

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ
НАМОТКИ РЕЗИНОТРОСОВОГО КАНАТА В БОБИННОМ
ПОДЪЕМЕ**

Наведено результати дослідження напружено-деформованого стану багат шарової намотки гумотросового каната в бобинному підйомі. В них показано фактори, що впливають на багат шарову намотку гумотросового каната.

**THE RESULTS OF THE RESEARCH OF INTENSE-DEFORMED
CONDITION OF MULTILAYERED WINDING OF THE RUBBER-ROPE
TAPE IN THE BOBBIN BODY OF WINDING**

Here are submitted the results of elaboration research of intense-deformed condition of multilayered winding of the rubber-rope tape in the bobbin body of winding. In them factors which influence multilayered winding the rubber-rope are shown.

В трудах специалистов горного дела и проектировщиков институтов «Кривбасспроект», «Укрگیпроруда» обоснована эффективность использования скиповых подъемников грузоподъемностью более 100 т для глубоких карьеров и шахт. Выпускаемые подъемные машины не обеспечивают такую грузоподъемность. В трудах Л.В. Колосова и его последователей обосновано создание мощных подъемников на базе резинотросового каната (РТК) бобинных и со шкивами трения. В настоящее время по заданию института «Укрگیпроруда» в Национальном горном университете проработан проект 150 тонного клетового подъемника для выдачи автосамосвалов на дневную поверхность карьера, одним из вариантов которого было использование бобинного подъемника с РТЛ-5000. Поэтому создание мощных подъемников, в том числе бобинных, для решения транспортных проблем глубоких карьеров и шахт является актуальной технической задачей.

Многослойная намотка широко используется при производстве композиционных материалов, химических волокон, бумаги, магнитной ленты, киноплёнки, в электро- и радиотехнике, текстильной промышленности и т.д. Однако существующие теории намотки нитки и изотропной ленты непригодны к намотке резинотросового каната вследствие особенностей его строения.

Прикладные теории многослойных анизотропных оболочек непригодны для решения рассматриваемого вопроса из-за специфики нагрузки и условий закрепления тела наматывания в отличие от типовых многослойных оболочек, например, баллонов шин.

Известны также подходы Ю.М. Тарнопольского и Б.С. Ковальского [1, 2], недостатки которых состоят в том, что многослойная намотка рассматривается как одномерная задача. При этом не учитывается зависимость жесткостных характеристик слоев намотки от общего числа слоев и места расположения слоя в намотке, а также допуская сжатие троса.

Конструкция РТК отличается волокнистой структурой, состоящей из материалов с существенно различными физико-механическими свойствами, что затрудняет создание математической модели тела намотки.

Нами разработана модель напряженно-деформированного состояния многослойной намотки, как система дискретно надеваемых колец [3]. Параметры указанной модели:

- коэффициент стесненности $f_{i,j}$ учитывает краевой эффект при контакте резинокросовой ленты с поверхностью органа намотки [4];

- количество витков трения i_{mp} – от одного и более, но по правилам безопасности рекомендуется не менее трех [5];

- соотношение D/d . По правилам безопасности [5] допускается $D/d \geq 80$;

- закон изменения нагрузок χ_j . На рис. 1 показано изменение нагрузок для различных значений фактора L_{np}/H , соответствующих подъему грузов с малых, средних и больших глубин, т.е. глубина подъема определяется как часть от прочной длины каната [6], а 0 и 1 соответствуют крайним положениям сосуда;

- общее количество витков N ;

- коэффициент анизотропии ϖ характеризуется отношением модулей упругости в направлении намотки E_θ и в радиальном направлении E_r , [1]. Для существующих резинокросовых лент коэффициент анизотропии – в диапазоне $58 \leq \varpi \leq 65$.

