

*к.т.н. Кузьменко В.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОЕДИНЕНИЯ НСЗЛ-ТИПА ЛЕНТ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Розроблена математична модель у вигляді систем диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, що описують напружено-деформований стан з'єднання НСЗЛ-типу при його навантаженні розтягуючим зусиллям.

Ключові слова: *стрічковий конвеєр, гумовотканева стрічка, вулканізоване з'єднання, напружено-деформований стан, математична модель.*

Разработана математическая модель в виде систем дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, описывающими напряженно-деформированное состояние соединения НСЗЛ-типа при его нагружении растягивающим усилием.

Ключевые слова: *ленточный конвейер, резинотканевая лента, вулканизированное соединение, напряженно-деформированное состояние, математическая модель.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

На шахтах Украины широкое применение находят ленточные конвейеры, предназначенные для перевозки полезного ископаемого, породы, а также людей. Протяженность транспортных выработок, оснащенных ленточными конвейерами, составляет почти 900 км по горизонтальным и 1000 км по наклонным выработкам. Эксплуатация таких конвейеров связана с опасностью, вызванной особенностью отказов конвейерных лент и, в первую очередь, возможностью обрыва лент и их соединений. Поэтому к конвейерным лентам и особенно к их соединениям предъявляются повышенные требования по прочности. На угольных шахтах Украины находится в эксплуатации более 39 тыс. стыков конвейерных лент. Количество порывов стыков за 10 лет (1991-2000 гг.) достигло 62 на 1 км ленты. Аварийные простои конвейеров составляют примерно 10% рабочего времени, а плановые на изготовление или ремонт стыков – до 20%. В среднем один порыв стыка магистрального конвейера

приводит к потере добычи до 2000 т угля. Поэтому мнимая экономия в изготовлении стыка оборачивается существенными потерями [1].

Анализ показывает, что качество изготовления стыков в большинстве случаев остается низким по следующим причинам: нерациональная конструкция стыка; несоблюдение технологии изготовления; низкая квалификация обслуживающего персонала; отсутствие контрольных проверок прочности стыка, удовлетворяющих современным требованиям безопасности; обезличенность изготовителя [2-3]. Поэтому разработка высокопрочных соединений резинотканевых конвейерных лент является в настоящее время актуальной проблемой, решение которой обеспечит повышение эффективности эксплуатации ленточных конвейеров.

Анализ исследований и публикаций.

