

УДК 621.876.212.

В.И. Кузьменко, П.Н. Кирьязов

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБЧАТОГО СОЕДИНЕНИЯ ЛЕНТ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПРИВОДНЫМ БАРАБАНОМ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

**Введение.** Известно, что при движении в контуре ленточного конвейера лента и ее соединения испытывают различные нагрузки как по величине, так и по виду их приложения. Одним из характерных видов нагружения, существенно влияющим на напряженное состояние соединения, является одновременное нагружение растягивающими и изгибающими нагрузками с касательным приложением тягового усилия от приводного барабана к поверхности ленты, контактирующей с ним. При этом известно, что тяговое усилие от приводного барабана к ленте по длине дуги обхвата прикладывается неравномерно [1, 2].

**Постановка задачи.** Цель настоящей работы – определить напряжения в связующем слое соединения зубчатой конструкции при взаимодействии с приводным барабаном ленточного конвейера.

**Метод и результаты исследования.** Задача решалась в нелинейной (физической и геометрической) постановке методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса «Лира 9.4» [3].

Конечно-элементная расчетная схема (на примере четырехпрокладочной ленты с резинотканевым каркасом на основе ткани ТК-200) представляет собой девятислойную модель, состоящую из четырех слоев тканевых прокладок толщиной, равной  $\delta=1$  мм; трех резиновых прослоек, лежащих между тканевыми прокладками, толщиной  $s=1$  мм; двух слоев – рабочей и нерабочей резиновых обкладок.

Тканевые прокладки, связующий слой между соединяемыми поверхностями и резиновые прослойки между тканевыми прокладками моделировались физически нелинейными элементами с экспоненциальными зависимостями между напряжениями и деформациями « $\sigma$ - $\varepsilon$ ». Принятые в расчетах характеристики

резиновых прослоек и связующего слоя: модуль упругости  $E_p=10$  Н/мм<sup>2</sup>; коэффициент Пуассона  $\mu_p = 0,4$ . Характеристики тканевых прокладок: модуль упругости  $E_t=1000$  Н/мм<sup>2</sup>; коэффициент Пуассона  $\mu_t = 0,275$ . Конструктивные параметры соединения приняты следующие: длина  $l = 500$  мм; угол среза боковых граней зубьев равен  $45^\circ$ ; ширина зуба  $b = 50$  мм; толщина связующего слоя  $s = 1$  мм. Напряженно-деформированное состояние зубчатого соединения определялось для положения, когда стык полностью располагался на приводном барабане диаметром 400 мм, т.е. угол обхвата равен  $180^\circ$ .

Нагрузка прикладывалась как равномерно распределенная по поперечным сечениям тканевых прокладок в набегающей ветви ленты с интенсивностью  $20$  Н/мм<sup>2</sup>, в сбегающей ветви –  $5$  Н/мм<sup>2</sup>. Кроме того, по поверхности контакта ленты с барабаном приложена переменная касательная нагрузка. Упрощенный закон изменения касательной нагрузки по поверхности контакта ленты с приводным барабаном принят на основании работы [1]. На рисунке 1 показан принятый в расчетах линеаризованный закон распределения касательной нагрузки по поверхности контакта ленты с приводным барабаном.

