

УДК 621.867

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНО-ЗАМКНУТОЙ ТРАССЫ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ НА ЕГО ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Толкачев Е.Н.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Для эталонной конструкции конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом выполнена серия численных расчетов, по результатам которой установлено влияние конструктивных параметров вертикально-замкнутой трассы на главные технические показатели конвейера. Сформулированы рекомендации по выбору рациональных параметров.

**Ключевые слова:** вертикально-замкнутая трасса, ленточный конвейер, подвеска, подвесная лента, распределенный привод, рациональные параметры, численный анализ.

**DOI:** <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2016-02-04-71-82>

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ для научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант) № 16-38-00058.

Технический прогресс в области конвейерного транспорта в одном из направлений привел к созданию нового вида ленточного конвейера – конвейера с подвесной грузонесущей лентой [1]. В настоящее время известны конструкции такого вида конвейера, в которых отсутствуют приводная и натяжная станции, а подвески, удерживающие ленту в подвешенном желобчатом положении, оборудованы индивидуальными приводами, питающимися от токоведущих троллей и приводящими систему в движение [2-6].

Между тем вопросы проектирования и расчета находятся на стадии научной проработки. К настоящему времени известен ряд публикаций, посвященных выбору рациональных параметров элементов конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Так в работе [7] предствалены результаты исследования влияния параметров подвесок дискретного участка (структурной группы, состоящей как минимум из одной пары приводных ведущих подвесок, а также некоторого количества пар неприводных ведомых), на тяговые и сцепные характеристики ведущей подвески. А в работах [8; 9] проводятся исследования влияния количественного сочетания подвесок разных типов и шага их расположения на трассе, а также влияния конструктивных параметров приводных и неприводных подвесок на главные технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом.

Установление рациональных конструктивных параметров позволяет обеспечить благоприятное сочетание главных технических характеристик конвейера, определяющих энергоемкость транспортирования, производительность конвейерной установки, а также ресурс грузонесущей ленты. Среди рассчитываемых технических характеристик – общая мощность конвейера, скорость транспортирования груза, а также напряжения в ленте. Методика расчета общей мощности и скорости конвейера по результатам численного интегрирования изложена в работе [9]. Необходимость и порядок определения напряжений в ленте рассматривается ниже.

Передача тягового усилия между подвесками конвейера, подвесное исполнение грузонесущего органа и отсутствие поддерживающих опор на грузовой и холостой ветви, а также образуемая желобчатость поперечного сечения ленты являются определяющими факторами при формировании напряженно-деформированного состояния ленты. Учитывая, что сокращение напряжений позволяет использовать меньшее количество прокладок тягового каркаса ленты и тем самым уменьшить погонную нагрузку, а также при сохранении типоразмера грузонесущей ленты способствует увеличению долговечности этого дорогостоящего и наиболее ответственного элемента, то считается рациональным сокра-

щение эквивалентных напряжений в опасных точках сечения ленты, а также размаха их изменения по длине конвейера до минимальных значений.

Под действием сил, приложенных со стороны движущихся подвесок конвейера, в продольном направлении грузонесущей ленты возникают нормальные напряжения растяжения или сжатия, которые рассчитываются как

$$\sigma_x = \frac{F_{лx}}{A_{лyz}},$$

где  $F_{лx}$  – продольная сила;  $A_{лyz}$  – площадь поперечного сечения тягового каркаса конвейерной ленты.

Величина продольной силы в ленте складывается из сил упругости  $F_{упр}$  и демпфирования  $F_{ouc}$ :

$$F_{лx} = F_{упр} + F_{ouc} = 2c(x_i - x_{i-1} - h_n) + 2k_i(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}),$$

где  $x$  – линейное перемещение подвески;  $\dot{x}$  – линейная скорость подвески;  $c$  – приведенная жесткость упругого элемента (ленты);  $k_i$  – коэффициент сопротивления демпфирующего элемента;  $h_n$  – шаг расположения подвесок.

