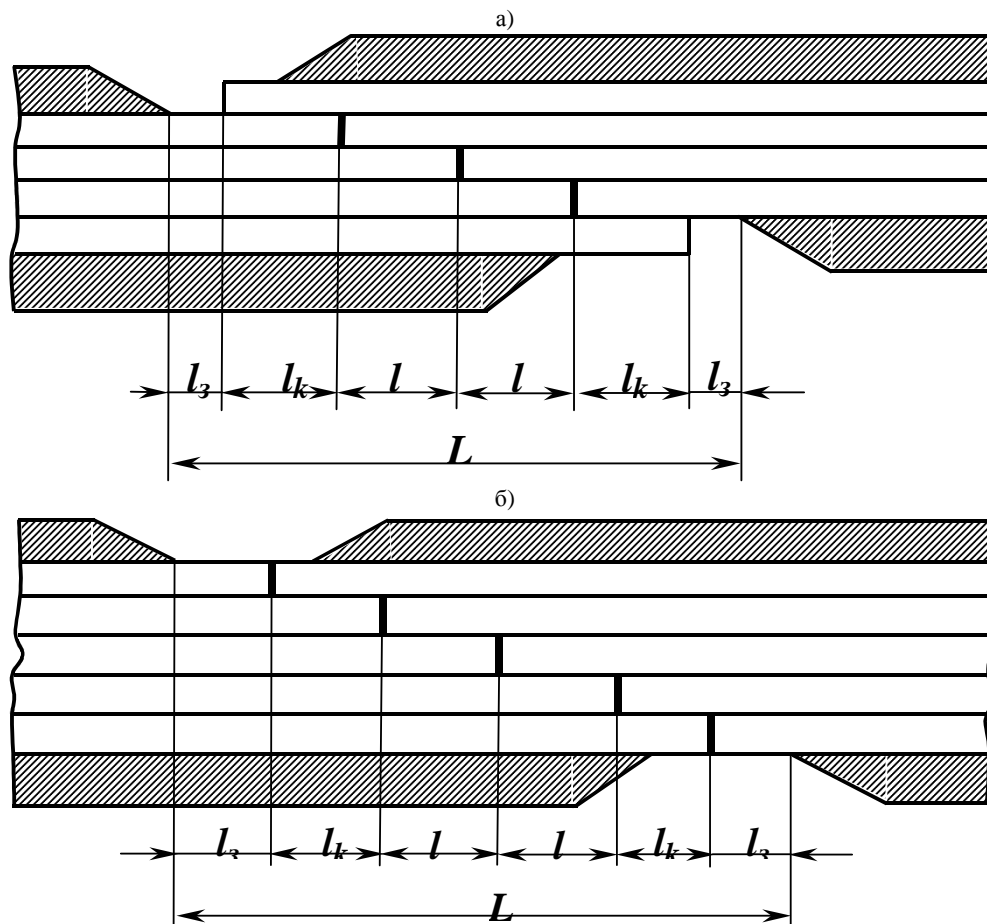


Рис. 1. Ступенчатые соединения: а) нахлестного типа; б) полунахлестного типа.

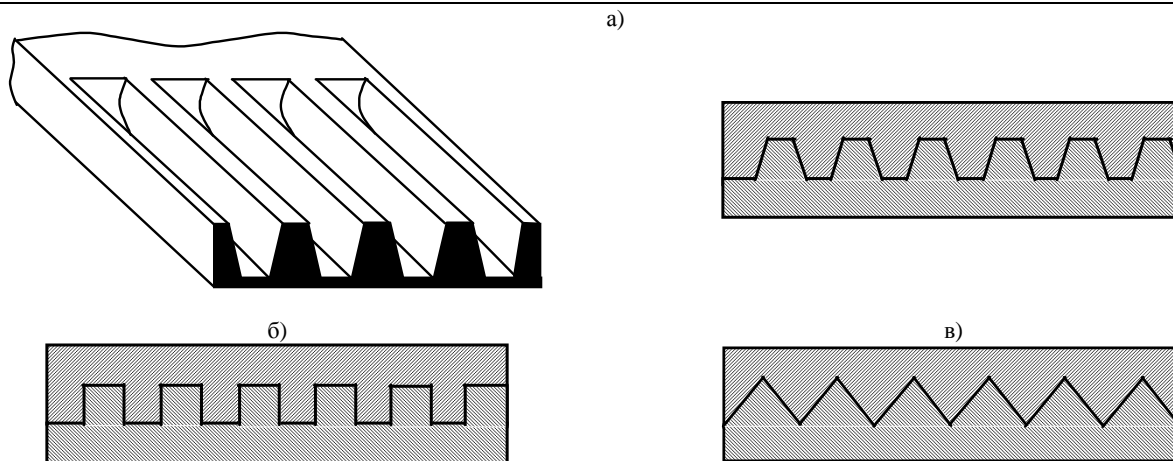


Рис. 2. Профильные соединения.

Ленточный контур представлен как контур собранный из продольных полос с равномерно распределенными по длине соединениями. При общем усложнении конструкции контура его достоинством является то, что в зоне максимального натяжения находятся не все соединения полос одновременно.

