

УДК 621.867.2

Л.Н. Атакулов

ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РАДИУСА ПЕРЕХОДНОГО УЧАСТКА ЗАГРУЗОЧНОГО УЗЛА КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА С ПРИЖИМНОЙ ЛЕНТОЙ

Семинар № 20

Многие действующие карьеры угольных, рудных и нерудных месторождений СНГ и мира в целом в результате длительной и интенсивной разработки с понижением глубины более чем на 200 м (глубина некоторых карьеров превысила 500 м) перешли в категорию глубоких. В настоящее время эти карьеры обеспечивают добычу 90 % минерального сырья, извлекаемого открытым способом. Показательную группу глубоких карьеров, выделяющихся значительными объемами перемещаемой горной массы и спецификой горнотехнических и климатических условий составляют карьер «Мурунтау» Навоийского ГМК (Узбекистан); кимберлитовые карьеры и разрез «Нерюнгринский», Михайловский, Лебединский, Стойленский, Костомукшский, Оленегорский, Ковдорский, Качканарский и Коршуновский ГОКи (Россия), железорудные карьеры Кривбасса (Украина).

В этих условиях одним из целесообразных путей решения транспортных проблем является применение в качестве подъемных - крутонаклонных ленточных конвейеров, т.к. последние в большей степени снижают длину транспортирования и упрощают трассу. Крутонаклонные конвейеры с прижимной лентой для глубоких карьеров представляются наиболее

рациональными, так как они универсальны, способны работать под углами наклона до 90° , обеспечивать производительность до $15000 \text{ м}^3/\text{час}$ и иметь высоту подъема при современной прочности лент до 300 м.

Одним из наименее разработанных и сложнейших узлов крутонаклонного конвейера с прижимной лентой является переходной участок загрузочного узла конвейера, так как объемы горно-капитальных и инженерных работ на карьерах при установке конвейера в большой степени обусловлены его конструктивными размерами. Этот факт в значительной степени сдерживает создание и производства крутонаклонного конвейера с прижимной лентой в нашей стране.

Принципиальная схема крутонаклонного конвейера с прижимной лентой состоит, как правило, из горизонтальных или слабонаклонных загрузочного и разгрузочного участков, крутонаклонного участка и двух переходных – нижнего (от загрузочного участка к крутонаклонному) и верхнего (от крутонаклонного к разгрузочному).

На загрузочной переходной кри-вой груз удерживается только силой прижатия грузонесущей ленты (ко-торая в этом случае снимается с под-дергивающих ее трехроликовых опор) к прижимной ленте (на которой зеркально устанавливаются трехроли-

ковые опоры). На крутонаклонном участке конвейера грузовая ветвь вновь опирается на поддерживающие роликоопоры, и груз на ней удерживается давлением прижимной ленты и прижимных модулей, состоящих из нескольких прижимных роликов, расположенных определенным образом друг относительно друга. Похожая схема наблюдается при переходе разгрузочного участка.

Обзор литературных источников показал, что при определении радиуса переходной кривой в основном пользуются методами, применяемыми для упругих балок [1, 3, 4, 5].

Глубина и ширина желоба ленты значительно меньше длины переходной кривой, поддерживающие роликоопоры расположены близко друг к другу, поэтому можно считать, что нейтральная ось поперечного сечения конвейера изогнута по радиусу, рис. 1. Учет совместного действия изгибающего момента $M = \frac{EI}{R}$ (E - модуль

упругости ленты, I - момент инерции поперечного сечения ленты, R -радиус переходной кривой) и растягивающих усилий (натяжение на криволинейном участке S_{kp}) позволяет получить величины нормальных напряжений.

Грузонесущая лента при движении с грузом находится под действием изгиба в зоне растягивающих усилий, а прижимная – частично в сжимающих (в средней части), частично – в растягивающих (по краям). Так как натяжения лент на участках загрузки значительно меньше (максимальных) рабочих, перенапряжение грузонесущей ленты в этом режиме мало вероятно. Ограничивающим фактором для обоснования радиуса переходной кривой могут явиться только напряжения сжатия в прижимной ленте.