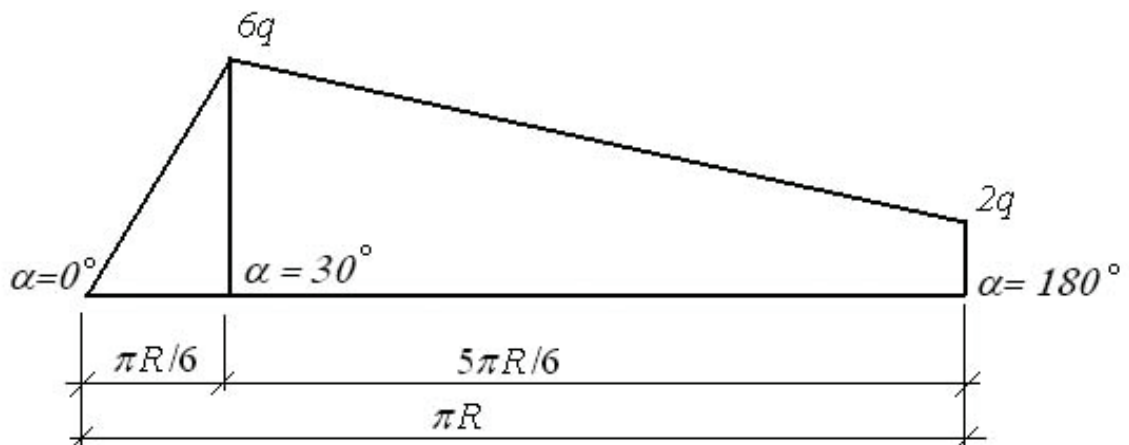


Рисунок 1 - Закон распределения касательной нагрузки по поверхности контакта

Равнодействующая касательной нагрузки на площадке шириной 1 мм и длиной, равной длине поверхности контакта, составляет 60Н, т.е. параметр нагрузки  $q = 0.025$ Н/мм<sup>2</sup>.

Общий вид конечно-элементной расчетной схемы зубчатого соединения при взаимодействии с приводным барабаном представлен на рис. 2 (где 1 – лента; 2 – приводной барабан; 3 – тяги,

пригибающие ленту к барабану), а на рис. 3 представлена деформированная схема соединения на приводном барабане.

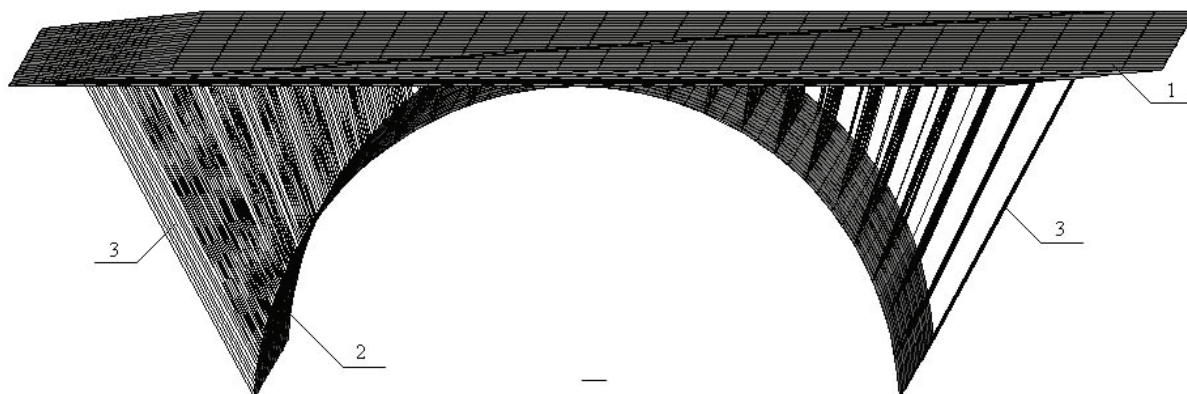


Рисунок 2 - Общий вид конечно-элементной расчетной схемы зубчатого соединения на приводном барабане.



Рисунок 3 - Деформированная схема зубчатого соединения на приводном барабане

Результаты исследования напряженного состояния связующего слоя зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном ленточного конвейера представлены на рис. 4-9 в виде графических зависимостей компонент нормальных ( $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$ ) и касательных ( $T_{xy}$ ,  $T_{yz}$ ,  $T_{xz}$ ) напряжений по длине соединения.