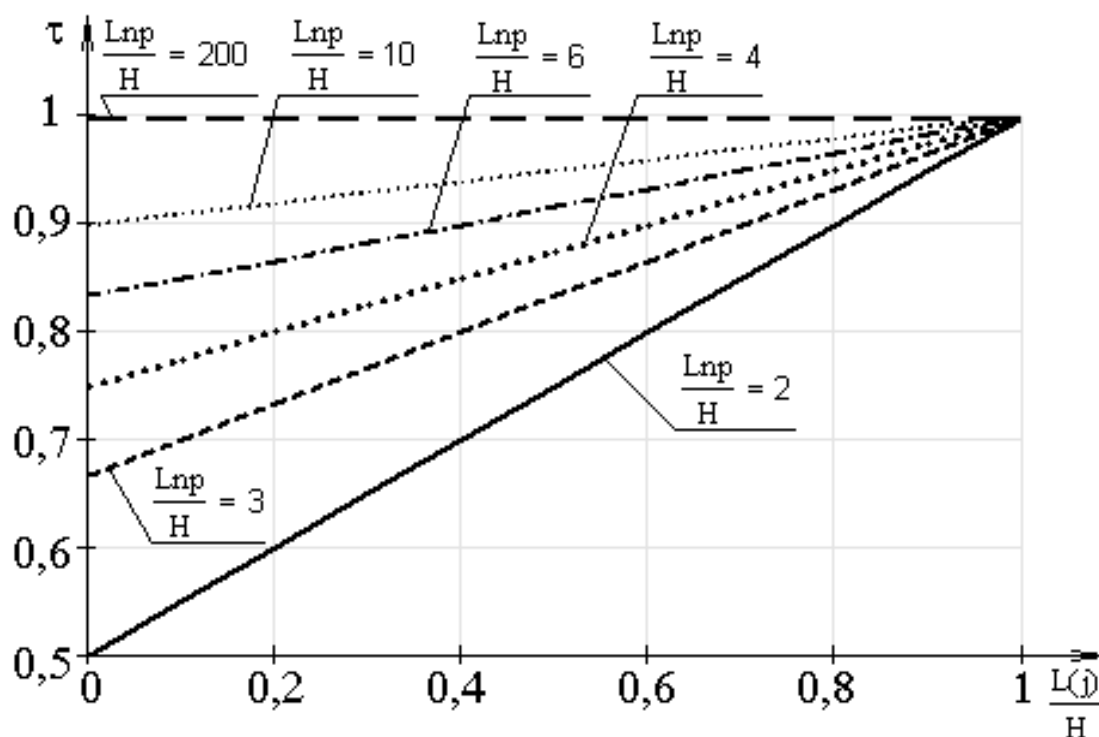


Рис. 1 – Влияние фактора L_{np}/H на изменение нагрузок

Цель работы – определение влияния перечисленных выше параметров на напряженно-деформированное состояние многослойной намотки РТК шахтной подъемной установки.

На рис. 2 показано влияние на нагрузку в теле намотки коэффициента увеличения радиальной жесткости i -го витка. Как видно из графиков, игнорирование этого коэффициента вызывает занижение расчетных нагрузок до 30 %.

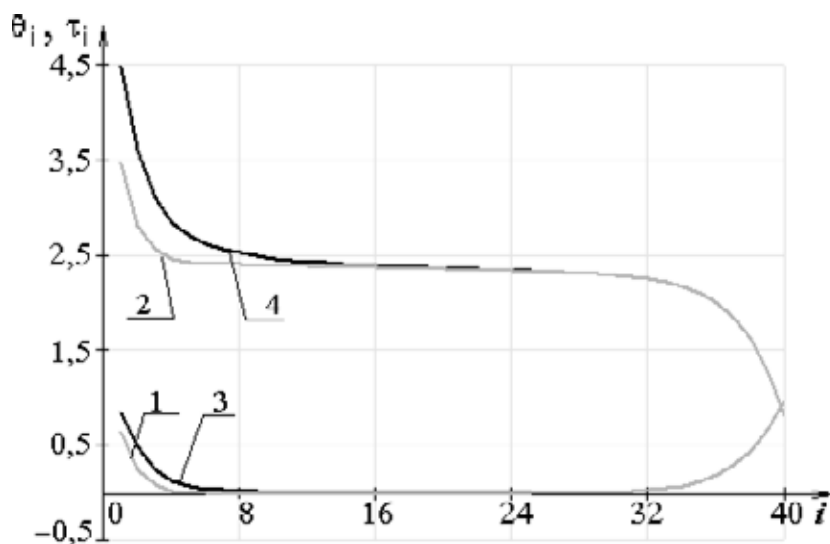


Рис. 2 – Сравнение нагрузок в теле намотки: натяжение и давление соответственно без учета (1 и 2) и с учетом (3 и 4) коэффициента стесненности

Влияние стесненности сводится к снижению радиального перемещения в первых витках (рис. 3). В нестесненном состоянии радиальное перемещение резко возрастает, что приводит к аналогичному увеличению радиального давления на бобину. При стесненном состоянии в первых витках радиальная деформация средней части равна 2,3 и снижается до 1,1, а коэффициент поперечной жесткости растет от 1 до 4.

