

УДК 621.876.212

д.т.н. Корнеев С. В.,  
к.т.н. Доброногова В. Ю.,  
к.т.н. Коваленко О. А.,  
Захаров О. В.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОРЯДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ

*Исследовано напряженно-деформированное состояние многорядных механических соединений типа Flexco резиноканевых конвейерных лент в программном комплексе ANSYS Workbench для разработки рекомендаций по их совершенствованию. Полученные результаты исследования показали, что нагрузка в многорядном механическом соединении типа Flexco Rivet Hinged распределяется крайне неравномерно. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск конструктивных решений и выбор параметров МС, обеспечивающих равномерное нагружение всех элементов конвейерной ленты.*

**Ключевые слова:** конвейерная лента, механическое соединение, моделирование, напряженно-деформированное состояние, заклепка.

Эффективность работы ленточных конвейеров во многом зависит от технического состояния ленты, в первую очередь от состояния стыковых соединений. До 70 % простоев ленточных конвейеров связано с восстановлением стыковых соединений ленточных конвейеров. Более 50 % аварий на шахтах случаются из-за разрыва стыковых соединений ленточных конвейеров [1].

Согласно требованиям отраслевого стандарта, прочность механических соединений (МС) должна быть не ниже 60 % от агрегатной прочности ленты [2]. Однако практика показывает, что относительная прочность и долговечность механических стыков в среднем составляют: для заклепочных соединений внахлест соответственно 39 % и 13 %, для шарнирных стыков с крючкообразными скобами — 51 % и 19 %, с П-образными скобами — 77 % и 35 % [3]. Очевидно, наиболее совершенными являются шарнирные МС с П-образными скобами, из которых наибольшее распространение получили соединения типа Flexco.

Недостаточный, в большинстве случаев, запас прочности и долговечности МС резиноканевых конвейерных лент указывает на необходимость их исследования и раз-

работки более эффективных конструкций, а также оптимизации их конструктивных параметров.

**Целью работы** является исследование напряженно-деформированного состояния многорядных механических соединений типа Flexco резиноканевых конвейерных лент в программном комплексе ANSYS Workbench для разработки рекомендаций по их совершенствованию.

Геометрическая модель многорядного механического соединения типа Flexco, разработанная в программном комплексе ANSYS Workbench, представлена на рисунке 1.

Компьютерная модель ленты представляется в виде слоистой композиции из тканевых прокладок, резиновых прослоек и обкладок. Тканевые прокладки представлены упругими ортотропными телами, а резиновые прослойки и обкладки — упругими изотропными телами. Концы ленты соединяются набором шарнирных соединителей, способных поворачиваться относительно тросика, на котором они набираются. Основными элементами шарнира являются две абсолютно жесткие охватывающие ленту пластины и стягивающие их цилиндрические стержни, которые

имитируют соединители МС — заклепки или болты. В процессе заклепывания или затягивания соединителей в каждом шарнире обеспечивается некоторый «прессовый эффект», благодаря которому, по крайней мере, на начальном этапе эксплуатации стыков возникают силы сцепления металлических пластин МС с поверхностью ленты, что снижает нагрузки на соединители и прокладки ленты. На свободный конец ленты действует равномерно распределенная по всей ширине ленты растягивающая сила.

Принимается лента 800 EP-800/4-5+2, имеющая следующие характеристики: ширина ленты  $B = 0,8$  м; число тканевых прокладок  $n = 4$ , толщина  $\delta_n = 1,2$  мм; толщина резиновых прослоек (сквиджей)  $\delta_c = 0,5$  мм; модули упругости тканевой прокладки по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  —  $E_x = 3 \cdot 10^8$  Па,  $E_y = 6 \cdot 10^7$  Па,  $E_z = 6 \cdot 10^7$  Па; модули сдвига по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  —  $G_x = 2,85 \cdot 10^8$  Па,  $G_y = G_z = 1,14 \cdot 10^8$  Па; коэффициент Пуассона резины —  $\mu_p = 0,4$ , тканевой прокладки по основе —  $\mu_{тo} = 0,275$ , по утку —  $\mu_{тy} = 0,135$ ; прочность тканевых прокладок по основе  $[\sigma_x]$  — 166,7, по утку  $[\sigma_y]$  — 45,8 МПа.