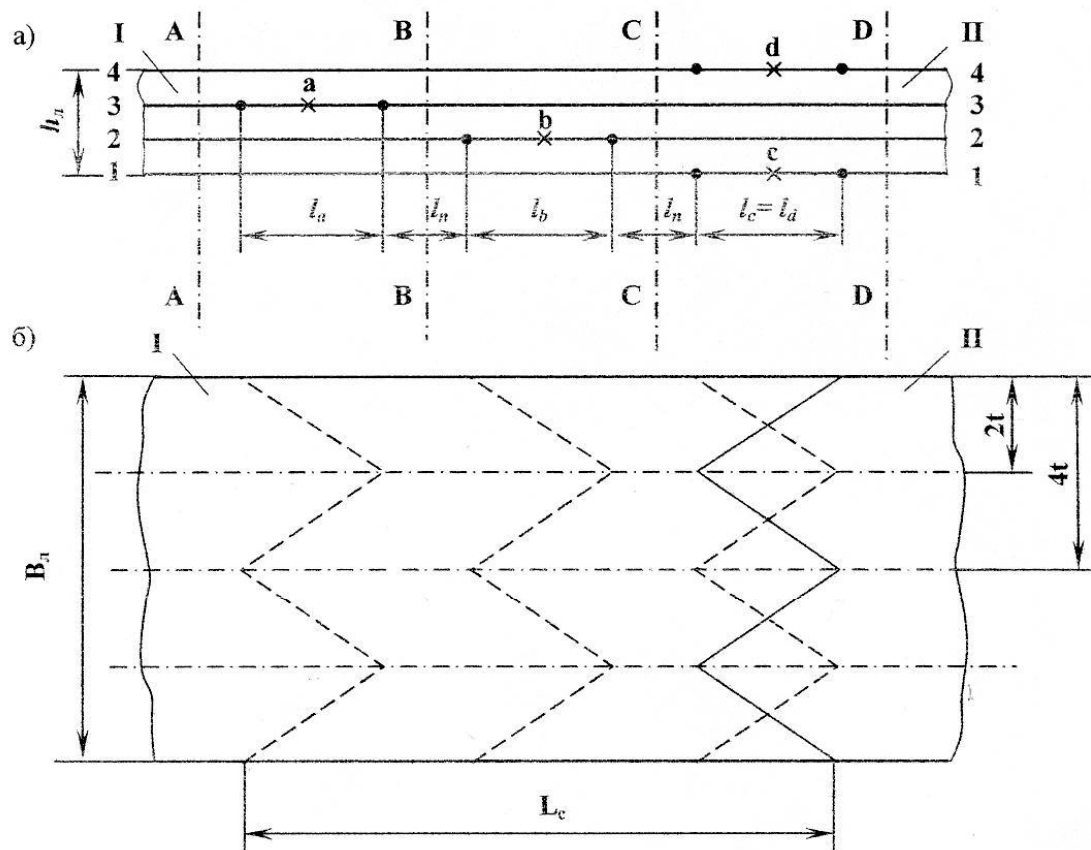
Анализ ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований указывает на то, что основное внимание уделяется конструкциям вулканизированных соединений нахлестного и полунахлестного типов. Однако, использование таких конструкций, как показывают результаты исследований соединений и опыт эксплуатации ленточных конвейеров, не обеспечивает необходимой несущей способности. Поэтому решение актуальной проблемы необходимо искать, используя системный подход на базе новых принципов конструирования соединений путем разработки новых технических решений [4]. Проведенные исследования по оценке несущей способности различных конструкций соединений лент ленточных конвейеров [5] дают основания утверждать, что применение соединений НСЗЛ-типа позволит в значительной степени решить эту проблему.

Постановка задачи. Разработать математическую модель, описывающую напряженно-деформированное состояние соединения НСЗЛ-типа при приложении растягивающей нагрузки для дальнейшего ее исследования и определения оптимальных параметров.

Изложение материала и его результаты. Напряженно-деформированное состояние соединения НСЗЛ-типа рассматривается на примере четырехпрокладочной резинотканевой ленты шириной B_d и толщиной резинотканевого каркаса h (рис.1). Конструкция соединения концов I и II ленты включает в себя четыре ступени (a, b, c, d) с длинами, соответственно l_a, l_b, l_c, l_d , а между ступенями имеется межступенчатое перекрытие длиной l_{II} . Ступени выполняют в виде выступов и впадин шириной $4t$, чередующихся в поперечном направлении по ширине ленты и по длине соединения L_c .

Соединение рассматривается как семислойная пластина регулярного строения, состоящая из четырех «жестких» слоев (тканевых прокладок) толщиной δ и трех «мягких» слоев (резиновые прослойки), толщиной s . Так как соотношение модулей упругости тканевых прокладок и связующих прослоек составляет величину второго порядка, счи-

таем тканевые прокладки «жесткими» слоями с модулем упругости на растяжение E , а связующие прослойки – «мягкими» слоями с модулем сдвига G . «Жесткие» слои воспринимают только нормальные напряжения σ , «мягкие» слои – касательные напряжения τ .