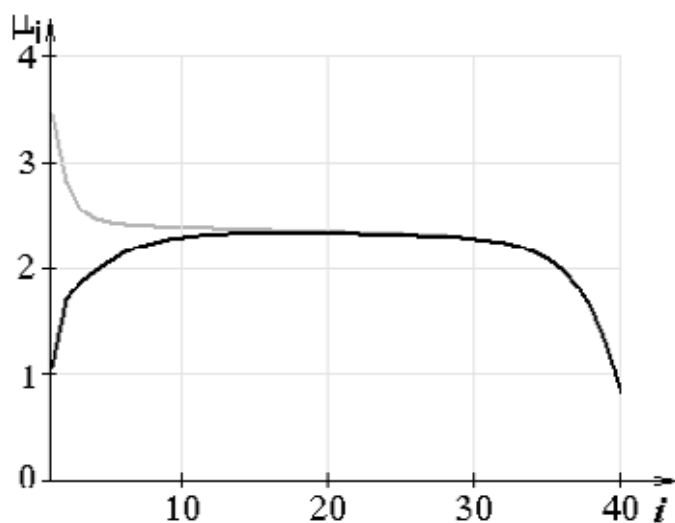


Рис. 3 – Сравнение приведенных расширений тела намотки без учета и с учетом коэффициента увеличения радиальной жесткости

Под приведенным расширением понимается отношение реального расширения слоя к возникшему расширению при намотке первого слоя на смазанный барабан (силы трения отсутствуют).

Далее продемонстрировано влияние количества витков трения $i_{mp} = 0; 3; 6$ на нагрузки и приведенное расширение тела намотки. Из рис. 4 видно, что при применении витков трения в ленте возникают продольные усилия сжатия. Наличие или отсутствие витков трения воздействует на приведенное расширение первого слоя (рис. 5). Так, без витков трения $\mu = 1$, а при $i_{mp} = 3$ $\mu = 0,7$.

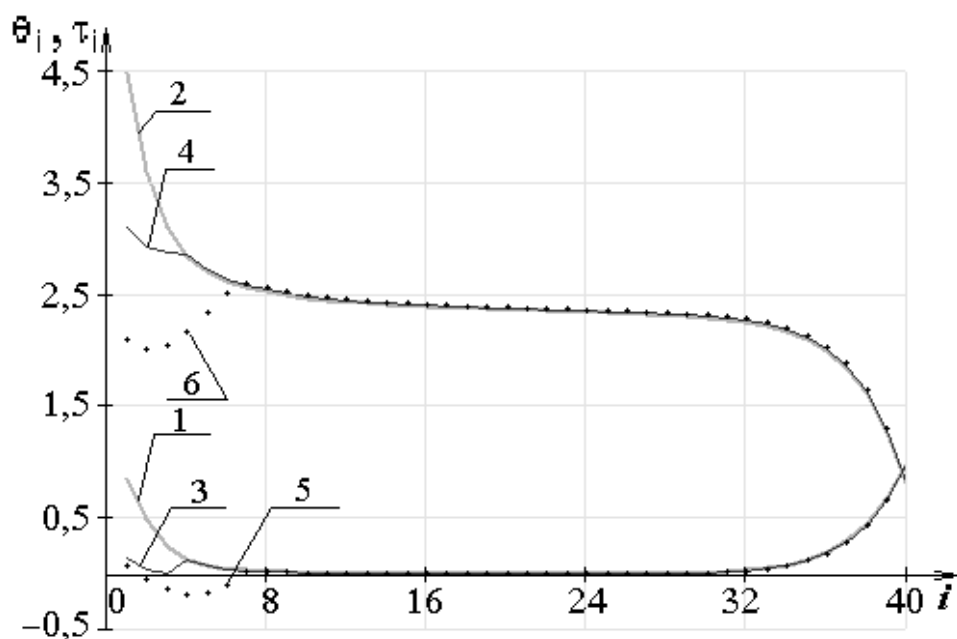


Рис. 4 – Нагрузки в теле намотки при различном количестве витков трения:
1 и 2 $i_{mp} = 0$; 3 и 4 $i_{mp} = 3$; 5 и 6 $i_{mp} = 6$