Соединения резинотросовых лент целесообразно разделить на механические и вулканизированные. Механические соединения основаны на использовании дополнительных металлических элементов, соединяемых с тросами обжатием (опрессовкой). При этом соединительные элементы могут быть расположены как на концах тросов, так и по всей длине. Соединительные элементы скрепляют тросы противоположных концов лент непосредственно, либо соединяются между собой, в том числе и с использованием сварки. Основной целью создания механических соединений резинотросовых лент является сокращение времени и трудоемкость стыковки. Однако, практического применения механические соединения в настоящее время не нашли, так как жесткие соединительные элементы при взаимодействии соединения с роликами и барабанами разрушают резиновую обкладку. Влага, проникающая внутрь соединения, приводит к коррозии тросов, соединительных элементов и разрушению всего соединения. Кроме того, дополнительные сложности вызывает обеспечение равномерного нагружения тросов.

По существу в настоящее время повсеместно используются только горячевулканизированные соединения резинотросовых лент. Соединение холодной вулканизацией не применяется, поскольку при этом невозможно создать плотное прижатие с заданным давлением склеиваемых поверхностей тросов, компенсировать неровности и другие дефекты.

Соединения резинотросовых конвейерных лент способом горячей вулканизации представляют собой сложную объемную конструкцию, содержащую металлические тросы, резину, тканевые прокладки и, возможно, другие элементы.

Использование многоступенчатых резинотросовых соединений вызвано тем, что с увеличением прочности лент возрастает отношение диаметра троса к шагу тросов в ленте. При этом расстояние между соседними тросами уменьшается настолько, что одноступенчатое расположение тросов в один слой становится невозможным. Многослойные резинотросовые соединения не нашли практического применения для ленточных конвейеров из-за сложности сборки и большой неравномерности нагрузки при изгибе соединения на барабанах. Поэтому для высокопрочных резинотросовых лент применяются многоступенчатые однослойные схемы соединений. Трудоемкость и время изготовления многоступенчатых соединений почти пропорциональны числу ступеней или длине соединения. Прочность резинотросовых соединений и ее

практическая осуществимость являются факторами, ограничивающими прочность резинотросовых лент.

Расплетенные на пряди и отдельные проволоки концы тросов предлагается использовать в соединениях для увеличения площади адгезии тросов и резины. Экспериментально установлено [3], что расплетение концов тросов увеличивает прочность соединения на 5% – 10%. Однако на практике данный прием не получил признания из-за существенного увеличения трудоемкости и сложности заполнения пространства между прядями и проволоками невулканизированной резиной.

Технология горячей вулканизации стыков проведена с использованием паст. Пасты-герметики могут стать перспективным стыковым материалом, если удастся увеличить их прочность в 3 – 3,5 раза до прочности прослоечной резины.

Для повышения прочности предложено большее число конструкции резинотросовых соединений с использованием дополнительных элементов. В качестве дополнительных элементов предлагается использовать: тканевые полосы, охватывающие концевые участки тросов; резинометаллические элементы; матрицы с отверстиями для фиксации отдельных прядей тросов, планки с коническими каналами и т.д.

Свободная укладка тросов при сборке соединения приводит к их искривлениям, вызванным остаточными напряжениями и неровной вырезкой тросов из резины. При растяжении в процессе работы искривленный трос выпрямляется и его длина становится больше длины соединения, что приводит к неравномерному нагружению тросов в соединении.

Для устранения искривлений и смещений тросов, возникающих в процессе сборки, предложен способ, согласно которому перед вулканизацией соединения тросы растягивают в продольном направлении с усилием 8% – 10% разрывной прочности.

Предложенный способ не является эффективным, так как для устранения даже небольших искривлений требуются значительные растягивающие силы, порядка рабочего натяжения. Более эффективно выпрямлять тросы путем их одновременного растяжения и поперечного сжатия.

Предварительное натяжение тросов средней части соединения при его пошаговой вулканизации позволит в некоторой мере устранить неравномерность распределения нагрузки по длине тросов. Однако для многоступенчатых соединений данный способ трудноприменим, поскольку требует сложную схему вулканизации.

Поэтому в настоящее время практически широко используются три типа соединений: механические, клеевые (холодновулканизированные), горячевулканизированные. Для резинотканевых лент широко применение всех трех типов, а для резинотросовых только горячевулканизированных. Проч-

ность и долговечность вулканизированных соединений значительно зависит от качества выполнения работ и качества расходных материалов.

Таким образом, совершенствование существующих конструкций и способов соединения конвейерных лент направлено на повышение их прочности и долговечности за счет уменьшения неравномерности распределения нагрузки, на использование новых более эффективных материалов, на разработку конструкций, удобных для механизированного изготовления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Билан И.Е., Деркач П.М. Расчет параметров вулканизированных стыков резиноканевых лент // НИИинформтяжмаш. Угольное и горнорудное машиностроение. – 1965. – Вып. 6. – С. 58 – 62.
2. Завгородний Е.Х., Кузьменко В.И. Концентрация напряжений при изгибе стыковых соединений многослойных конвейерных лент на роликах // Изв. вузов. Горный журнал. – 1981. – № 2. – С. 59 – 62.
3. Колосов Л.В. Научные основы разработки и применения резиноканевых канатов подъемных установок глубоких

рудников. Дисс. ... докт. техн. наук, Днепропетровск: ДГИ, 1987. – 570 с.