Площадь поперечного сечения тягового каркаса ленты:

$$A_{лyz} = B \cdot y_{max} = B \cdot i_0 \delta_0,$$

где  $B$  – ширина ленты;  $y_{max}$  – толщина тягового каркаса;  $\delta_0$  – толщина тяговой прокладки;  $i_0$  – количество тяговых прокладок.

На конечных поворотных участках трассы конвейера лента дополнительно испытывает нормальные напряжения от изгиба в продольном направлении. Согласно [10] в таких случаях нормальные напряжения могут быть определены как

$$\sigma_{xy}^{изг} = \frac{E_{xy}y}{R},$$

где  $E_{xy}$  – модуль упругости в продольном направлении;  $y = 0,5y_{max}$  – расстояние от изгибаемого волокна до нейтрального слоя.

Подвешенная с помощью подвесок между направляющими качения грузонесущая конвейерная лента в поперечном сечении испытывает растягивающие напряжения от силы тяжести транспортируемого материала и ленты, а также изгиба.

В расчетах принято, что в точке  $A$  поперечного сечения ленты, располагающейся на дне (рис. 1), напряжения от растяжения, возникающие от погонной нагрузки со стороны груза и ленты, равны нулю, и действующие напряжения формируются только за счет изгиба грузонесущего полотна.

В таком случае растягивающие напряжения, действующие в поперечном направлении ленты равны

$$\sigma_z^{\partial n} = \sigma_{yz}^{изг} = E_{yz}yk,$$

где  $E_{yz} = (0,2...0,5)E_{xy}$  – модуль упругости в поперечном направлении ленты [11];

$E_{xy}$  – модуль упругости в продольном направлении ленты;  $k$  – кривизна ленты.

Известно, что кривизна кривой может быть определена по зависимости [12]:

$$k = \frac{y''(z)}{(1 + (y'(z))^2)^{3/2}},$$

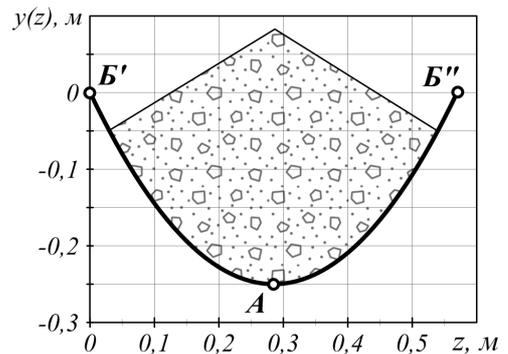


Рис. 1. Поперечное сечение ленты конвейера

где  $y(z)$  – функция зависимости профиля ленты от расстояния между направляющими качения, полученная в работе [13]:

$$y(z) = \left( \frac{1730}{L_{0\%}^{1,87}} - 1580 \right) \left( \left( 2 - e^{0,0338L_{0\%}} \right)^{\frac{z}{B \cdot L_{0\%}}} + e^{0,0338 \frac{z}{B}} - 2 \right).$$

В случае расчета растягивающих напряжений по дну ленты координата  $z$  принимает значение:

$$z = 0,5B \cdot L_{0\%}.$$

Другой расчетный случай соответствует определению напряжений по краю борта ленты в точке  $B'$  или  $B''$  (рис. 1). Здесь растягивающие напряжения от погонной нагрузки со стороны ленты и груза складываются с напряжениями от изгиба:

$$\sigma_z^{kp} = \sigma_z^p + \sigma_{yz}^{изг}.$$

Растягивающие напряжения от погонной нагрузки груза и ленты рассчитываются как

$$\sigma_z^p = \frac{T}{A_{л.хз}},$$

где  $T$  – усилие со стороны ленты и транспортируемого груза, передаваемое через узел крепления подвески [14-16];  $A_{л.хз} = h_n \cdot y_{max}$  – площадь продольного сечения тягового каркаса ленты между парой подвесок с одноименной направляющей.

Расчет растягивающих напряжений от изгиба по краю ленты выполняется по ранее приведенным зависимостям, с отличием в том, что координата  $z$  принимается равной нулю.