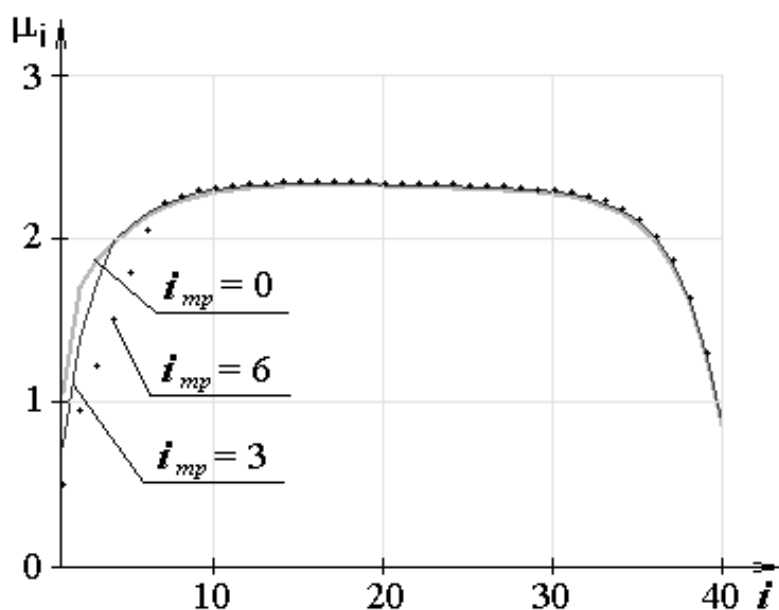


Рис. 5 – Сравнение приведенных расширений тела намотки при различном количестве витков трения

При продольном сжатии резиновтросовой ленты уменьшается шаг свивки прядей, вследствие чего увеличивается диаметр троса, что вызывает соответствующие деформации окружающей трос резиновой матрицы. Отсюда следует, что в первом приближении жесткость на сжатие в продольном направлении резиновтросовой ленты по порядку сравнима с жесткостью эквивалентной резиновой ленты. Тогда материал ленты считается нелинейным, так как на растяжение жесткость больше чем на сжатие в 1000 раз. Для решения сформулированной нелинейной задачи применяется итерационный метод решения, когда на каждом шаге коэффициент продольной жесткости выбирается по знаку продольной деформации этого слоя. На рис. 6 изображено влияние отрицательных натяжений на давление в теле намотки. Из рис. 6а видно, что при соотношении $D/d \geq 300$ и количестве витков трения $i_{mp} = 3$ фактор ограничения натяжений не оказывает существенного влияния на давление (расхождение не превышает 5%), а с увеличением количества витков трения воздействие указанного фактора повышается. Так, с количеством витков трения от пяти и более расхождение превышает 15 – 20% (рис. 6б). Однако если соотношение D/d находится в диапазоне 150–250, фактор ограничения натяжений приводит к расхождению 18 – 50% (рис. 6в), а когда начальный радиус выбран из условия $D/d = 100$ – расхождение составит 80 – 90%.