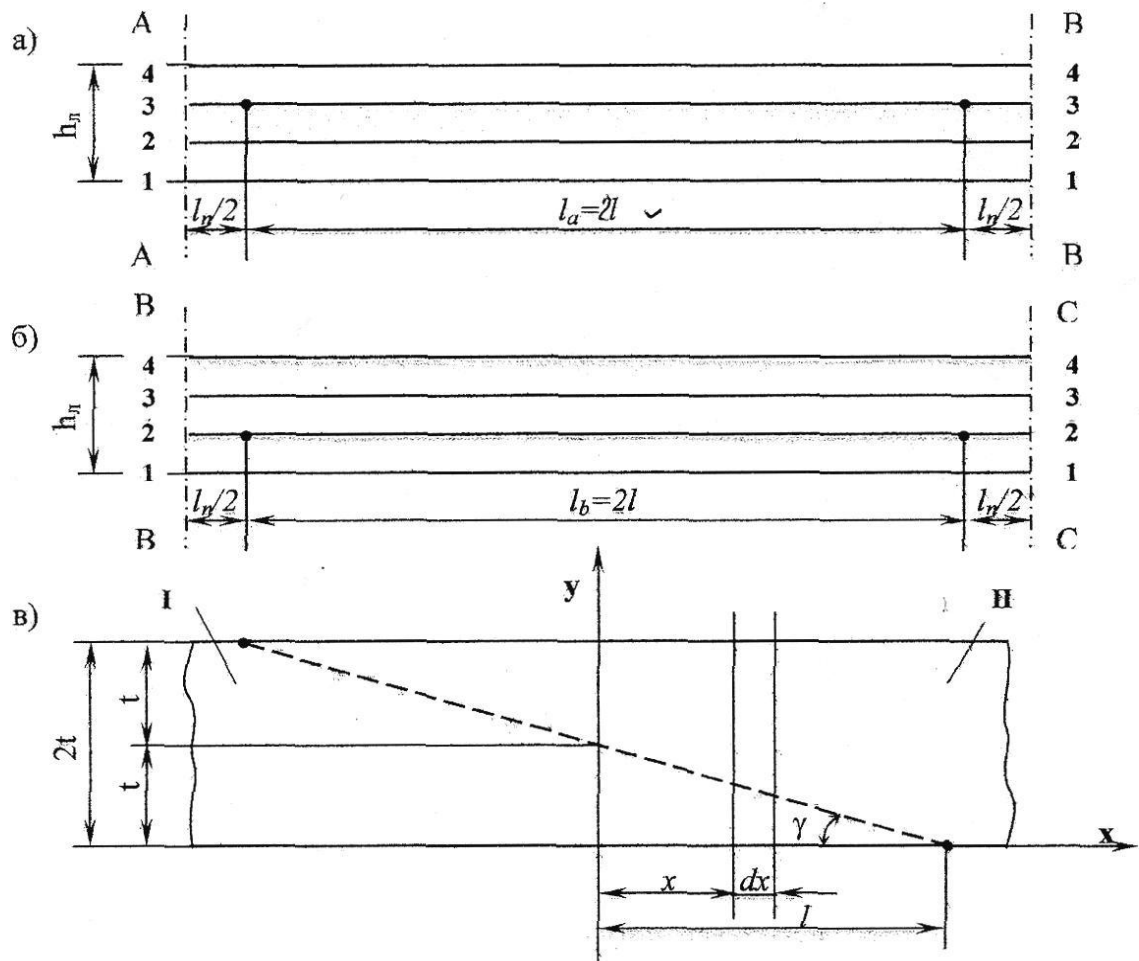
а) вид сбоку; б) вид сверху

Рисунок 1 – Модель соединения НСЗЛ-типа четырехпрокладочной конвейерной ленты

Материал «мягких» и «жестких» слоев ленты в диапазоне номинальных нагрузок подчиняется закону Гука и несжимаем в поперечном направлении. Считаем, что имеет место плоская задача при нагружении соединения растягивающими усилиями. Нумерацию слоев производим в восходящем порядке от нижней поверхности к верхней. Количество ступеней в соединении равняется количеству тканевых прокладок в ленте. Рассматривается семислойный пакет для различных расчетных схем по сечениям А-В, В-С, С-Д, соответственно, с разрезанной третьей тканевой прокладкой (рис. 2, а, в); с разрезанной второй тканевой прокладкой (рис. 2, б, в) и разрезанными крайними тканевыми прокладками (рис. 3).