Величина эквивалентных напряжений в соответствующих точках профиля ленты определяется согласно IV теории прочности [17].

При оценке степени влияния конструктивных параметров вертикально-замкнутой трассы на основные технические характеристики конвейера с подвесной лентой используется математическая модель, учитывающая параметры конфигурации трассы, конструктивные особенности подвесок, механические характеристики индивидуальных приводов, встроенных в подвески, инерционные и силовые характеристики элементов

конструкции, а также продольную деформацию грузонесущей ленты [14; 18; 19].

С использованием ЭВМ и широко известных методов численного интегрирования была произведена серия расчетов параметров конвейерной установки. В качестве эталонной конструкции принят конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом [9], конфигурация трассы которого изображена на рис. 2, а технические характеристики представлены в таблице.

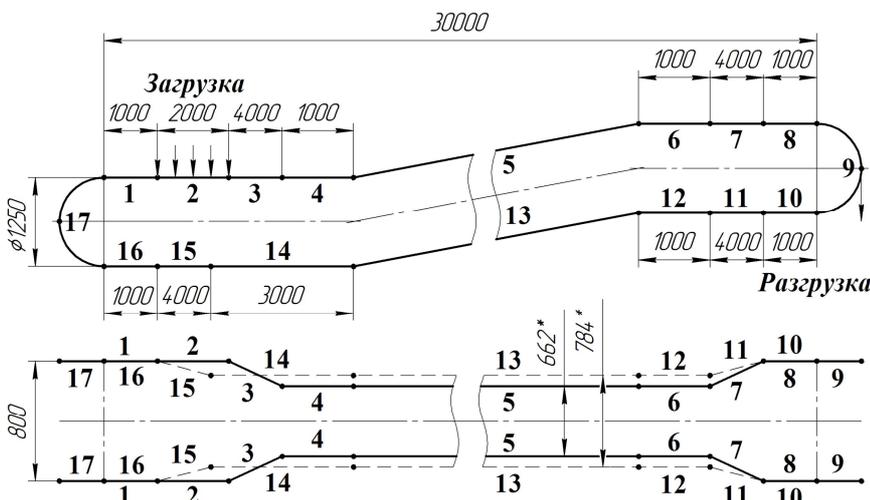


Рис. 2. Схема трассы эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1-8 – грузовая ветвь; 10-16 – холостая ветвь; 9, 17 – концевые поворотные участки; 2 – загрузочный пункт; 3, 11 – желобообразующие участки; 7, 15 – выполаживающие участки; 5, 13 – наклонные участки

Технические характеристики эталонного конвейера

Техническая характеристика	Обозначение	Единица измерения	Значение
<i>Общие характеристики</i>			
Длина горизонтальной проекции конвейера	$L$	м	30
Радиус концевой поворотной секции	$R$	м	0,625
Угол наклона конвейера	$\alpha$	град	0
Производительность расчетная	$Q_p$	т	200
Объемная плотность транспортируемого груза	$\rho$	т/м <sup>3</sup>	1,2
Угол естественного откоса груза	$\varphi$	град	20
Скорость транспортирования расчетная	$v_{зр}$	м/с	1,0
Общее количество подвесок	$n$	шт.	80
Количество приводных подвесок (дискретных участков)	$n_n$	шт.	16
Количество подвесок в дискретном участке	$n_{од}$	шт.	5
Шаг размещения подвесок	$h_n$	м	0,8
<i>Характеристики подвесок</i>			
Сила прижатия ведущего ролика приводной подвески	$F_{np}$	Н	140
Номинальный крутящий момент на валу привода ведущей подвески	$M_{крн}$	Н·м	10,0
Номинальная скорость вращения	$n_n$	об/мин	148,0
Скорость вращения без нагрузки	$n_x$	об/мин	165,0
Масса металлоконструкции прижимной секции	$m_{мкнс}$	кг	1,0
Масса приводного ролика	$m_{np}$	кг	2,0
Масса мотор-редуктора	$m_{мр}$	кг	4,2
Масса металлоконструкции несущей секции	$m_{мкнс}$	кг	7
Масса неприводного ролика	$m_{np}$	кг	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески	$m_{мкнп}$	кг	5,0
Наружный радиус приводного ролика	$r_{np}$	м	0,065
Наружный радиус холостого ролика	$r_{np}$	м	0,025
Внутренний радиус ролика	$r_o$	м	0,006
Коэффициент трения качения (резина-сталь)	$f_{np}$	м	0,0077
Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	$\mu_{np}$	-	0,5
Коэффициент трения качения (сталь-сталь)	$f_{np}$	м	0,001
Коэффициент трения скольжения в осях	$\mu_{np_o}$	-	0,03
Количество холостых роликов в приводной подвеске	$k_{II}$	шт.	6
Количество холостых роликов в неприводной подвеске	$k_H$	шт.	4
<i>Характеристики ленты</i>			
Ширина ленты	$B$	м	0,8
Число прокладок ленты	$i_0$	шт.	3
Толщина верхней обкладки / нижней обкладки	$\delta_1 / \delta_2$	мм	1,0 / 2,0

