

из древесных пластиков на основе модифицированной древесины и на основе древесины без обработки, в роликоопорах ленточных транспортеров на ПО «Беларуськалий». Основное требование пожарной безопасности к перечисленным материалам заключается в том, что изделия не должны возгораться как в процессе эксплуатации, так и при каких-либо отклонениях от нормальных условий эксплуатации.

При заклинивании подшипников качения роликоопор трение о транспортерную ленту может спровоцировать возгорание ролика, а затем и контактирующей с ним прорезиненной транспортерной ленты.

Испытывались древесно-полимерные ролики с трубной частью, изготовленной из разработанных материалов на основе модифицированной и необработанной древесины. Длина трубной части ролика – 420 мм, диаметр – 159 мм. У части роликов были заклинены подшипники без прослабления их посадки в корпусе. При установке на конвейер КРУ-350 эти ролики не вращались вообще, у других вращалось внешнее кольцо подшипника по внутренней поверхности корпуса. По окончании пятиминутных испытаний ролики были сняты и после внешнего осмотра разобраны. В результате осмотра роликов из композиций 1-3 было установлено, что ролики с заклиненными подшипниками без прослабления их посадки в корпусе во время испытаний не вращались, лента скользила по поверхности ролика. Износ составил 0,5-0,6 мм. На по-

УДК 539.3

Босяков С.М., Медведев Д.Г.

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАМОТКИ СТЕКЛОВОЛОКНА НА ОСНОВНЫЕ ЧАСТОТЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ОДНОСЛОЙНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИНОК

Анализ свободных поперечных колебаний анизотропных пластинок с произвольной геометрией играет большую роль при исследовании их динамической прочности. Решение задачи о колебаниях анизотропной пластинки сводится к определению прогиба в любой точке и в любой момент времени, а также частот собственных колебаний, причем особенно востребованной оказывается вторая часть решения, поскольку значения частот свободных колебаний необходимы для нахождения динамических напряжений, вызванных динамической нагрузкой. Однако при краевых условиях, отличных от свободного опирания, и для пластинок прямоугольной формы точное определение частот свободных колебаний сопряжено со значительными трудностями, связанными с интегрированием уравнения четвертого порядка. Еще более затруднительным оказывается случай, когда упругие свойства анизотропной пластинки описываются шестью константами упругости, каждая из которых зависит от угла намотки стекловолокна по отношению к основному направлению упругости [1]. Поэтому на практике широко используются приближенные методы, в частности метод конечных элементов [2, 3], метод Ритца [4], определения частот колебаний основного тона, представляющих наибольший практический интерес. Ниже представлены результаты нахождения основных частот собственных колебаний анизотропных пластинок различной конфигурации, выполненных из ориентированного стеклопластика.

Будем считать, что основные направления упругости материала пластинки (направления ориентации стекловолокон)

верхности ролика не обнаружено следов обугливания от трения ленты. Ролики с заклиненными подшипниками и с прослабленной посадкой в корпусе вращались. Часть корпуса, непосредственно прилегающая к наружной обойме подшипника, карбонизировалась на глубину 5-7 мм. Лабиринтные уплотнения расплавились, следов возгорания не обнаружено. При аналогичных испытаниях роликов, изготовленных из древопласта без обработки древесного наполнителя, наблюдалось тление, а в отдельных случаях и возгорание изделий.

Полученные экспериментальные данные подтверждают, что предлагаемый метод метилирования древесного наполнителя позволяет снизить горючесть и повысить гидрофобность, а, следовательно, и коррозионную стойкость древесных пластиков, что делает их пригодными к эксплуатации в химической и горнодобывающей промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прушак В.Я., Колдаева С.Н., Михайлов М.И. Технология древесно-полимерных композитов для деталей машин. - Гомель: Информтрибо, 1992. - 225 с.
2. Коваленко А.Д. Термоупругость. - Киев: Вища школа, 1975. - 216 с.
3. Назаров Г.И., Сушкин В.В., Теплостойкие пластмассы: Справочник. - М.: Машиностроение, 1980. - 208 с.