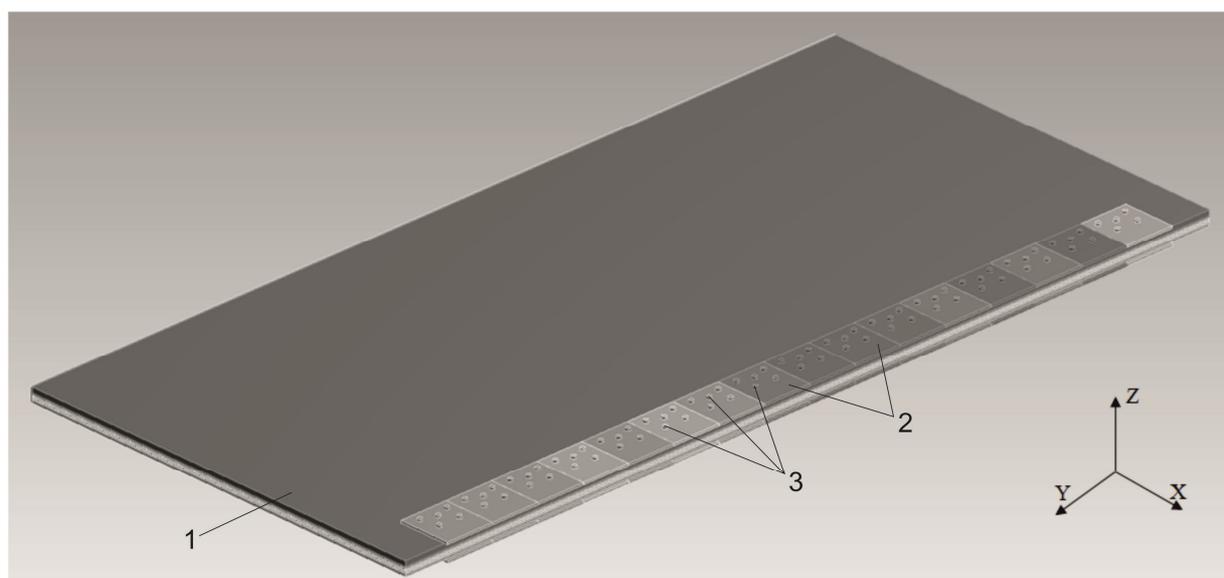
Резиновые обкладки и прослойки ленты представляются в виде двухпараметрической модели Муни — Ривлина, которая обычно используется для описания гиперупругих материалов. Модель определяется коэффициентами  $C10$  и  $C01$  в зависимости «напряжение — деформация». Значения коэффициентов получены расчётным путём на основании известных экспериментальных зависимостей «нагрузка — деформация». Установлено:  $C10 = 0,66$  МПа,  $C01 = 0,324$  МПа.

Тип механического соединения — RivetHingedR5  $\frac{1}{2}$  с тремя рядами заклепок (см. рис. 1) диаметром  $d = 4,2$  мм. В первом и третьем рядах — отсчет ведется от торца ленты — число заклепок  $z_1 = z_3 = 32$ , во втором ряду —  $z_2 = 16$ .

Натяжение ленты в направлении оси  $x$  принимается равным номинальному значению

$$S = Bn[\sigma_x] / n_{н.з}, \quad (1)$$

где  $n_{н.з}$  — нормативный запас прочности ленты.



1 — лента, 2 — пластина, 3 — заклепка

Рисунок 1 Геометрическая модель механического соединения конвейерных лент

В результате моделирования определяются нормальные и касательные напряжения на площадках, нормальных к осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  локальной системы координат.

На рисунках 2, 3 и 4 отражена картина распределения нормальных напряжений в прокладках ленты вокруг среднего по ширине ленты замка МС. В результате моделирования установлено, что все четыре прокладки нагружаются практически равномерно, наибольшей нагрузке подвергается третий со стороны торца ленты ряд заклепок (рис. 2). Максимальные напряжения  $\sigma_{x \max}$  до 56,7 МПа наблюдаются на поверхности отверстий в верхней прокладке.

Во втором ряду заклепок нагрузка так же, как и в первом, распределяется равномерно по всем четырем прокладкам. При этом максимальное напряжение составляет 43,4 МПа.

Наименьшей нагрузке подвержен первый ряд МС, в котором максимальное напряжение составляет 13,4 МПа.

Коэффициент концентрации напряжений и коэффициент запаса прочности ленты по основе необходимо определять для наиболее ослабленного отверстиями и в то же время наиболее напряженного сечения ленты в третьем ряду заклепок МС.

Коэффициент концентрации напряжений определяем по следующей формуле:

$$k_x = \sigma_{x \max} / \sigma_{x \text{ ср}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{x \text{ ср}}$  — расчетное среднее нормальное напряжение в сечении прокладки плоскостью  $yz$ , проходящей через оси отверстий.