В режиме пуска или остановки конвейера, а также в порожнем режиме грузонесущая лента на криволинейном участке под действием натяжения с усилием прижимается к прижимной ленте и также как последняя может подвергаться – сжимающим, и растягивающим напряжениям. Кроме того, верхние и нижние слои ленты могут испытывать разнонаправленные усилия.

Для предотвращения перенапряжений в ленте суммарная нагрузка от изгиба и растяжения не должна превышать максимально допустимую для принятой ленты, S_{max} , и быть меньше определенного минимума. По данным публикаций, чтобы избежать перехода ленты в зону нулевого натяжения или даже сжатия, минимальное натяжение устанавливается равным $5H/mm$ ширины ленты (S_{min}) [5, 6].

Заменяя в выражении для суммарной нагрузки $[\sigma]_{sum} = \frac{S_{kp}}{F_l} \pm \frac{EY}{R}$, где

F_l – площадь поперечного сечения ленты, Y - расстояние от нейтральной оси до рассматриваемого участка, рис. 1], площадь поперечного сечения ленты произведением ширины ленты (B , мм) на число прокладок (i), а величину модуля упругости E через величину E_0 , динамический модуль упругости 1 мм ширины одной прокладки ленты, после преобразований можно получить величину радиуса для обеих зон

Для предотвращения максимальных напряжений на концах лент, считая расстояние от нейтральной оси до нижних волокон $Y' = 2B \sin \varphi / 9$, радиус кривой должен составлять

$$R \geq \frac{2B^2 E_0 i \sin \varphi}{9(S_{max} - S_{kp})}, \quad (1)$$

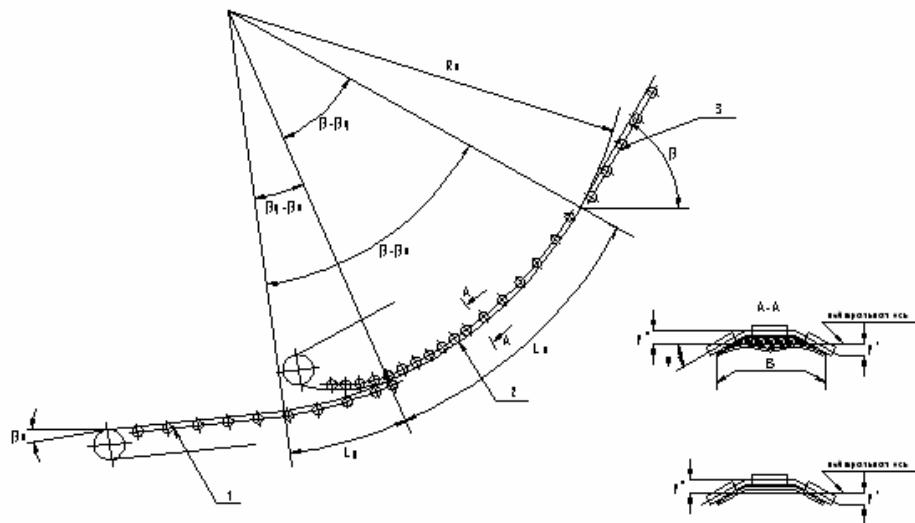


Рис. 1 Схема загрузочного узла конвейера: 1 – слабонаклонная часть, 2 – переходной участок, 3 – крутонаклонный участок

а для предотвращения минимальных натяжений в ленте, считая расстояние от нейтральной оси до верхних волокон $Y'' = (B \sin \varphi)/9$, радиус кривой должен составлять [4, 5]

$$R \geq \frac{B^2 E_0 i \sin \varphi}{9(S_{kp} - S_{min})} \quad (2)$$

Описанный метод определения переходного радиуса, предполагает ряд допущений, которые могут существенно исказить реальное напряженное состояние конвейерной ленты:

- во-первых, поперечная конфигурация лент принята строго по форме роликоопоры, но лента имеет определенную жесткость в поперечном направлении, и не может точно повторять форму роликоопоры, особенно в местах изгиба;

- во-вторых, на переходном участке конвейера ленты изогнуты не только в продольном, но и в поперечном направлении, что вызывает дополнительные напряжения, суммирующиеся с продольными;

- в-третьих, в расчете лента принята как изотропное тело, в действительности она ортотропна, причем у лент одной прочности, имеющих один и тот же продольный модуль, могут быть разные поперечные модули.