составляют угол Φ с координатными линиями. В этом случае закон Гука имеет вид:

$$\begin{aligned}\sigma'_{11} &= B'_{1111}\varepsilon_{11} + B'_{1122}\varepsilon_{22} + 2B'_{2111}\varepsilon_{12}, \\ \sigma'_{22} &= B'_{1122}\varepsilon_{11} + B'_{2222}\varepsilon_{22} + 2B'_{1222}\varepsilon_{12}, \\ \sigma'_{12} &= B'_{2111}\varepsilon_{11} + B'_{1222}\varepsilon_{22} + 2B'_{1212}\varepsilon_{12}.\end{aligned}\quad (1)$$

Здесь ε_{ij} - компоненты тензора деформаций, B'_{iiii} , B'_{ijij} , B'_{ijji} , B'_{jjjj} - константы упругости $i, j = 1, 2$, которые можно представить через основные константы упругости B_{iiii} , B_{ijij} , B_{ijji} следующим образом [1]:

$$\begin{aligned}B'_{1111} &= B_{1111} \cos^4 \varphi + B_{2222} \sin^4 \varphi + \\ &+ \left(B_{1212} + \frac{1}{2} B_{1122} \right) \sin^2 2\varphi, \\ B'_{2222} &= B_{1111} \sin^4 \varphi + B_{2222} \cos^4 \varphi + \\ &+ \left(B_{1212} + \frac{1}{2} B_{1122} \right) \sin 2\varphi, \\ B'_{1122} &= (B_{1111} + B_{2222} - 2B_{1122}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \\ B_{1212} &(\sin^4 \varphi + \cos^4 \varphi),\end{aligned}$$

Босяков Сергей Михайлович, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета.

Медведев Дмитрий Георгиевич, зам. декана механико-математического факультета, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета.

Беларусь, БГУ, 220050 Беларусь, Минск, пр. Независимости, 4.

$$B'_{1212} = (B_{1111} + B_{2222} - 2B_{1122}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + B_{1212} \cos^2 2\varphi, \quad (2)$$

$$B'_{1222} = \frac{1}{2} (B_{2222} \cos^2 \varphi - B_{1111} \sin^2 \varphi) \sin 2\varphi - \frac{1}{4} (B_{1212} + 2B_{1122}) \sin 4\varphi,$$

$$B'_{2111} = \frac{1}{2} (B_{2222} \sin^2 \varphi - B_{1111} \cos^2 \varphi) \sin 2\varphi - \frac{1}{4} (B_{1122} + 2B_{1212}) \sin 4\varphi.$$

Согласно формуле Ритца для основной частоты свободных колебаний пластинки будем иметь [1]

$$\omega^2 = \frac{h^2}{12\rho} \frac{\iint \bar{U}(w) dx dy}{\iint w^2 dx dy}, \quad (3)$$

где ρ - плотность материала, $w = w(x, y)$ - прогиб срединной поверхности, h - толщина пластинки, $\bar{U}(w)$ - потенциальная энергия упругой деформации пластинки. С учетом (1) выражение для энергии $\bar{U}(w)$ можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{U}(w) = & B'_{1111} \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 + 2B'_{1122} \frac{d^2 w}{dx^2} \frac{d^2 w}{dy^2} + \\ & + 4B'_{1212} \left(\frac{d^2 w}{dx dy} \right)^2 + 4B'_{1222} \frac{d^2 w}{dy^2} \frac{d^2 w}{dx dy} + \\ & + 4B'_{2111} \frac{d^2 w}{dx^2} \frac{d^2 w}{dx dy} + B'_{2222} \left(\frac{d^2 w}{dy^2} \right)^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Определим частоту колебаний основного тона прямоугольной, треугольной и круглой анизотропных пластинок, жестко заделанных по всему контуру. Заметим, что точное решение этих задач пока не известно, так как не найдена функция $w(x, y)$, которая бы являлась решением уравнения движения пластинки и удовлетворяла бы краевым условиям заделки по всему контуру.