Окончание табл.

Техническая характеристика	Обозначение	Единица измерения	Значение
Толщина тягового каркаса ленты	$y_{\max}$	мм	3
Толщина ленты	-	мм	9
Модуль упругости ленты в продольном направлении	$E_x$	МПа	380
Модуль упругости ленты в поперечном направлении	$E_z$	МПа	190
Коэффициент жесткости	$k$	кН/м	570
Коэффициент затухания колебаний	$\zeta$	-	0,05

Начальные линейные перемещения подвесок равны длине пути от начала грузовой ветви вдоль направляющих качения до соответствующих подвесок, в то время как угловые перемещения, а также линейные и угловые скорости принимались нулевыми.

*Влияние угла наклона линейной секции трассы конвейера.* Увеличение угла наклона линейной секции 5, 13 до  $20^\circ$  привело к практически линейному росту общей мощности (рис. 3, а) на 87 % относительно эталонного значения и сокращению скорости движения ленты (рис. 3, б) до 85 %.

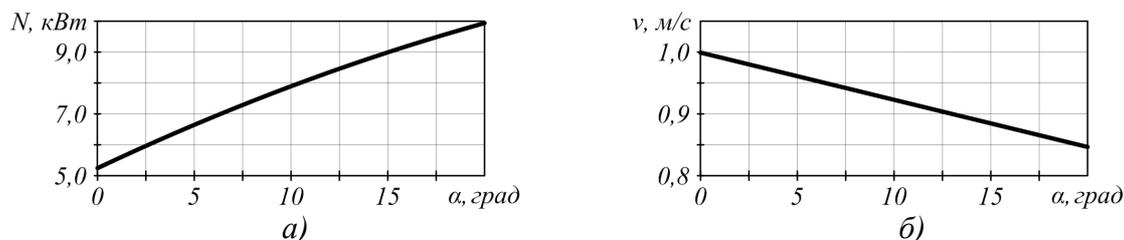


Рис. 3. Зависимость технических характеристик конвейера от угла наклона линейной секции трассы: а – мощности; б – скорости

Распределение напряжений в ленте вдоль трассы при увеличении угла наклона линейной секции трассы принимает следующий вид (рис. 4). Возникающие в продольном направлении напряжения  $\sigma_x$  (рис. 4, а), за счет роста абсолютной величины по краям линейной секции (участки 5 и 13) увеличивают свой размах практически в 2,5 раза. Так в начале участка 5 и в конце 13 напряжения при изменении угла наклона грузовой секции сокращаются с 0,07 до -1,37 МПа и с -0,20 до -0,73 МПа соответственно. А в конце участка 5 и в начале 13 напряжения повышаются в интервалах 0,29...1,82 МПа и 0,16...1,17 МПа. При этом в областях, примыкающих к концевым поворотным участкам 6-12 и 14-4, несмотря на повышение абсолютных значений, напряжения сохраняют характер распределения неизменным, а величина их всплеска остается прежней. Максимальные значения соответствуют пикам напряжений на поворотном участке 9 в конце грузовой ветви.