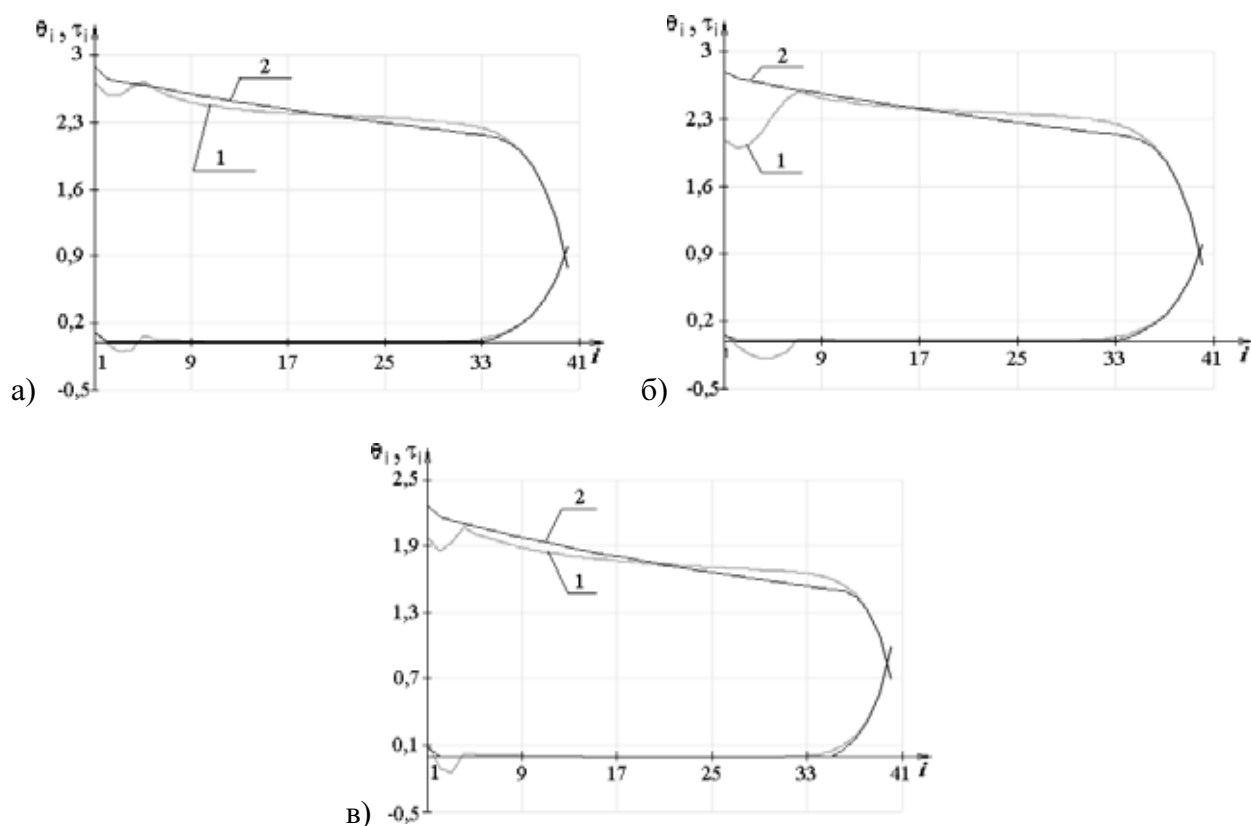


Рис. 6 – Сравнение нагрузок в теле намотки от общего числа витков: 1 – при продольном сжатии ленты, 2 – при его запрете

На максимальное значение приведенного расширения (рис. 7) фактор ограничения натяжений влияет несущественно (расхождение менее 5 %), а расхождение вычислений первоначального расширения первого слоя – 30 % (рис. 8).

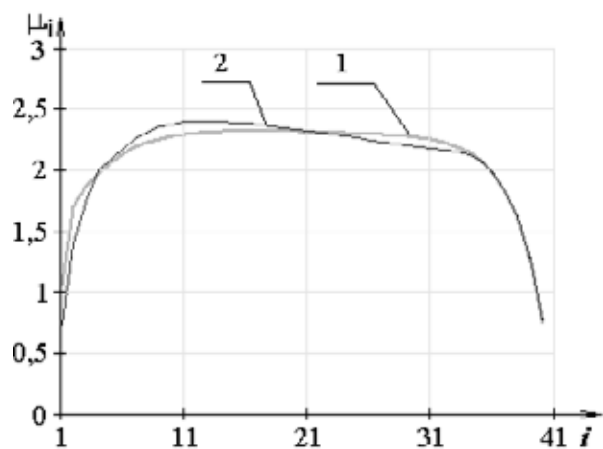


Рис. 7 – Приведенное расширение первого слоя тела намотки: 1 – при продольном сжатии ленты, 2 – при его запрете

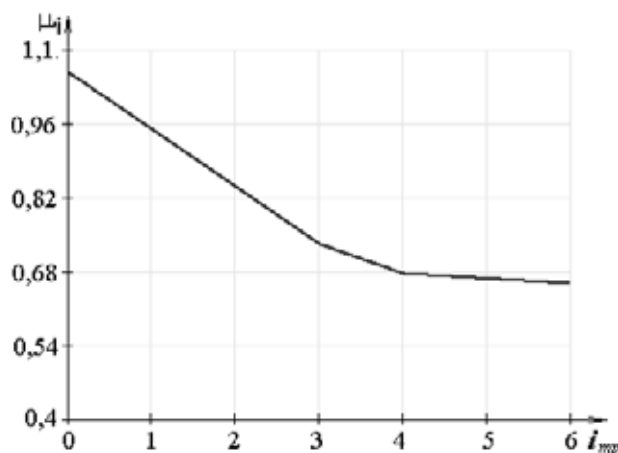


Рис. 8 – Зависимость приведенного расширения первого слоя тела намотки от числа витков трения при запрете продольного сжатия ленты

Оценим влияние соотношения D/d на изменение нагрузок в бобине. Как следует из рис. 9 – 10, увеличение этого параметра приводит к существенному росту приведенных нагрузок в теле намотки и расширению всего тела намотки.