Расчетное среднее нормальное напряжение в прокладке

$$\sigma_{x \text{ ср}} = \frac{S}{\delta_{\text{п}} n (B - z_1 d)}, \quad (3)$$

$$\sigma_{x \text{ ср}} = \frac{64}{1,2 \cdot 4(800 - 32 \cdot 4,2)} = 20 \text{ МПа.}$$

В данном случае  $k_x = 2,8$ .

Фактический коэффициент запаса прочности прокладки по основе

$$n_{x.z} = [\sigma]_x / k_x \sigma_{x \text{ ср}} = 166,7 / 2,8 \cdot 20 = 3. \quad (4)$$

Полученное в рассматриваемом типичном случае значение коэффициента запаса прочности прокладки значительно ниже нормативного значения запаса прочности  $n_{н.з}$ , который обычно принимается равным 8...10.

На рисунке 5 отображена картина распределения нормальных напряжений  $\sigma_y$  в прокладке ленты по утку. Прокладки, как и по основе, нагружаются практически равномерно. Максимальные напряжения  $\sigma_{y \max}$  возникают в верхней прокладке третьего ряда отверстий и составляют 40,9 МПа.

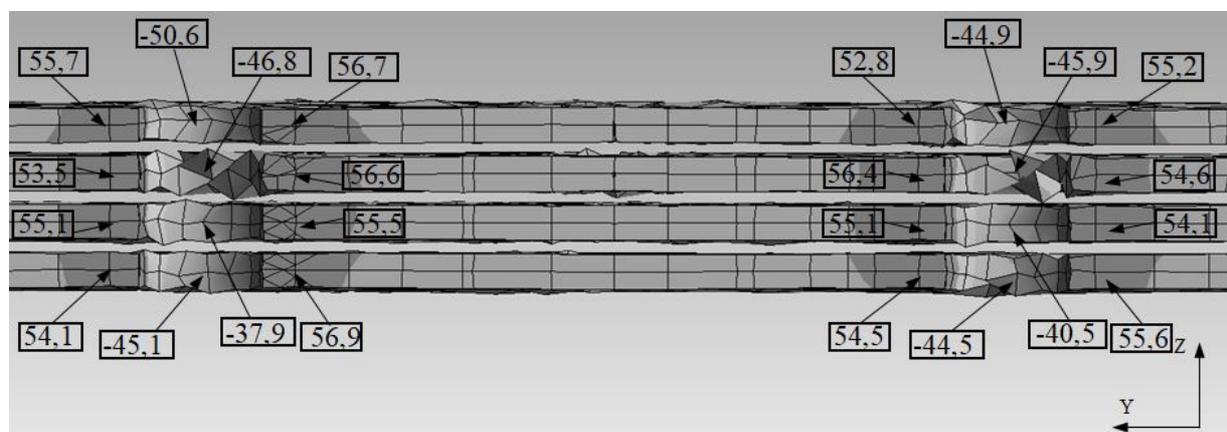
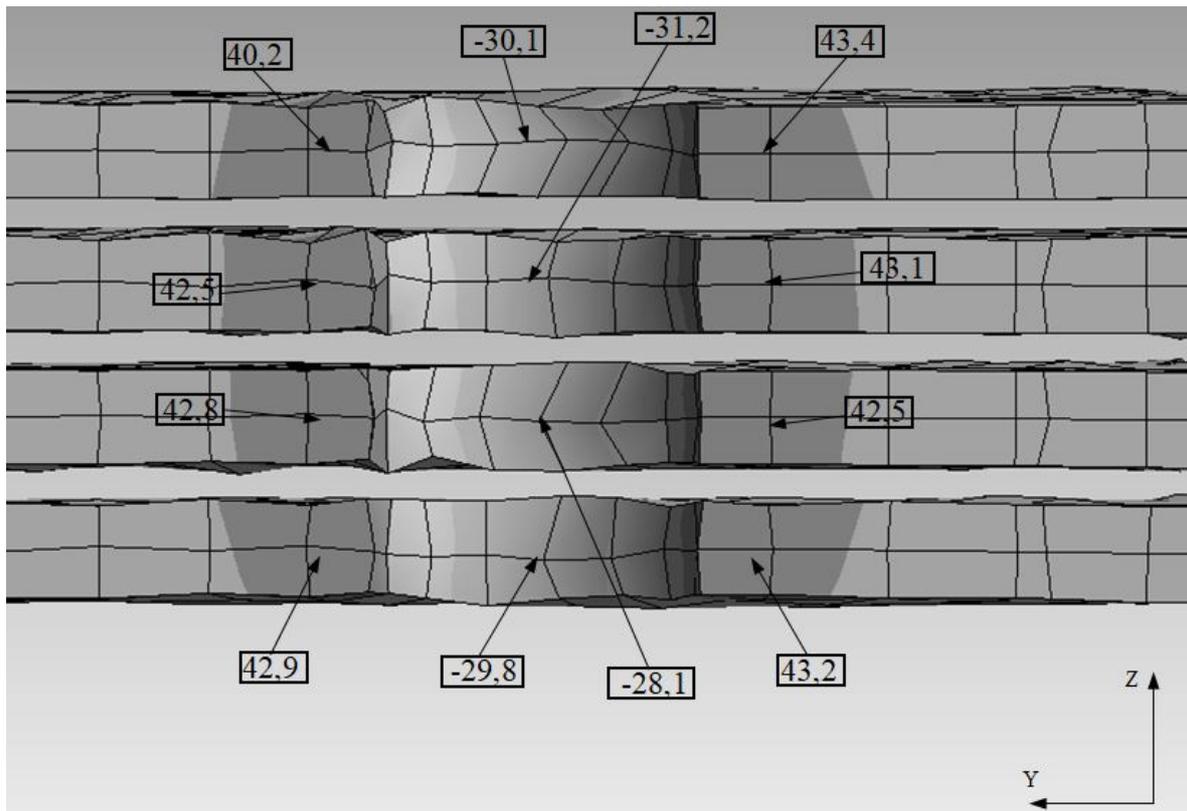
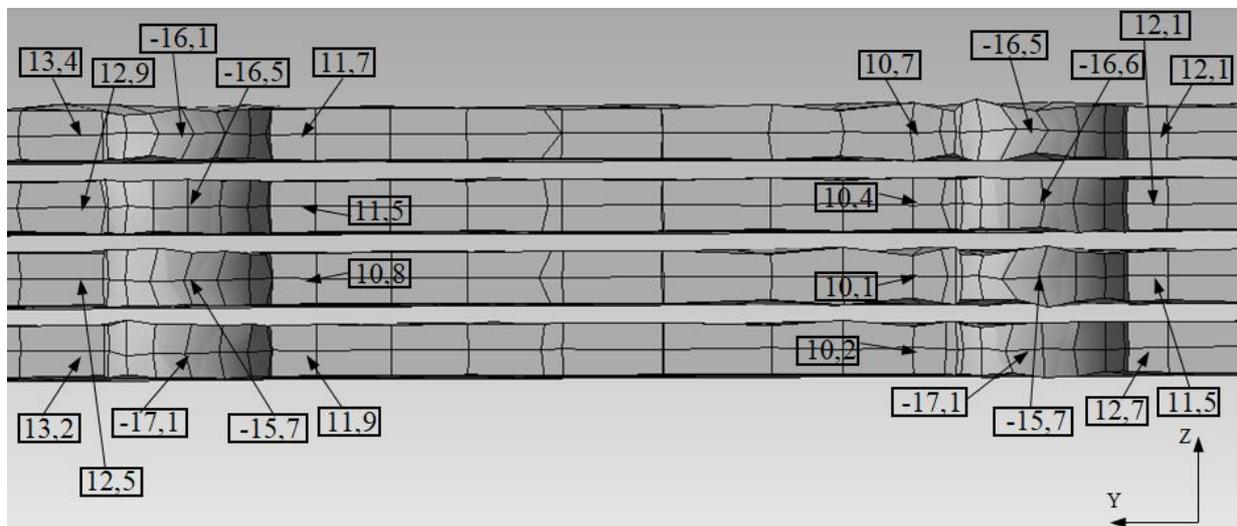


Рисунок 2 Распределение напряжений  $\sigma_x$  в ленте вокруг заклепок МС третьего ряда

Рисунок 3 Распределение напряжений  $\sigma_x$  вокруг заклепок МС второго рядаРисунок 4 Распределение напряжений  $\sigma_x$  вокруг заклепок МС первого ряда

Фактический коэффициент запаса прочности прокладки по утку в этом же сечении

$$n_y = [\sigma]_y / \sigma_{y \max} = 45,8 / 40,9 = 1,1. \quad (5)$$

Неравномерное распределение нагрузок между рядами МС снижает его прочность.

Выравнивание нагрузок путем изменения геометрических параметров стыка (диаметра и шага установки заклепок, расстояния между рядами заклепок и т. д.) позволит повысить прочность и долговечность МС.