На характер распределения напряжений, действующих в поперечном направлении ленты, увеличение угла наклона линейной секции трассы не оказывает влияния, поэтому эквивалентные напряжения по дну и по краю борта ленты принимают вид (рис. 4, б, в).

Графики зависимости эквивалентных напряжений по дну ленты  $\sigma_e^{\text{дн}}$  (рис. 4, б) испытывают наиболее выраженный прирост значений в интервале от 1,69 до 2,69 МПа в начале грузового участка подъема 5, которые снижаются к концу наклонной секции до значений порядка 1,6 МПа. Очередной скачок напряжений образуется в области концевого поворотного участка 9 в пределах значений от 1,28 до 2,65 МПа. На участке холостой ветви 10-16 напряжения увеличиваются по краям в области переходных участков 11, 15 в интервале 0,45...1,36 МПа и 0,45...1,36 МПа соответственно. При этом в середине холостой ветви 13 их величина сохраняется практически неизменной порядка 0,20 МПа.

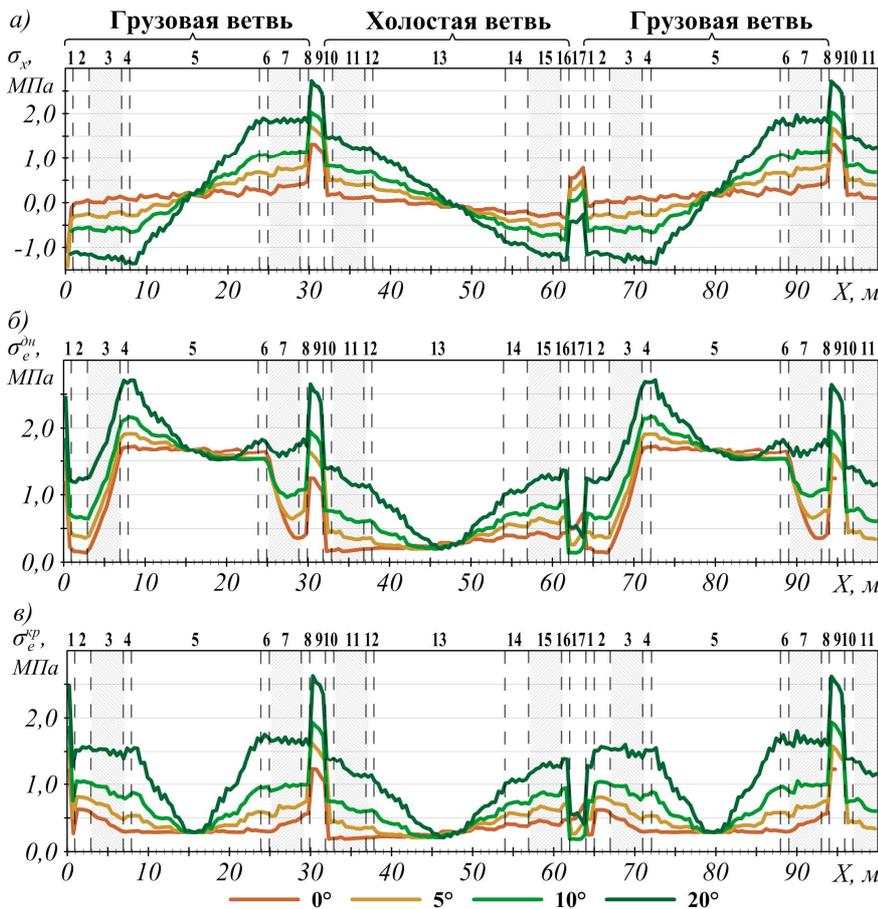


Рис. 4. Графики изменения напряжений в ленте вдоль трассы конвейера при увеличении угла наклона линейной секции трассы: *а* – продольных; *б* – эквивалентных по дну; *в* – эквивалентных по борту

Эквивалентные напряжения по краю борта  $\sigma_e^{sp}$  (рис. 4, *в*) практически совпадают по величине с эквивалентными напряжениями, рассчитанными по дну ленты, на протяжении холостой ветви и примыкающих поворотных участков 9-17. На грузовом участке 1-8 графики имеют аналогичный характер изменения значений: в центре области с желобчатой формой ленты 5 напряжения сохраняются постоянными равными 0,29 МПа, а по краям увеличиваются в пределах 0,26...1,53 МПа и 0,28...1,65 МПа.