4. Высочин Е.М., Завгородний Е.Х., Заренков В.И. Стыковка и ремонт конвейерных лент на предприятиях черной металлургии. М.: Металлургия, 1989. – 192 с.
5. Скворцов А.М., Кроль Б.А., Шконда В.В. Совершенствование стыковки конвейерных лент // Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 1983, вып. 8, с. 26 – 30.
6. Пасечный Ф.В., Подопригора Ю.А. Исследование прочности различных видов соединений резиноканевых конвейерных лент // Шахтный и карьерный транспорт. М., Недра, 1980, вып. 5, с. 29 – 31.
7. Подопригора Ю.А., Рубин М.А., Алхименков А.Н. Сравнительная оценка напряжений в стыковых соединениях резиноканевых лент // Разработка рыхлых пород комплексами непрерывного действия. Губкин: 1979, вып. 8, с. 28 – 32.
8. Патент 2001332 РФ, F 16 G 3/09, Способ разделки концов резиноканевых конвейерных лент и устройство для его осуществления / Дунаев В.П., Заворотнов Н.Г., Подопригора Ю.А. и др., Оpubл. 1993, Бюл. № 37 – 39.

УДК 621.867.2

Миранович О.Л., Прушак А.В., Демченко Н.А.

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ БАРАБАНОВ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

При оптимальном проектировании барабанов ленточных конвейеров обычной конструкции их, чаще всего, рассматривают как совокупность цилиндрической оболочки, нагруженной на наружной поверхности, - обечайки и двух кольцевых пластин с нагрузками, приложенными по краям, и закрепленных по внутреннему контуру.

В последние годы заметно возрос интерес к оптимальному проектированию оболочечных конструкций. В качестве критерия оптимизации используется условие минимума веса при соблюдении либо условий прочности, либо условия получения заданной величины для низшей частоты собственных колебаний. Рассмотрена оптимизация цилиндрической оболочки дискретно-переменной толщины путем оптимального перераспределения материала и поставлена задача оптимизации цилиндрической оболочки, подкрепленной часто расположенными внутренними и внешними ребрами жесткости. Барабан ленточного конвейера может быть приведен к предложенной модели. Показано, что оптимальное перераспределение материала позволяет примерно в 2 раза снизить материалоемкость оболочки.

Получено выражение для функционала энергии, минимизация которого приводит к решению. Решение этой задачи также может быть использовано при оптимизации конструктивных параметров барабанов ленточных конвейеров.

Проанализированы особенности рационального проектирования оболочечных конструкций с точки зрения инженеров-проектировщиков. Большое внимание уделено вопросам сопряжения оболочек с кольцевыми пластинами, что может помочь при составлении математической модели барабана ленточного конвейера, состоящего из обечайки и двух лобовин.

При проектировании барабана сначала обсуждаются алгоритмы безусловной оптимизации и показывается, как сильно свойства гладкости функции и информация об этих свойствах влияют на структуру алгоритмов и их эффективность. Затем подробно разбираются алгоритмы вычисления минимума функции при линейных ограничениях. Затем останавливаются на алгоритмах вычисления минимума функции при нели-

нейных ограничениях: методы штрафов, методы проектирования и методы модифицированных функций Лагранжа. Они включают в себя предыдущие алгоритмы.

Дана стандартная схема классификации оптимизационных задач по типам их функций. Каждый из перечисленных признаков существен для выбора алгоритма решения:

Показатель, который всегда учитывается при выборе алгоритмов – доступность производных.

Выбор алгоритма может определяться природой задачи и нуждами исследования, в рамках которого она возникла.

При выборе метода решения оптимизационной задачи следует учесть основные характеристики целевой функции и функций ограничений. По ним все задачи разбираются на классы, каждому из которых отвечает своя группа предпочтительных алгоритмов.

Данная монография существенно помогает при выборе метода оптимизации в зависимости от перечисленных выше факторов, однако для более детального ознакомления с выбранным методом необходимо обращаться к другим работам, посвященным рассмотрению этих вопросов и подробно описывающих использование конкретных методов.

Банди Б. освещены основные положения и методы линейного программирования. Рассмотрены симплекс-метод и его реализация на ЭВМ, проблема вырожденности, анализ чувствительности и двойственный симплекс-метод, приведены примеры решения машиностроительных задач. Алгоритмы решения различных задач линейного программирования реализованы на языке Бейсик. Отличительной особенностью этой работы является ее прикладной характер.

Изложена теория и описаны алгоритмы оптимизации непрерывных дифференцируемых функций при наличии ограничений и без них. Приведены тексты программ, реализующих приведенные алгоритмы на языке Бейсик. Предложено большое число примеров использования методов оптимизации при решении различных задач, в том числе – машиностроительных.