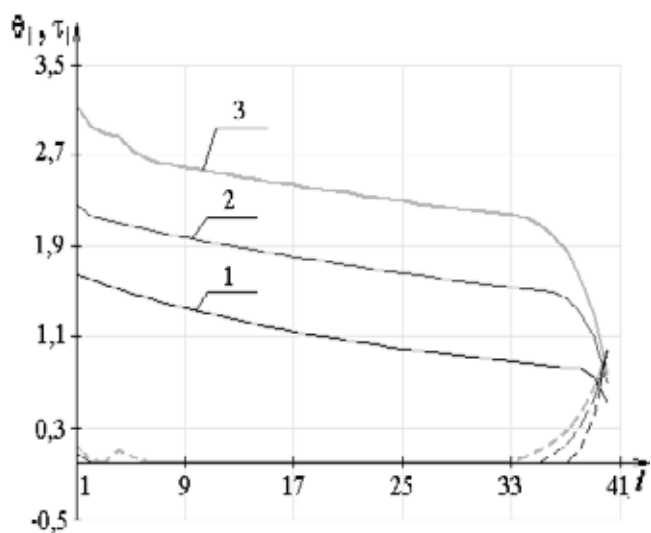


Рис. 9 – Сравнение приведенных нагрузок в теле намотки при разном соотношении

$$D/d = 150; 300; 500$$

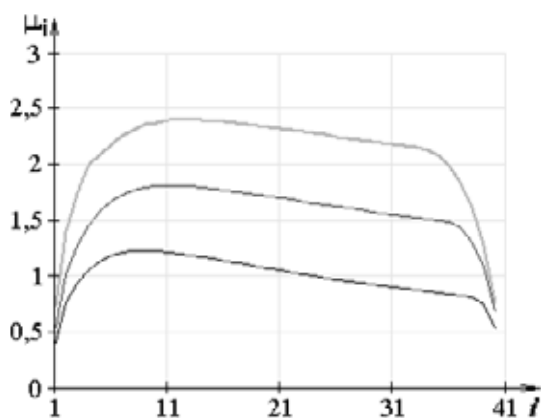


Рис. 10 – Приведенное расширение тела намотки при разном соотношении

$$D/d = 150; 300; 500$$

Для законов изменения натяжения (рис. 1) определим давление ленты на бобину и расширение тела намотки. На рис. 11 представлено влияние этих за-

конов на нагрузку в теле намотке. Как видно из графиков, натяжение в нижнем витке и давление на бобину при $100 \leq D/d \leq 150$ зависят от изменения натяжения в тяговом органе (рис. 11а). Расхождение составляет 14 %. Однако при $D/d > 150$ изменение законов натяжения не оказывает влияние на натяжение в первом слое и давление на бобину (рис. 11б), а приведенное расширение при любом D/d вообще от него не зависит (рис. 12).