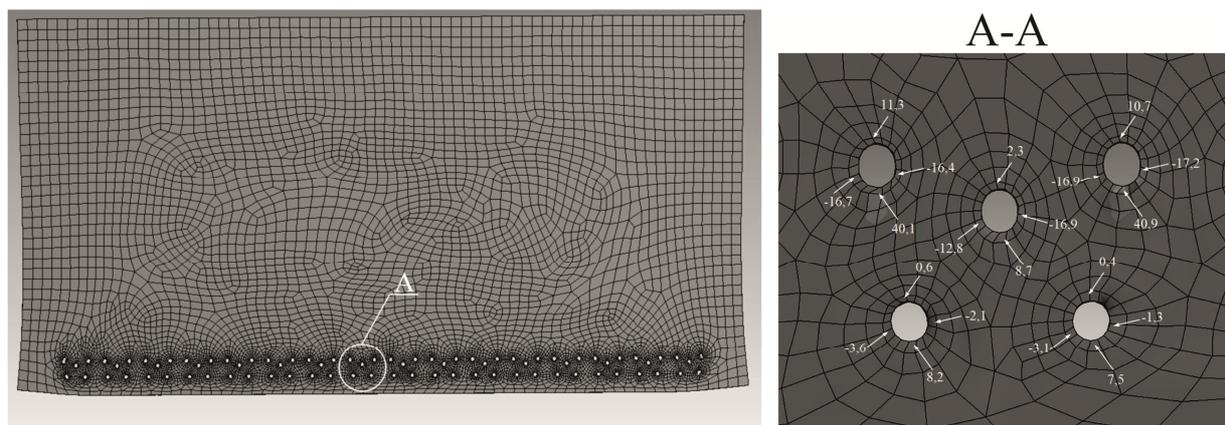


Рисунок 5 Распределение напряжений  $\sigma_y$  в верхней прокладке ленты вокруг центрального замка МС

Наибольшей нагрузке как по основе ( $\sigma_x$ ), так и по утку ( $\sigma_y$ ) подвергаются прокладки ленты вокруг заклепок третьего, со стороны торца, ряда МС. Максимальные напряжения возникают на поверхности отверстий в верхней прокладке ленты и составляют по основе 56,7 МПа, что примерно в 1,3 раза больше напряжений вокруг заклепок второго ряда и в 4 раза больше напряжений вокруг заклепок первого ряда. Напряжения по утку составили 40,9 МПа.

Фактический коэффициент запаса прочности прокладок по основе, рассчи-

тываемый для наиболее напряженного (слабейшего) сечения ленты, равен 3, а по утку — 1,1, что значительно ниже нормативных значений.

Полученные результаты исследования показали, что нагрузка в многорядном механическом соединении типа Flexco Rivet Hinged распределяется крайне неравномерно. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск конструктивных решений и выбор параметров МС, обеспечивающих равномерное нагружение всех элементов конвейерной ленты.

### Библиографический список

1. Киселев, Б. Р. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов [Текст] : учеб. пособ. / Б. Р. Киселев, М. Ю. Колобов. — И. : ИГХТУ, 2019. — 179 с.
2. ГОСТ Р 58205–2018. Определение прочности механических соединений резиноканевых конвейерных лент. Методы статических испытаний. — Введ. 2019-01-01. — М. : Стандартинформ, 2018. — 7 с.
3. Скворцов, А. М. Совершенствование стыковки конвейерных лент [Текст] / А. М. Скворцов, Б. А. Кроль, В. В. Шконда // Шахтный и карьерный транспорт. — М. : Неора, 1983. — Вып. 8. — С. 26–30.

© Корнеев С. В.  
 © Доброногова В. Ю.  
 © Коваленко О. А.  
 © Захаров О. В.

Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиМ ДонГТИ Денищенко П. Н., к.т.н., доц., зав. каф. ЭиТС СИПИМ ЛГУ им. В. Даля Петровым А. Г.

Статья поступила в редакцию 19.04.2022.

**Doctor of Technical Sciences Korneev S. V., PhD in Engineering Dobronogova V. Yu., PhD in Engineering Kovalenko O. A., Zakharov O. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR)**

**STUDYING THE STRESS-STRAIN STATE OF MULTI-ROW MECHANICAL JOINTS OF CONVEYOR BELTS**

*Studying the stress-strain state of multi-row mechanical joints of the “Flexco” type of fabric-ply conveyor belts in the ANSYS Workbench software package to develop recommendations for their improvement. The study results showed that the load in a multi-row mechanical joint of the “Flexco” Rivet Hinged type is distributed extremely unevenly. Further research should be aimed at finding constructive solutions and choosing MS parameters that ensure uniform loading of all elements of conveyor belt.*

**Key words:** conveyor belt, mechanical joint, modeling, stress-strain state.