Граничные условия, которым должна удовлетворять функция $w(x, y)$ для прямоугольной пластинки, защемленной по четырем сторонам, имеют вид:

$$x = \pm a / 2, w = \frac{\partial w}{\partial x} = 0, y = \pm b / 2, w = \frac{\partial w}{\partial y} = 0. \quad (5)$$

Условиям (5) удовлетворяет функция w_{mn} в виде полинома

$$w_{mn}(x, y) = \left(x^2 - \frac{a^2}{4} \right)^m \left(y^2 - \frac{b^2}{4} \right)^n. \quad (6)$$

Здесь m, n - целые неотрицательные числа.

Примем $m = n = 2$ и подставим (6) в формулу (3) с учетом выражения (4). После несложных преобразований для частоты ω_1 основного тона свободных колебаний прямоугольной пластинки будем иметь

$$\omega_1 = \frac{h}{a^2} \sqrt{\frac{6}{\rho} \left(7B'_{1111} + c^2 (4B'_{1122} + 8B'_{1212} + 7c^2 B'_{2222}) \right)},$$

или

$$\begin{aligned} \bar{\omega}_1 = & \sqrt{6 \left(7 \left(b_1 \cos^4 \varphi + b_2 \sin^4 \varphi + \left(\frac{1}{2} + b_3 \right) \sin^2 2\varphi \right) + \right.} \\ & + c^2 \left(8 \cos^2 2\varphi (b_3 + \sin^2 2\varphi (b_1 + b_2 - 2)) + \right. \\ & + 7c^2 \left(b_2 \cos^4 \varphi + b_1 \sin^4 \varphi + \left(\frac{1}{2} + b_3 \right) \sin^2 2\varphi \right) + \\ & \left. \left. + 4 \left(\cos^4 \varphi + \sin^4 \varphi + \frac{1}{4} (b_1 + b_2 - 4b_3) \sin^2 4\varphi \right) \right) \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где $b_1 = B_{1111}/B_{1122}$, $b_2 = B_{2222}/B_{1122}$, $b_3 = B_{1212}/B_{1122}$, $\omega = h\sqrt{B_{1122}/\rho}/a^2$, $\bar{\omega}_1 = \omega_1/\omega$ - безразмерная частота колебаний прямоугольной пластинки, $c = a/b$.

На рис. 1 представлены зависимости безразмерной частоты $\bar{\omega}_1$ от угла намотки стекловолокна φ для прямоугольной анизотропной пластинки, упругие свойства которой описываются следующими константами упругости: $B_{1111} = 183$, $B_{2222} = 252$, $B_{1122} = 27,7$ и $B_{1212} = 35$ МПа (числовые данные взяты из [1]).

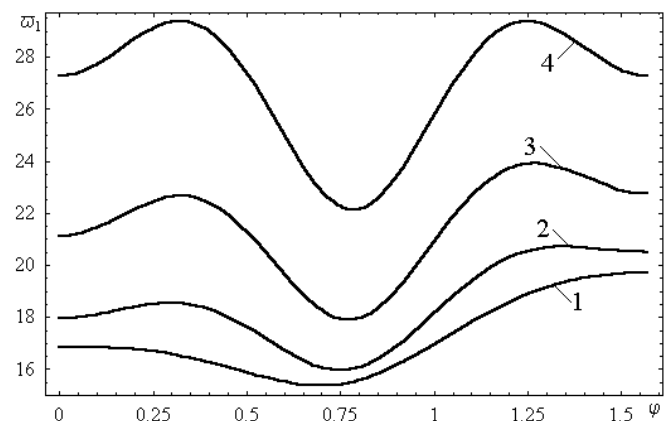


Рис. 1. Зависимость частоты свободных колебаний прямоугольной анизотропной пластины от угла намотки стекловолокна для различных соотношений сторон пластины: 1 - $c=0,25$; 2 - $c=0,5$; 3 - $c=0,75$; 4 - $c=1$.