Рассмотрим семислойный пакет в сечении А-В, где тканевые прокладки 1,2,4 – целые, а тканевая прокладка 3 – разрезана на две 3I и 3II

под углом γ . Считаем, что толщина тканевой прокладки исчезающе мала, тогда по поверхностям разреза тканевой прокладки допускаем отсутствие связи через связующий слой, таким образом они свободны от касательных напряжений. Вырежем из семислойной пластины бесконечно малый элемент длиной dx (рис. 4) и составим уравнения равновесия для «жестких» слоев, заменив при этом воздействие связующих слоев на соединяемые между собой поверхности тканевых прокладок, действующими в них касательными напряжениями.



- а – вид сбоку с разрезанной 3-й тканевой прокладкой;
- б – вид сбоку с разрезанной 2-й тканевой прокладкой;
- в – вид сверху.

Рисунок 2 – Фрагмент соединения НСЗЛ-типа с разрезанными внутренними тканевыми прокладками:

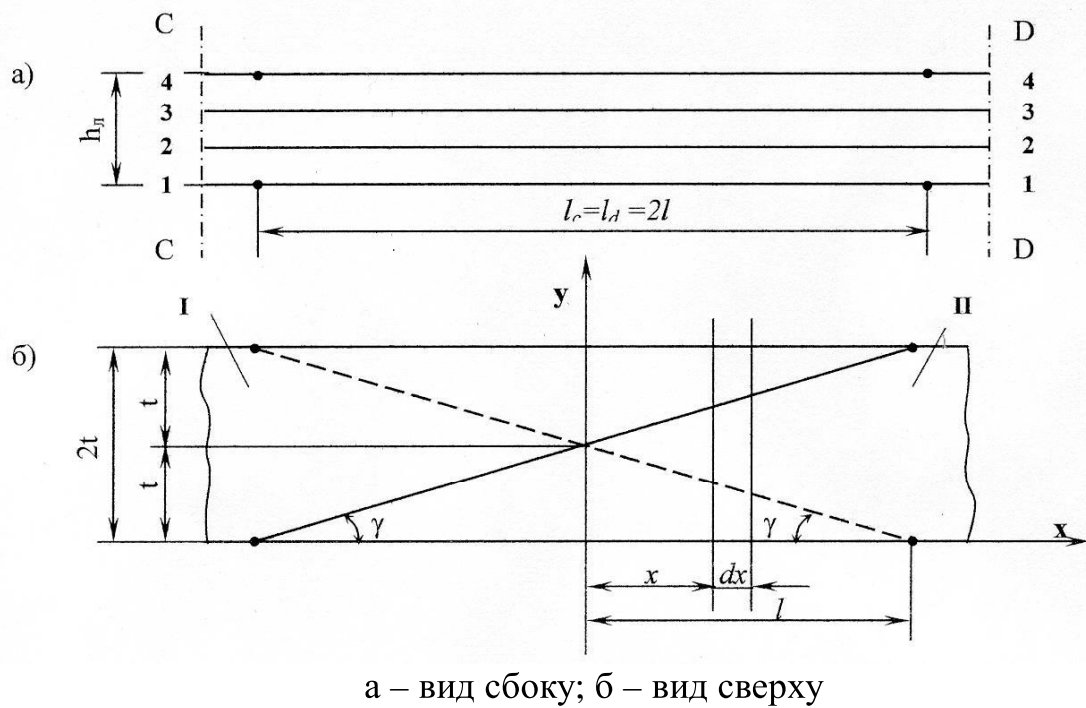


Рисунок 3 – Фрагмент соединения НСЗЛ-типа с разрезанными внешними (1-й и 4-й) тканевыми прокладками