Решение таких задач аналитическим способом достаточно трудоемко и требует допущений способных исказить общую картину сил и напряжений, действующих на ленты.

Одним из эффективных методов решения таких задач можно считать моделирование напряженно-деформированного состояния ленты с использованием методов и программного обеспечения конечно-элементного анализа и рассмотрение напряженного состояния лент на переходном участке крутонаклонного конвейера с прижимной лентой в программном комплексе ANSYS.

По разработанным в системе *Mathcad* программам («Определение параметров кругонаклонного конвейера с прижимной лентой» и «Опреде-ление радиуса переходного участка кругонаклонного конвейера с при-жимной лентой») нами были определены основные параметры и радиусы

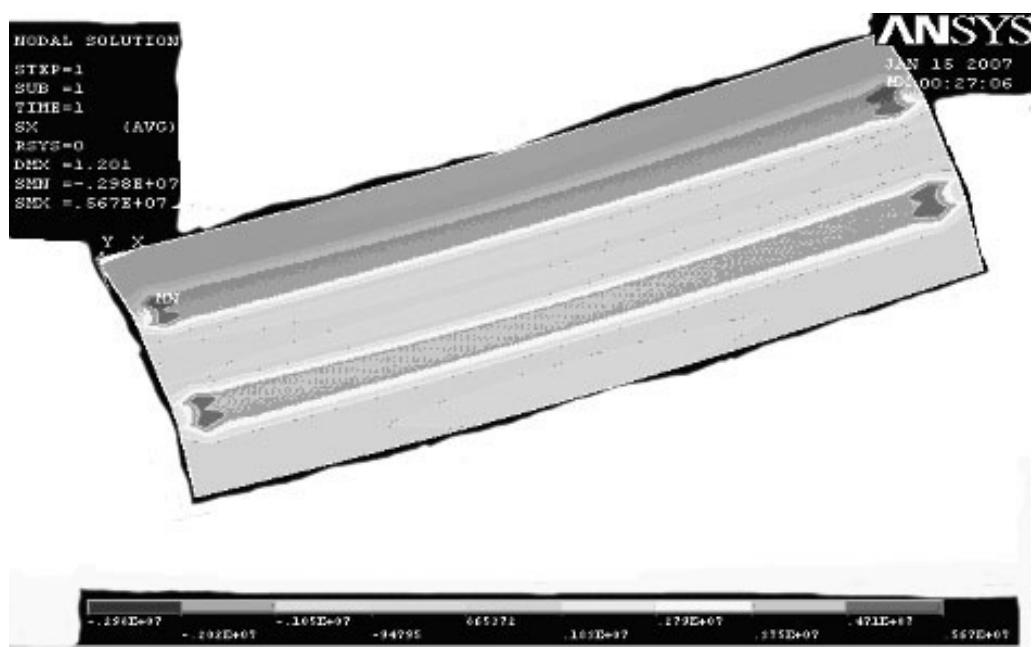


Рис. 2, а. Напряжения конвейерной ленты с натяжением 25 кН на внутренней стороне кривой переходного участка радиусом 25 м