Из рис. 1 видно, что частоты свободных колебаний прямоугольных пластинок независимо от угла намотки возрастают при стремлении отношения сторон к единице, причем значение угла φ , соответствующее минимальному значению частоты при этом возрастает, а значение φ , при котором достигается максимальная частота колебаний, уменьшается. Так, для прямоугольной пластинки с отношением сторон $c = 0,25$ углы намотки, соответствующие минимальной и максимальной частоте, составляют 0,694 ($\bar{\omega}_1 = 15,47$) и 1,56 ($\bar{\omega}_1 = 19,78$); для квадратной пластинки эти углы равны 0,79 ($\bar{\omega}_1 = 22,2$) и 1,25 ($\bar{\omega}_1 = 29,42$).

Рассмотрим анизотропную пластинку из стеклопластика в форме прямоугольного треугольника с катетами a и b , у которой основные направления упругости составляют с одним из катетов угол φ . Если все три стороны пластинки заделаны, то в качестве функции, удовлетворяющей граничным условиям (аналогичны граничным условиям (5)), можно принять следующую

$$w_{22}(x, y) = x^2 y^2 \left(1 - \frac{x}{a} - \frac{y}{b} \right)^2. \quad (8)$$

Тогда для частоты $\bar{\omega}_2$ основного тона свободных колебаний треугольной пластинки из (3) будем иметь

$$\omega_2 = \frac{h}{a^2} \sqrt{\frac{1001}{3\rho} \left(B'_{1111} + c \left(2B'_{2111} + c \left(B'_{1122} + 2B'_{1212} + 2cB'_{1222} + c^2 B'_{2222} \right) \right) \right)}$$

Отсюда, с учетом соотношений (2), вытекает следующее выражение для безразмерной частоты колебаний треугольной пластинки:

$$\begin{aligned} \bar{\omega}_2 = & \sqrt{\frac{1001}{3} \left(b_1 \cos^4 \varphi + b_2 \sin^4 \varphi + \left(\frac{1}{2} + b_3 \right) \sin^2 2\varphi + \right.} \\ & + c \left(b_2 \sin^3 2\varphi - b_1 \cos^2 2\varphi \sin 2\varphi + \left(\frac{1}{2} + b_3 \right) \sin 4\varphi + \right. \\ & + c \left(\cos^4 \varphi + \sin^4 \varphi + \sin 2\varphi + \right. \\ & + \frac{c}{2} (b_2 - b_1 + (b_1 + b_2 - 4b_3 - 2) \cos 2\varphi) + \\ & + 2 \cos^2 2\varphi (b_3 + (b_1 + b_2 - 2) \sin^2 2\varphi) + \\ & + c^2 (b_2 \cos^4 \varphi + b_1 \sin^4 \varphi + \left. \left. \left(\frac{1}{2} + b_3 \right) \sin^2 2\varphi \right) + \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{4} (b_1 + b_2 - 4b_3) \sin^2 4\varphi \right) \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь $\bar{\omega}_2 = \omega_2 / \omega$ - безразмерная частота колебаний тре-

угольной анизотропной пластинки.

Зависимости безразмерной частоты свободных колебаний $\bar{\omega}_2$ от угла намотки стекловолокна φ для треугольных пластинок с различным отношением катетов c представлены на рис. 2 (константы упругости имеют прежние значения).

Рис. 2 показывает, что, как и в случае с прямоугольной пластинкой, частота свободных колебаний $\bar{\omega}_2$ независимо от угла намотки стеклонити возрастает при стремлении отношения сторон пластинки к единице. При малых отношениях катетов треугольника, в частности при $c = 0,25$, минимальные и максимальные значения частот наблюдаются при φ равном нулю 0 и $\varphi = \pi/2$ соответственно. При возрастании отношения сторон a/b максимум и минимум частоты смещаются, так, для равнобедренной треугольной пластинки наибольшее значение собственной частоты наблюдается при $\varphi = 0,43$ ($\bar{\omega}_2 = 101,88$), наименьшее значение соответствует углу $\varphi = 1,47$ ($\bar{\omega}_2 = 77,61$).