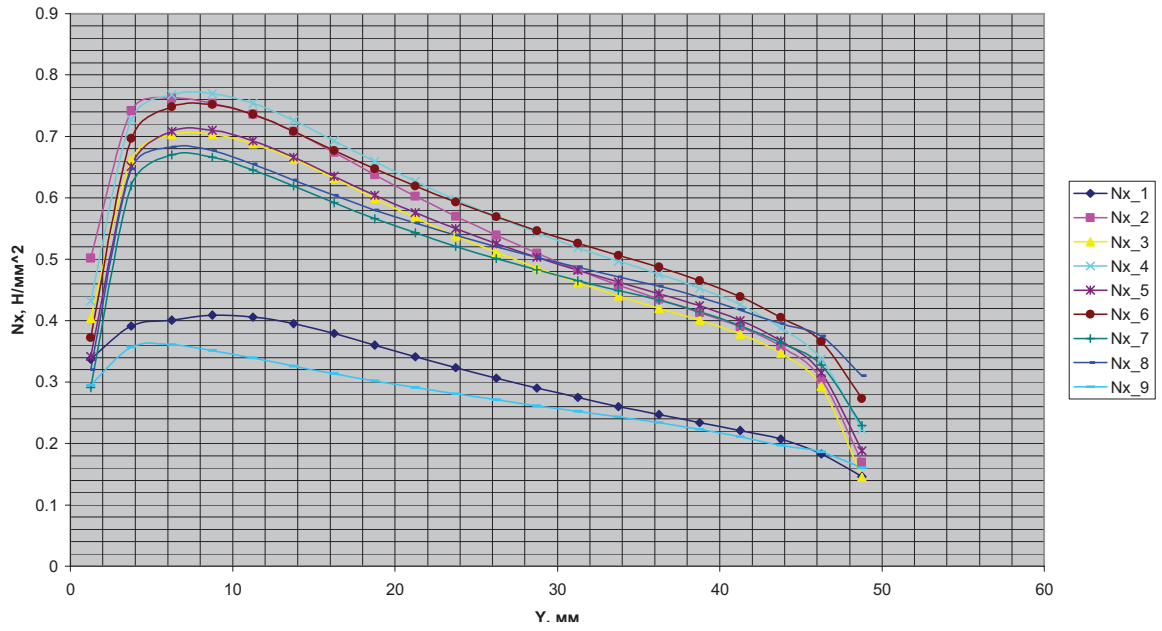


Рисунок 4 - Напряжения  $N_x$  в связующем слое зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном

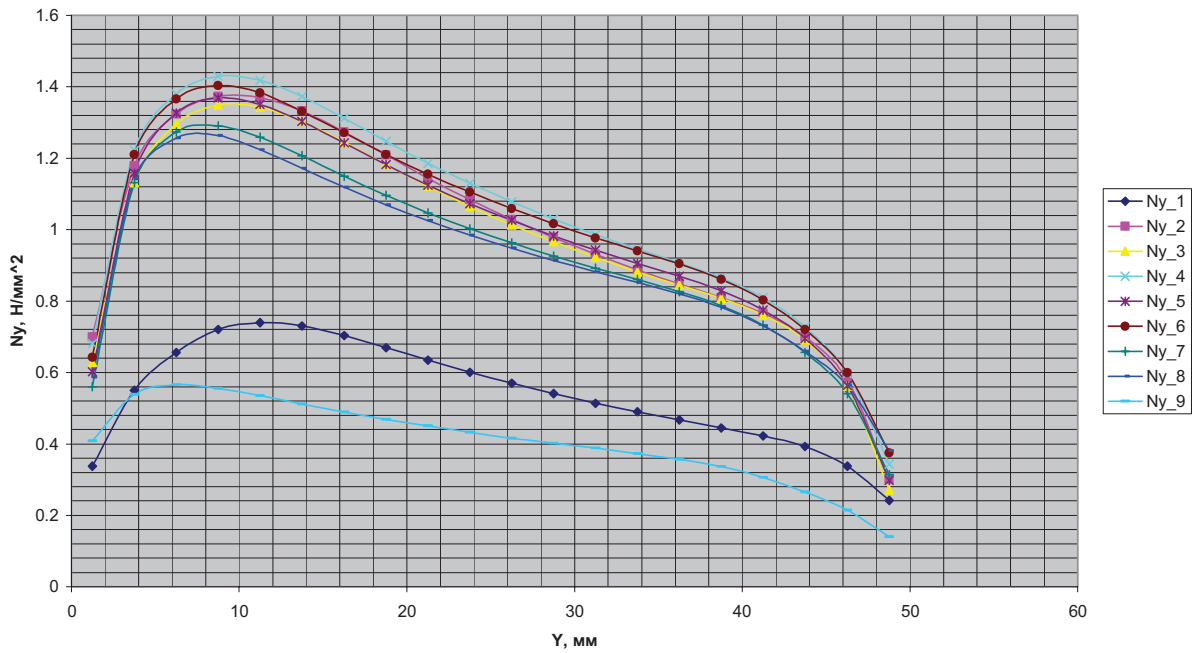


Рисунок 5 - Напряжения  $N_y$  в связующем слое зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном

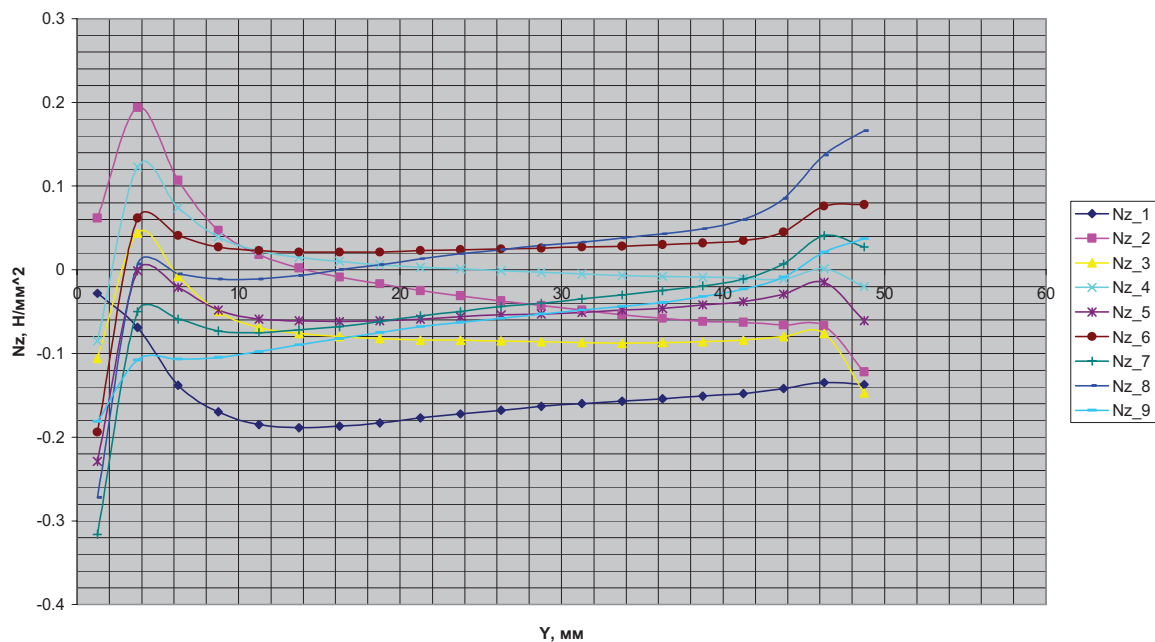


Рисунок 6 - Напряжения  $N_z$  в связующем слое зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном

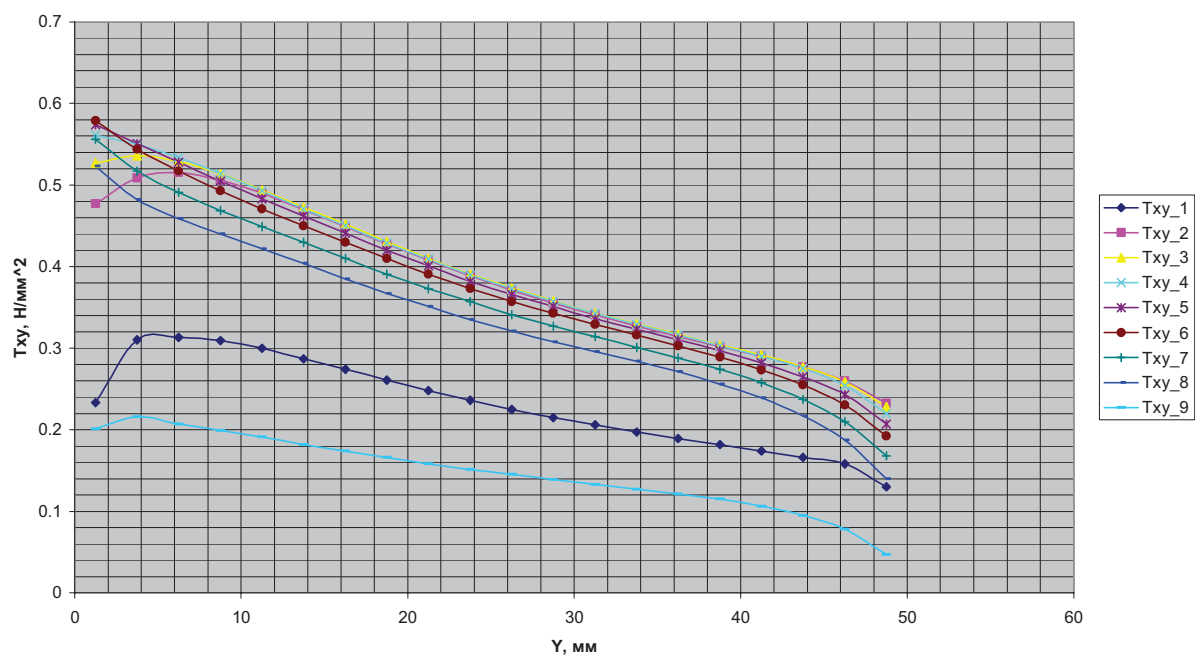


Рисунок 7 - Напряжения  $T_{xy}$  в связующем слое зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном

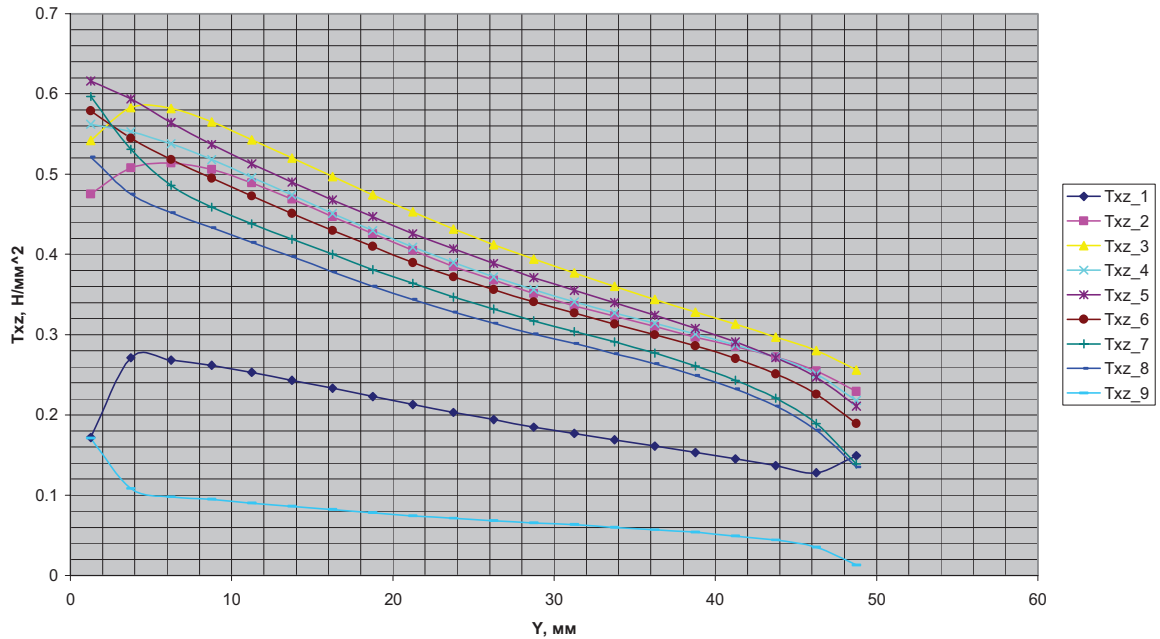


Рисунок 8 - Напряжения  $T_{xz}$  в связующем слое зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном

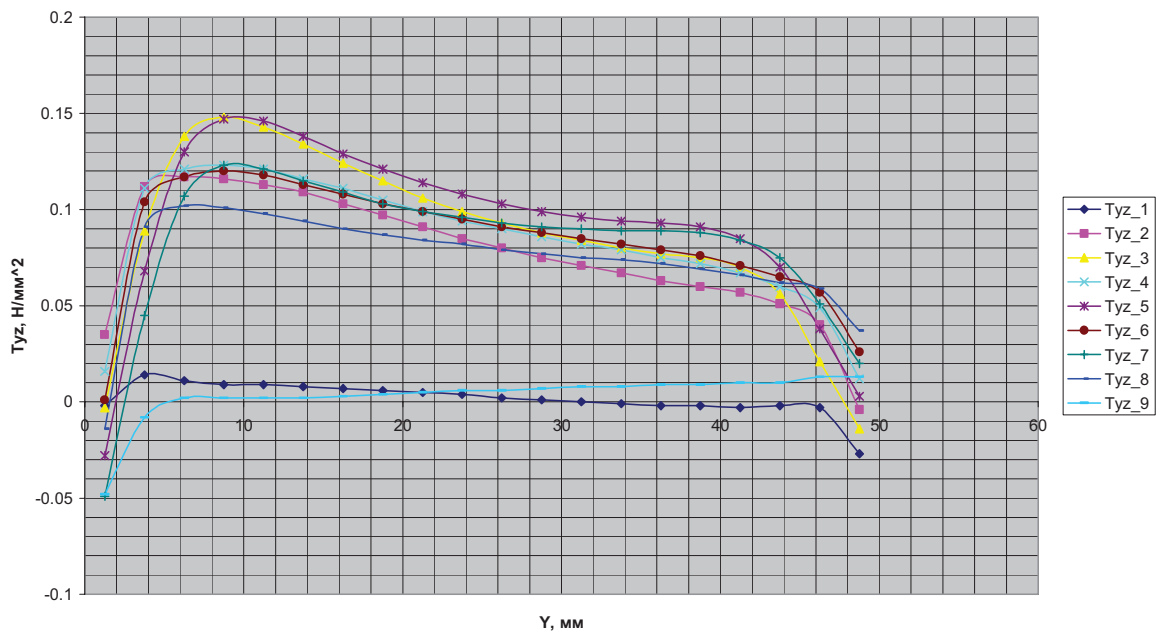


Рисунок 9 - Напряжения  $T_{yz}$  в связующем слое зубчатого соединения ленты при взаимодействии с приводным барабаном

Из сравнения компонент нормальных напряжений в связующем слое (рис. 4-6) видно, что максимальные значения напряжений возникают в зоне набегания на приводной барабан. На примере слоя №6:  $N_y = 1,4$  МПа,  $N_x = 0,76$  МПа,  $Z - N_z = 0,08$  МПа. При этом по толщине соединения напряжения изменяются незначительно. Наименее напряженными слоями являются слои №1 и №9. В

сбегающей ветви ленты с приводного барабана ленточного конвейера величины нормальных напряжений в связующем слое соединения значительно ниже:  $N_x = N_y = 0,38 \text{ МПа}$ ,  $N_z = 0,06 \text{ МПа}$ .

Компоненты касательных напряжений в связующем слое (рис. 7-9) имеют максимальные значения в зоне набегания ленты на приводной барабан на примере слоя №6:  $T_{xy} = T_{xz} = 0,85 \text{ МПа}$ ,  $T_{yz} = 0,12 \text{ МПа}$ . В точке сбегающей с приводного барабана эти напряжения значительно ниже и составляют  $T_{xy} = T_{xz} = 0,2 \text{ МПа}$ , а  $T_{yz} = 0,03 \text{ МПа}$ . Как и в случае нормальных напряжений, в слоях №2 – №8 по толщине соединения касательные напряжения отличаются друг от друга незначительно, а слои №1 и №9 также являются наименее нагруженными.

С целью сравнительного анализа напряженных состояний связующего слоя зубчатого соединения конвейерной ленты для различных случаев ее нагружения (растяжение на прямолинейном участке ленточного конвейера, растяжение с изгибом на неприводном барабане [4], растяжение с изгибом на приводном барабане) были определены эквивалентные напряжения по энергетической теории прочности. Графики эквивалентных напряжений приведены на рис. 10 (N04\_R – для случая растяжения стыка на прямолинейном участке, N04\_OB и N04\_PB – для случаев растяжения с изгибом, соответственно, на неприводном и приводном барабанах)

Сравнительный анализ этих зависимостей показывает, что максимальные эквивалентные напряжения в связующем слое зубчатого соединения имеют место при его взаимодействии с неприводным барабаном и составляют  $\sigma_{\text{экв.}(OB)} = 2,1 \text{ МПа}$ . При растяжении соединения на прямолинейном участке конвейера максимальные эквивалентные напряжения равняются  $\sigma_{\text{экв.}(R)} = 1,8 \text{ МПа}$ , а при взаимодействии с приводным барабаном  $\sigma_{\text{экв.}(PB)} = 1,7 \text{ МПа}$ .