*Влияние расстояния между направляющими качения.* Изменение пролета между направляющими осуществлялось только на участке грузовой ветви. Величина расстояния изменялась в долях от ширины ленты и принималась на

20% больше и меньше эталонного значения, 0,57 и 0,854 соответственно. Аппроксимированные по результатам расчета зависимости общей мощности конвейера и скорости транспортирования имеют вид (рис. 5).

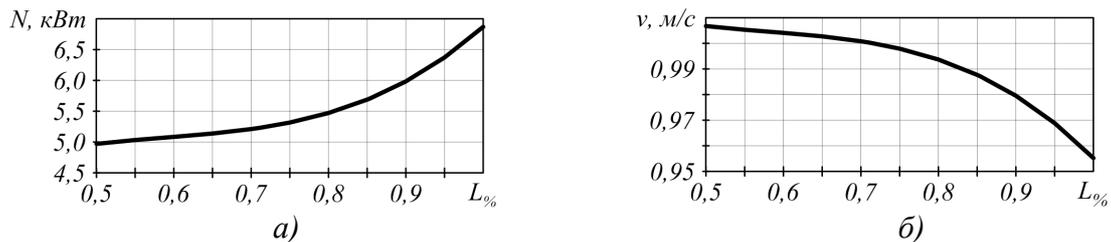


Рис. 5. Зависимость технических характеристик конвейера от расстояния между направляющими качения: *а* – мощности; *б* – скорости

С изменением расстояния между направляющими качения затрачиваемая общая мощность конвейера повышается тем интенсивнее, чем больше пролет между ними. Что объясняется ростом сопротивлений движению подвесок, вызванным в результате увеличения горизонтальных проекций от сил, действующих со стороны ленты на подвески, в то время как вертикальные проекции остаются постоянными. Между тем изменение скорости происходит в обратном направлении – она снижается. Так при сокращении расстояния между направляющими в долях от ширины ленты на 20 % до 0,57 общая мощность снижается на 3,5 %, а