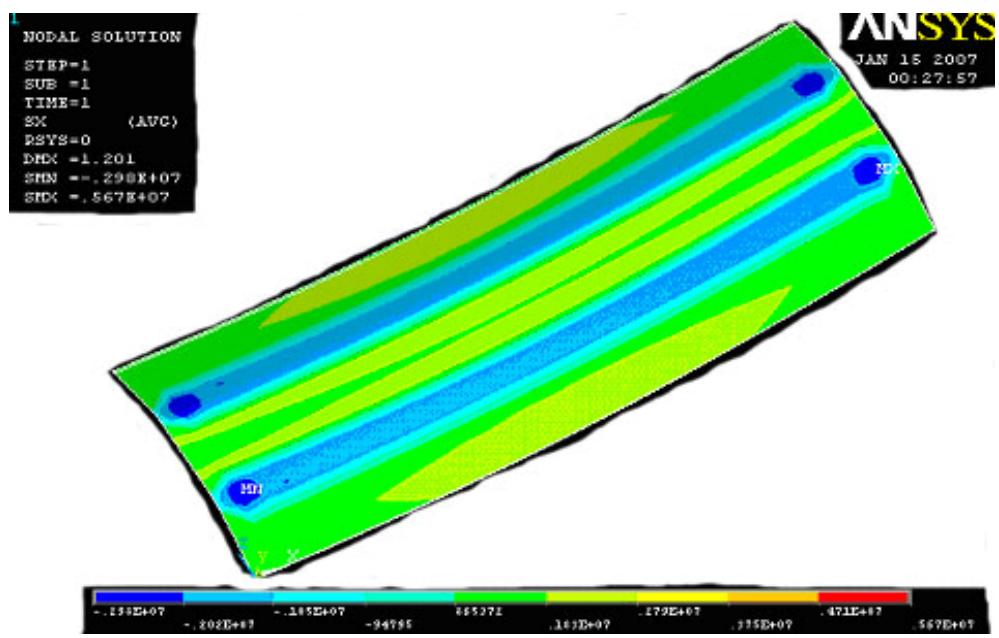


Рис. 2, б. Напряжения конвейерной ленты с натяжением 25 кН на внешней стороне кривой переходного участка радиусом 25 м

переходного участка конвейера, имеющего производительность $Q = 2000$ т/ч, транспортирующего насыпной груз плотностью $\gamma = 1.9$ т/ m^3 под углом подъема $\beta = 43^\circ$ на высоту $H = 100$ м [2]. Расчеты показали, ограничивающими являются радиусы переходного участка грузонесущей ленты, определенные из условия предотвращения минимальных напряжений в ленте.

Для перечисленных параметров конвейера расчетный радиус переходного участка составил примерно 25 м при длине переходного участка - 20 м и натяжении на переходном участке 25 кН. В соответствии с полученными данными была построена геометрическая модель ленты и в соответствии с конфигурацией ленты и условиями ее движения были заданы возможные перемещения ленты. Модель ленты принята ортотропной, так как нормальные деформации ленты различны по направлениям x и y .

Для конкретных значений плотности ленты, модулей упругости, толщины и коэффициента Пуассона получено напряженное состояние ленты. Модули упругости ленты в поперечном и продольном направлениях были определены экспериментально для ленты с соответствующими параметрами.

На рис. 2, а показана картина напряжений на внутренней, а на рис. 2, б - на внешней стороне переходного участка конвейерной ленты, изогнутой по радиусу в 25 м и натяжении 25 кН. Цвета шкал рисунка соответствуют определенным напряжениям в Па.

На рис. 2, а видно, что напряжения на внутренней стороне переходного участка конвейерной ленты (края и средняя части ленты) имеют зоны напряжения сжатия (светло голубой цвет), что недопустимо. На-

пряженя на внешней стороне переходного участка конвейерной ленты, рис. 2, б, также имеют ярко выраженные зоны сжатия в средней части (синий, голубой и светло голубой цвета) по величине напряжений почти в 2 раза большие, чем на внутренней стороне участка.

Только зоны, отмеченные зеленым тоном, имеют напряжения, превышающие напряжения в ленте, натянутой усилием S_{min} ($\sigma = 353$ кН/ m^2).

Рассмотрение распределения напряжений по толщине ленты также показывает, что края ленты практически по всей толщине испытывают напряжения растяжения за исключением узкой верхней полосы размером от долей миллиметра до 2 мм, где волокна ленты сжаты ($\sigma = -2020$ кН/ m^2).