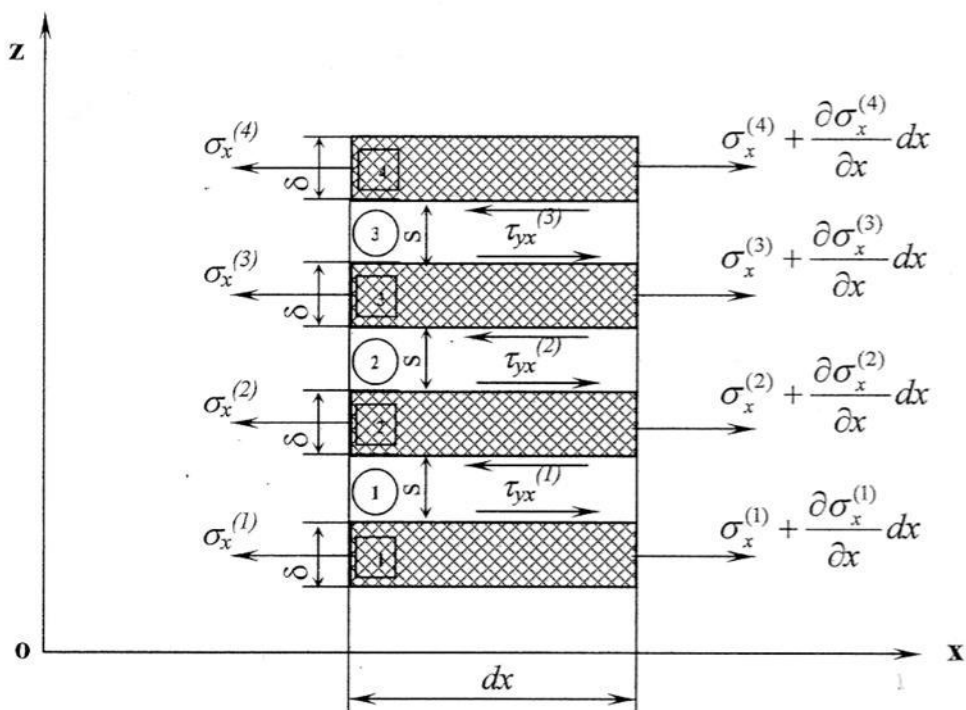


Рисунок 4 – Расчетная схема нагружения бесконечно малого элемента соединения НСЗЛ-типа

Составим уравнение равновесия 1-го «жесткого» слоя в сечении А-В

$$-\sigma_x^{(1)} \cdot 2t \cdot \delta + \sigma_x^{(1)} \cdot 2t \cdot \delta + \frac{\partial \sigma_x^{(1)}}{\partial x} dx \cdot 2t \cdot \delta + \tau_{yx}^{(1)} dx \cdot 2t = 0. \quad (1)$$

После преобразований получим

$$\delta \frac{\partial \sigma_x^{(1)}}{\partial x} + \tau_{yx}^{(1)} = 0. \quad (2)$$

Используя известные зависимости

$$\sigma_x^{(1)} = E \frac{\partial U}{\partial x}, \quad (3)$$

$$\tau_{yx}^{(1)} = G \frac{U_2 - U_1}{s} \quad (4)$$

и подставляя их в (2), получим дифференциальное уравнение второго порядка в перемещениях

$$BU_1'' - U_1 + U_2 = 0. \quad (5)$$

Аналогично составляя уравнение равновесия для 2, 3I, 3II и 4 «жестких» слоев соединения в сечении А-В получим систему дифференциальных уравнений в перемещениях

$$\begin{cases} AU_2'' + 2IU_1 - 4IU_2 + K_1(x)U_{3I} + K_2(x)U_{3II} = 0 \\ K_1(x)BU_{3I}'' - BU_{3I}' + K_1(x)U_2 - K_1(x)U_{3I} + K_1(x)U_4 = 0 \\ K_2(x)BU_{3II}'' + BU_{3II}' - 2K_2(x)U_{3II} + K_2(x)U_2 + K_2(x)U_4 = 0 \\ AU_4'' - 2IU_4 + K_1(x)U_{3I} + K_2(x)U_{3II} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Составим уравнение равновесия для 1, 2I, 2II, 3, 4 – «жестких» слоев соединения в сечении В-С и выполнив соответствующие преобразования, получим