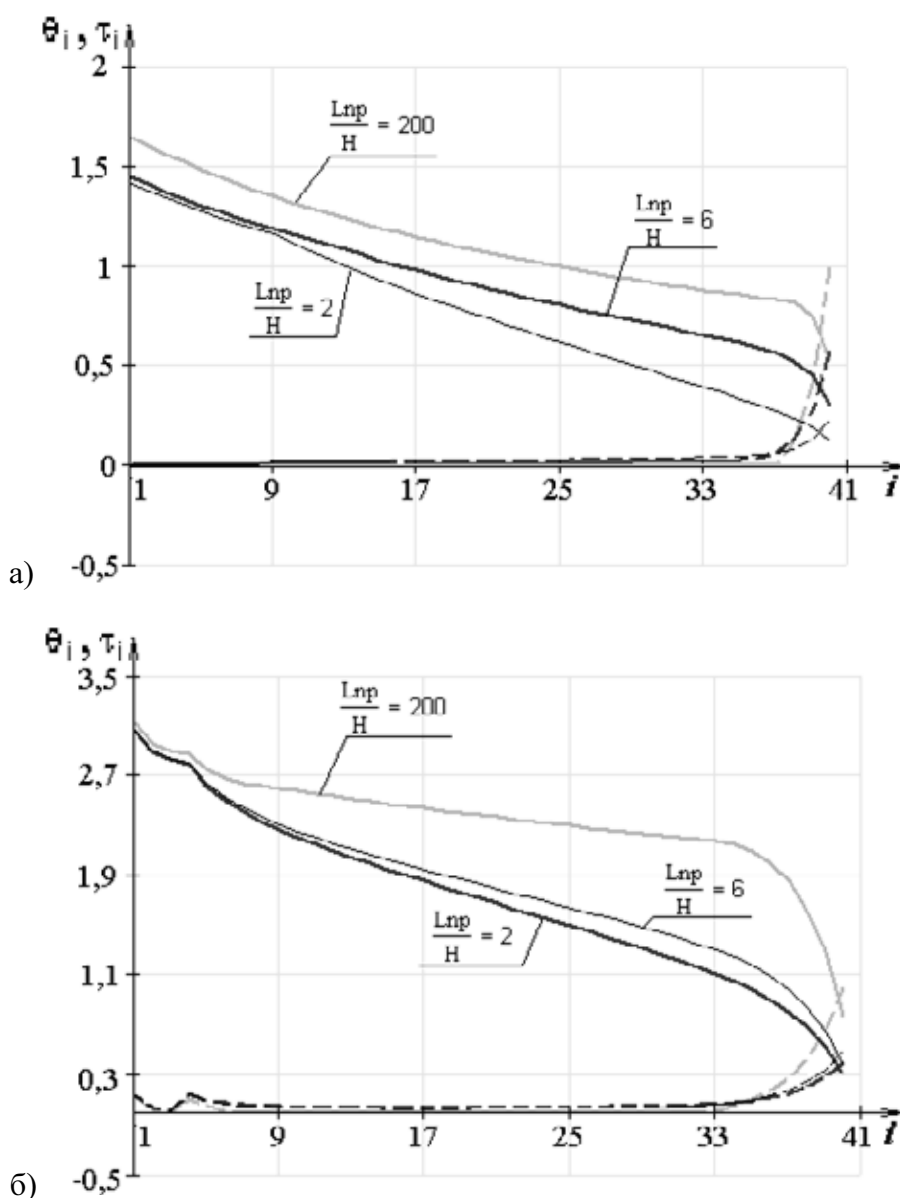


Рис. 11 – Сравнение нагрузок в теле намотке для разных законов изменения натяжения

На рис. 13 и 14 показаны зависимости приведенных нагрузок и расширения тела намотки от разного количества витков $N = 20; 40; 80$. Как следует из графиков, с увеличением общего количества витков давление на бобину и расширение намотки возрастают.

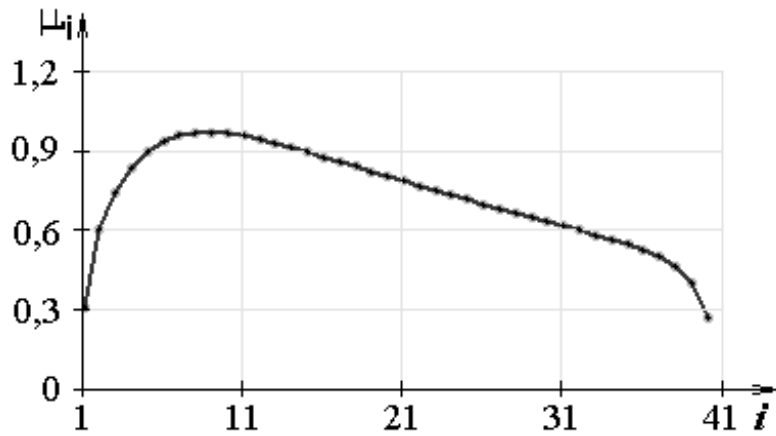


Рис. 12 – Приведенное расширение тела намотки при разных законах изменения натяжения

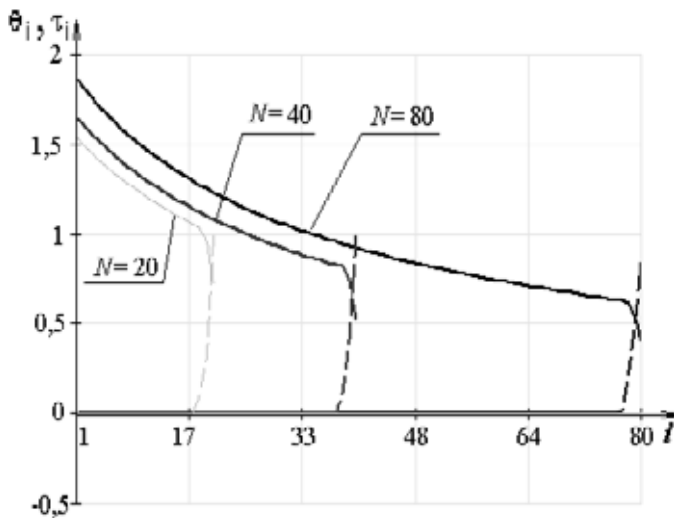


Рис. 13 – Сравнение нагрузок в теле намотки при общем числе витков $N = 20; 40; 80$

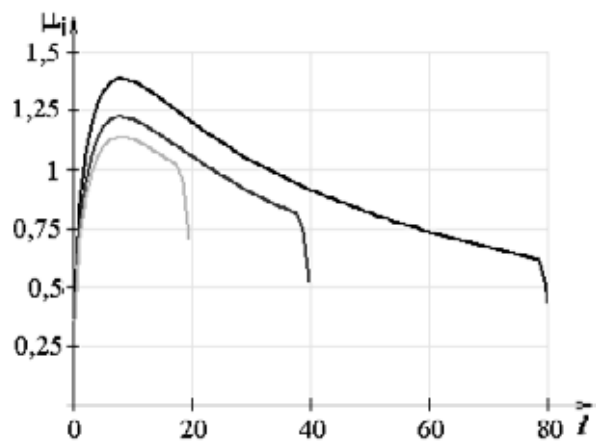


Рис. 14 – Приведенное расширение тела намотки при общем числе витков $N = 20; 40; 80$