На участке, основная часть которого изогнута в поперечном направлении по радиусу (размером 8 мм), напряжения в ленте по толщине плавно меняются от сжимающих на внутренней поверхности ленты ($\sigma = -2020$ кН/ m^2) до растягивающих ($\sigma = 3750$ кН/ m^2) на внешнем. Доля растягивающих напряжений, превышающих минимально допустимые, составляет примерно 70 %. На среднем участке ленты также существуют зоны, в которых имеются напряжения сжатия, недопустимые для ленты.

На основании анализа напряжения в ленте можно сделать вывод, что полученная расчетом величина радиуса переходной кривой, не обеспечивает повсеместное отсутствие перенапряжений в ленте. Избежать напряжений меньших допустимых можно несколькими способами.

Во-первых, увеличением натяжения на переходном участке. Увеличение натяжения на переходном участке повлечет за собой, естественно, уве-

личение натяжения всей ленты. По- пряженного состояния целесообразно этому такой способ изменения на-

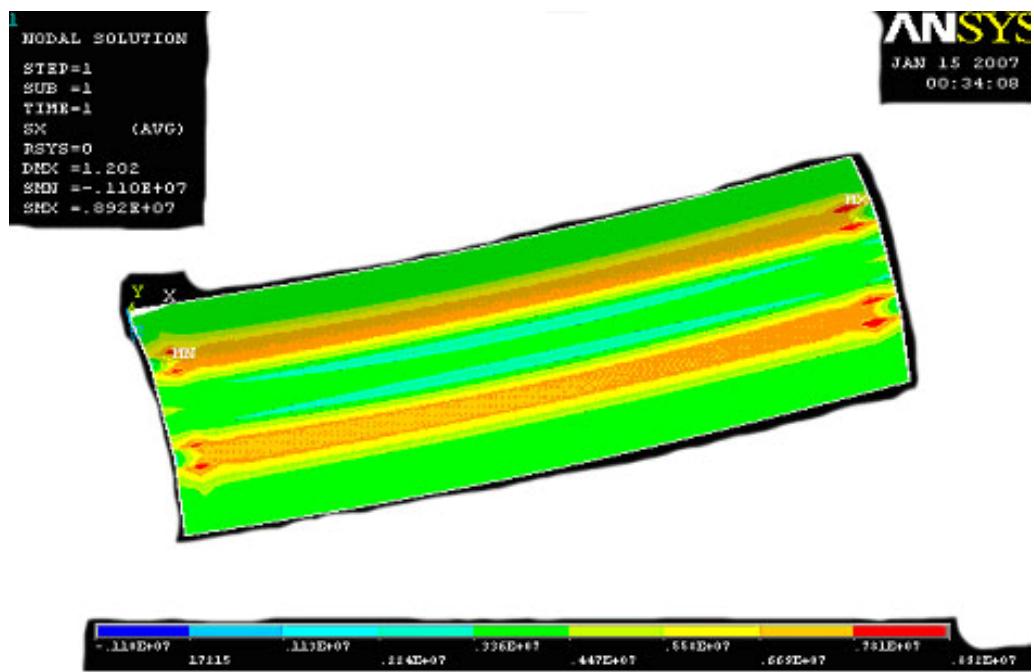


Рис. 3, а. Напряжения конвейерной ленты с натяжением 50 кН на внутренней стороне кривой переходного участка радиусом 25 м.