Определим частоту колебаний основного тона круглой анизотропной пластинки из стеклопластика, заделанной по контуру. Считаем, что направление оси абсцисс (начало системы координат совпадает с центром окружности) составляет с основными направлениями упругости угол φ ; радиус пластинки равен a . Воспользуемся выражением для статического прогиба круглой защемленной по контуру пластинки под действием равномерной нагрузки [1], и примем

$$w_{22}(x, y) = (a^2 - x^2 - y^2)^2. \quad (10)$$

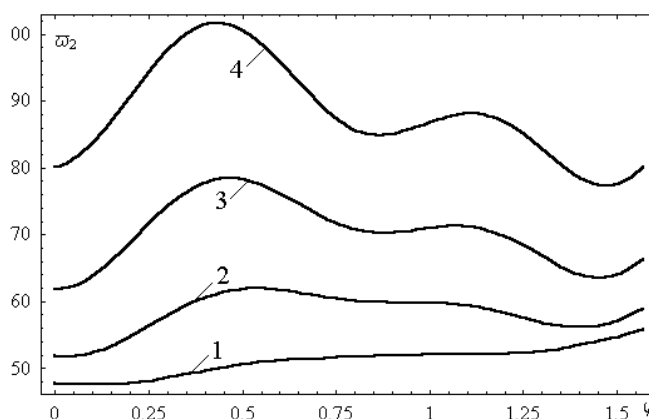


Рис. 2. Зависимость частоты свободных колебаний анизотропной пластины в форме прямоугольного треугольника от угла намотки стекловолокна для различных отношений катетов треугольника: 1 - $c=0,25$; 2 - $c=0,5$; 3 - $c=0,75$; 4 - $c=1$.

Подставляя функцию (10) в (3), получим следующее выражение для частоты свободных колебаний круглой анизотропной пластинки:

$$\omega_3 = \frac{h}{3a^2} \sqrt{\frac{10}{\pi\rho} \left(8B'_{1222} + B'_{2111} + \pi \left(3B'_{1111} + 2B'_{1122} + 4B'_{1212} + 3B'_{2222} \right) \right)}$$

Отсюда для безразмерной частоты свободных колебаний $\bar{\omega}_3 = \omega_3 / \omega$ будем иметь

$$\begin{aligned} \bar{\omega}_3 = & \frac{1}{3} \sqrt{\frac{5}{2\pi} \left(2\pi \left(3(b_1 + b_2) - 4(1 + b_3) \right) \sin 2\varphi \sin 6\varphi + \right.} \\ & + 4 \left(\pi \left(2 + 3(b_1 + b_2) + 4b_3 \right) + (5b_2 - 3b_1) + \sin 2\varphi - \right. \\ & \left. \left. - 2(b_1 + b_2) \sin \varphi \cos 5\varphi \right) \right) \end{aligned} \quad (11)$$

Зависимость безразмерной частоты свободных колебаний круглой пластинки от угла намотки стекловолокна представлена на рис. 3 (числовые данные прежние).

Как следует из приведенной на рис. 3 зависимости, минимальная частота свободных колебаний ($\bar{\omega}_3 = 7,3$) достигается при угле намотки стекловолокна $\varphi = 0,82$, максимальная частота ($\bar{\omega}_3 = 8,8$) соответствует углу намотки $\varphi = 7,3$.

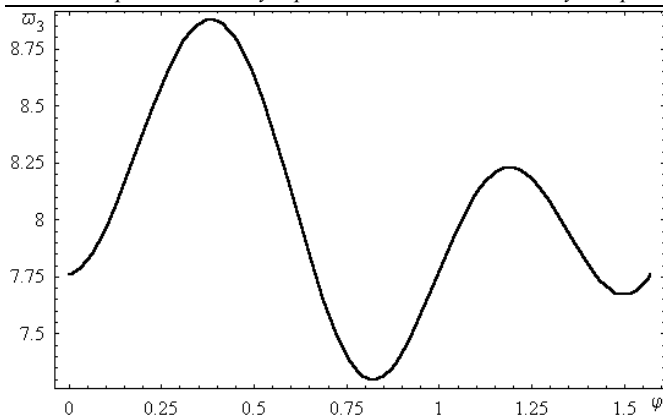


Рис. 3. Зависимость частоты свободных колебаний круглой анизотропной пластины от угла намотки стекловолоконного окна.

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

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.

роликовых опор, неприспособленных 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.