На рис. 15 сопоставлены нагрузки в теле намотки при разных значениях коэффициента анизотропии $\omega = 58; 61; 65$, соответствующих лентам РТЛ-7800, РТЛ-3150, РТЛ-5000. Расхождение значений нагрузок на бобину и приведенного расширения тела намотки (рис. 16) не превышает 4 %.

Выводы.

1. Игнорирование коэффициента стесненности приводит к занижению расчетных нагрузок на 27 – 30 %.
2. Допущение продольного сжатия ленты вызывает занижение расчетных нагрузок до 90 %.
3. Витки трения в бобине существенно влияют на нагрузку бобины. Увеличение витков трения от 0 до 6 уменьшает расчетную нагрузку вдвое.
4. Существенные факторы, определяющие нагрузки на бобину – $f_{i,j}$, i_{mp} ,

D/d , а факторы L_{np}/H и N оказывают воздействие на нагрузки при $D/d \leq 150$.

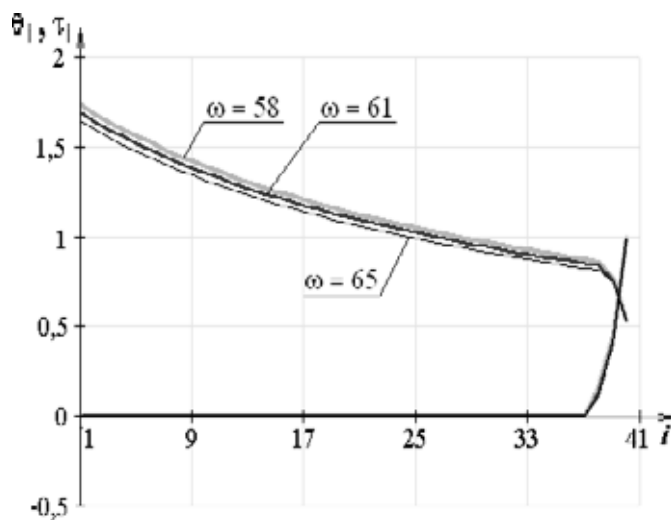


Рис. 15 – Сравнение нагрузок в теле намотки при разных значениях коэффициента анизотропии $\omega = 58; 61; 65$

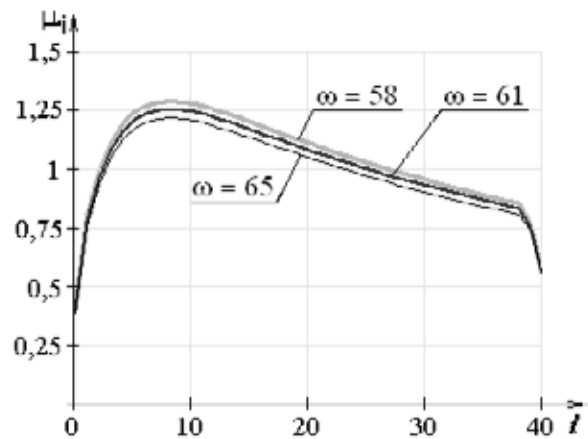


Рис. 16 – Приведенное расширение тела намотки при общем разных значениях коэффициента анизотропии $\omega = 58; 61; 65$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальский Б. С. Теория многослойной навивки каната // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. LXXIV, № 3. – С. 429-432.
2. Тарнопольской Ю. М., Розе А. В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков. – Рига: Зинатне, 1969. – 274 с.
3. Панченко Е. В. Разработка математической модели для определения радиальных нагрузок при многослойной намотке резинотросового каната шахтной подъемной установки // Математичне моделювання. Науковий журнал. – 2006. – №1,2 (15). – С. 36-39.
4. Панченко Е. В. Разработка модели резинотросового каната в многослойной намотке на основе универсального пакета конечно-элементного моделирования ANSYS/ED 6.1 // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 11. – С. 68-73.
5. Правила безопасности угольных и сланцевых шахт. – М.: Недра, 1973. – 258 с.
6. Димашко А.Д., Гершиков И.Я., Кривневич А.А. Шахтные электрические лебедки и подъемные машины. Справочник. Изд. 4, перераб. и доп. М., «Недра», 1973, 364 с.