$$\begin{cases} AU_1'' - 2U_1 + K_1(x)U_{2I} + K_2(x)U_{2II} = 0 \\ K_1(x)BU_{2I}'' - BU_{2I}' + K_1(x)U_3 - 2K_1(x)U_{2I} + K_1(x)U_1 = 0 \\ K_2(x)BU_{2II}'' + BU_{2II}' + K_2(x)U_3 + K_2(x)U_1 = 0 \\ AU_3'' + 2U_4 - 4U_3 + K_1(x)U_{2I} + K_2(x)U_{2II} = 0 \\ BU_4'' - U_4 + U_3 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Составляя уравнения равновесия для 1I, 1II, 2, 3, 4I, 4II – «жестких» слоев соединения в сечении С-Д и выполнив соответствующие преобразования, получим

$$\begin{cases} K_1(x)BU_{II}'' - BU_{II}' + K_1(x)U_2 - K_1(x)U_{II} = 0 \\ K_2(x)BU_{III}'' + BU_{III}' + K_2(x)U_2 - K_2(x)U_{III} = 0 \\ AU_2'' + 2U_3 - 4U_2 + K_1(x)U_{II} + K_2(x)U_{III} = 0 \\ AU_3'' - 4U_3 + 2U_2 + K_1(x)U_{4I} + K_2(x)U_{4II} = 0 \\ K_1(x)BU_{4I}'' - BU_{4I}' + K_1(x)U_3 - K_1(x)U_{4I} = 0 \\ K_2(x)BU_{4II}'' - BU_{4II}' + K_2(x)U_3 - K_2(x)U_{4II} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где

$$B = \frac{E \cdot \delta \cdot s}{G}, \quad (10)$$

$$A = 2\ell B, \quad (11)$$

$$K_1(x) = \ell - x, \quad (12)$$

$$K_2(x) = \ell + x. \quad (13)$$

Выводы.

Получена математическая модель в виде систем дифференциальных уравнений в перемещениях с переменными коэффициентами, описывающая напряженно-деформированное состояние соединения НСЗЛ-типа (на примере четырехпрокладочной конвейерной ленты). Исследование данной математической модели для различных условий позволит установить характер распределения напряжений в элементах соединения и определить его параметры для лент различной прочности.

Библиографический список

1. Колосюк Н.И. Требования безопасности к конвейерным лентам / Н.И. Колосюк, А.И. Самородов, В.В. Гребенюк // *Охрана труда*. – 1998. – №2. – С. 25-28.
2. Ихно С.А. Основные пути повышения качества стыковых соединений лент шахтных конвейеров / С.А. Ихно, А.Я. Беломестнов, В.В. Баштырев, В.А. Фифиндик, А.Я. Грудачев // *Уголь Украины*. – 2004. – №12. – С. 32-34.
3. Ястремский С.И. Проблемы шахтного конвейерного транспорта в ОАО «Воркутауголь» и пути их решения / С.Я. Ястремский и др. // *Горные машины и автоматика*. – 2001. – №4. – С. 23-35.
4. Кузьменко В.И. Основные принципы конструирования и разработка технических решений высокопрочных соединений лент ленточных конвейеров / В.И. Кузьменко // *Подъемно-транспортная техника*. – 2008. – №2(26). – С. 98-105.
5. Кузьменко В.И. Оценка несущей способности различных конструкций соединений лент ленточных конвейеров / В.И. Кузьменко // *Сборник научных трудов (вып. 27)*. Алчевск: ДонГТУ, 2008. – С. 47-56.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Финкельштейном З.Л.