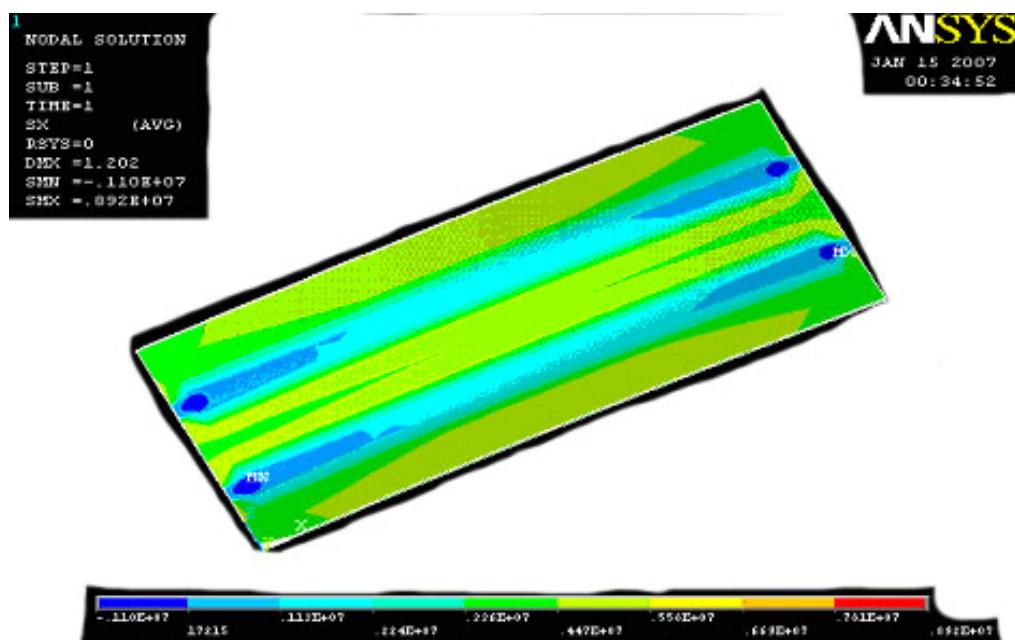


Рис. 3, б. Напряжения конвейерной ленты с натяжением 50 кН на внешней стороне кривой переходного участка радиусом 25 м

применять, если лента имеет запас прочности несколько больше номинального.

Во-вторых, можно увеличить радиус переходной кривой, что приведет к увеличению длины переходного участка.

В-третьих, возможна комбинация этих двух способов: увеличение натяжения на переходном участке в пределах, допускаемых прочностью ленты, и (если этого будет недостаточно) дальнейшее увеличение радиуса переходной кривой.

Нами было исследовано напряженное состояние ленты при дискретном увеличении натяжения на переходном участке.

Картина распределения напряжений во всех случаях, по существу, оставалась аналогичной рассмотренной, но величины и области распространений напряжений меньше минимальных существенно уменьшились. Полностью ликвидировать напряжения сжатия удается только при увеличении натяжения на переходном участке до 50 кН. (рис. 3)

Из рис. 3 видно, что внутренняя и внешняя стороны переходного участка при натяжении 50 кН имеют напряжения выше минимально допустимых более чем в 1.5 раза.

Этот факт подтверждается и при рассмотрении напряженного состояния по поперечному сечению ленты.

Но увеличение предварительного натяжения на 25 кН не всегда возможно (в рассматриваемом примере это возможно), так может привести к необходимости принимать более прочную ленту. Рассмотрение напряженного состояния ленты при последовательном увеличении радиуса переходного участка при расчетном натяжении в 25 кН показало, только при увеличении радиуса до 35 м напряженное состояние ленты удовлетворяет поставленным требованиям.

Если возможность увеличения радиуса переходной кривой ограничена, можно варьировать натяжением и радиусом переходной кривой одновременно. Так, при увеличении натяжения ленты на переходном участке сверх расчетного значения на 10 кН напряженное состояние ленты может удовлетворять требованиям при радиусе переходной кривой 30 м.

На рис. 4 показаны зависимости радиусов переходной кривой, полученных в соответствии с формулами (1 и 2) и при моделировании напряженного состояния ленты с использованием методов и программного обеспечения комплекса ANSYS для конвейера с производительность конвейера $Q = 2000 \text{ т/ч}$, насыпной плотностью груза $\gamma = 1.9 \text{ т/м}^3$, угол установки конвейера $\beta = 43^\circ$, высота подъема конвейера $H = 100 \text{ м}$ и скорость ленты конвейера $V = 3.15 \text{ м/с}$.