**Выводы.** Полученные результаты исследований напряженного состояния зубчатого соединения при его взаимодействии с приводным барабаном ленточного конвейера позволили установить:

– по толщине соединения все компоненты напряженного состояния в связующем слое изменяются незначительно, при этом

наименее нагруженными являются слои у наружных поверхностях ленты;

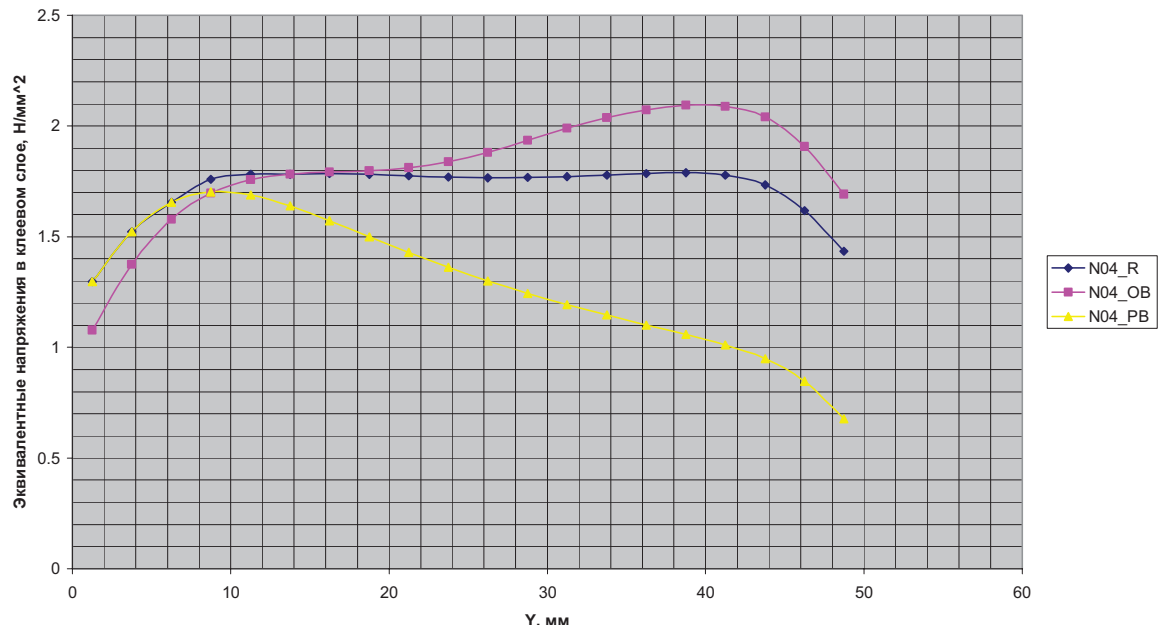


Рисунок 10 - Сравнение эквивалентных напряжений в связующем слое зубчатого соединения для различных расчетных схем его нагружения

– максимальные напряжения в связующем слое соединения имеют место в зоне набегания ленты на приводной барабан, которые в 2,4 раза превышают напряжения, возникающие в связующем слое в зоне сбегавшей ветви ленты;

–наибольшие эквивалентные напряжения в связующем слое зубчатого соединения ленты имеют место при взаимодействии с неприводным барабаном ленточного конвейера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.В. Некоторые вопросы физики работы ленточного конвейера /А.В. Андреев // Горные машины и автоматика. – М., Недра, 1967. – Вып. III. – С. 224-230.
2. Андреев А.В. Передача трением / А.В. Андреев – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 176 с.
3. Городецкий А.С. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций./ А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
4. Кузьменко В.И. Расчет напряженного состояния зубчатых соединений лент ленточных конвейеров при растяжении и изгибе на неприводном барабане / В.И. Кузьменко, П.Н. Кирьязов // Подъемно-транспортная техника.– 2008. – №3.

Получено 05.05.2008 г.