На рис. 4 первые 3 кривые (пунктирные) – зависимость радиуса переходного участка от натяжения, полученная в программе MathCAD, а вторые 3 кривые (сплошные) – зависимость радиуса переходного участка от натяжения, полученная в программном пакете Ansys.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что допустимые радиусы, полученные с использованием методов и программного обеспечения комплекса ANSYS, превышают рассчитанные по методам, применяемым для упругих балок примерно на 40 %.

Таким образом, при моделировании напряженного состояния ленты с использованием методов и программного обеспечения комплекса ANSYS, используя методику, разработанную на кафедре «Горная механика и транспорт» Московского государственного горного университета, можно обосновать радиус переходного

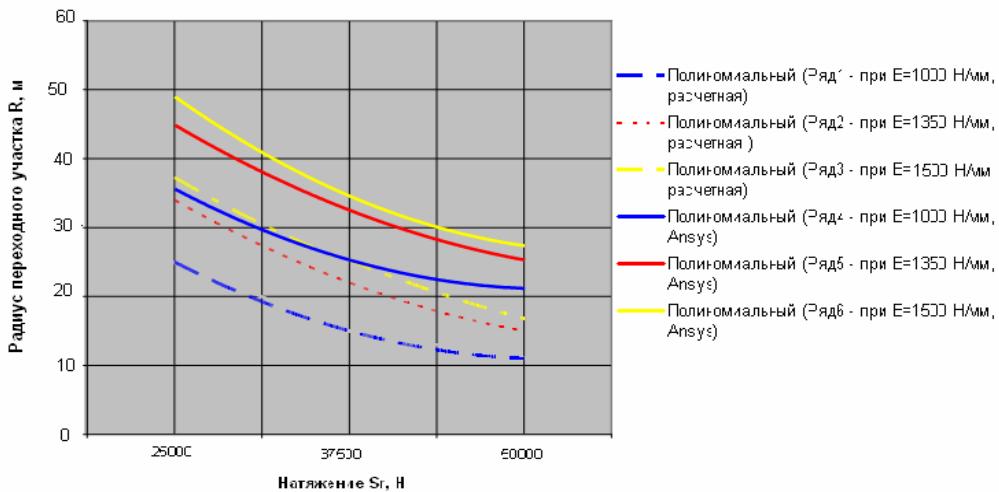


Рис. 4. Зависимость радиуса переходного участка кругонаклонного конвейера от натяжения для лент с различными модулями упругости

участка кругонаклонного конвейера с прижимной лентой для различных условий эксплуатации, с учетом

принятых в мировой практике требований к напряженному состоянию ленты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Картавый А.Н. Математическая модель переходного участка кругонаклонного конвейера с прижимной лентой. Сб. докладов на "4th International Symposium on Mine Haulage and Hoisting". Горно – геологический факультет Белградского университета, Югославия, 1999.
2. Шешко Е.Е., Картавый А.Н. Substantiation of energy and material consumption of sandwich belt high angle conveyor with using of computers. Доклад на 2-м региональном Симпозиуме по применению компьютеров в горной промышленности, АРСОМ, М.1997.
3. Шешко Е.Е., Атакулов Л.Н. Parameters of transitional section of high angle sand-
- wich belt conveyors. J. Transport & Logistika, №3, 2005
4. Dos Santos J.A. Sandwich Belt High Angle Conveyors – HAG Evolution to Date. J. Bulk solids handling, Vol. 6, № 2, USA, 1986.
5. Dos Santos J.A. Sandwich Belt High Angle Conveyors According to the Expanded Conveyor Technology. J. Bulk Solids Handling, Vol. 20, № 1, USA, 2000.
6. Belt Conveyors for Bulk Materials, prepared by the Engineering Conference of the Conveyor Equipment Manufacturers Association, Fourth edition, 1994. ГИАБ

Коротко об авторе

Атакулов Л.Н. – аспирант, кафедра «Горная механика и транспорт», Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 20 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.И. Галкин.