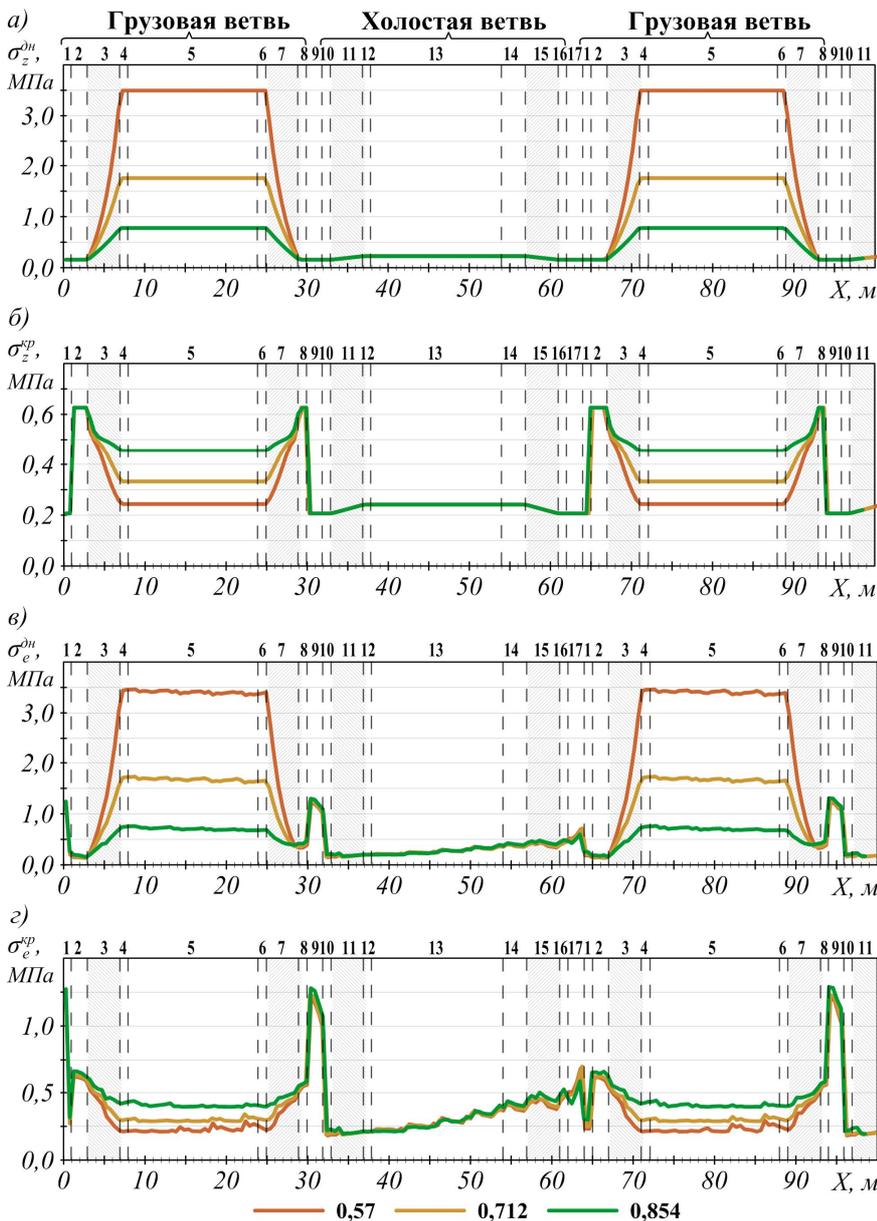


Рис. 6. Графики изменения напряжений в ленте вдоль трассы конвейера при изменении расстояния между направляющими качения: а – поперечных по дну; б – поперечных по борту; в – эквивалентных по дну; г – эквивалентных по борту

участка 9 сохраняются одинаковыми (порядка 1,25 МПа).

Противоположным образом преобразовываются значения растягивающих в поперечном направлении  $\sigma_z^{kp}$  (рис. 6, б), а также эквивалентных напряжений  $\sigma_e^{kp}$  (рис. 6, г). Увеличение расстояния между направляющими качения с 0,57 до 0,854 ведет к повышению напряжений на соответствующем участке трассы конвейера 5 от 0,2 до 0,4 МПа. Однако максимальные значения напряжений по краю ленты (0,63 МПа) по-прежнему сохраняются на участках грузовой ветви 2, 8, где лента выположена. Наибольшие эквивалентные напряжения по борту ленты  $\sigma_e^{kp}$  (1,25 МПа) соответствуют поворотному участку 9 в конце грузовой ветви (рис. 6, г).

*Влияние радиуса конечных поворотных участков.* Варьирование радиуса осуществлялось таким образом, чтобы шаг между подвесками оставался неизменным. Поэтому длина трассы конвейера сохранялась постоянной за счет сокращения или увеличения длины приле-

скорость повышается на 0,5%. Ровно такое же увеличение пролета до 0,854 приводит к росту мощности более чем на 9,0 % и сокращению скорости на 1,3%.

Величина продольных напряжений  $\sigma_x$  при варьировании расстояния между направляющими качения остается неизменной и равна эталонному значению, в то время как поперечные напряжения претерпевают более явные изменения (рис. 6). При сокращении расстояния между направляющими качения (участок 5) растягивающие напряжения, возникающие в продольном направлении по дну ленты  $\sigma_z^{dn}$  (рис. 6, а), а также эквивалентные напряжения в соответствующей точке  $\sigma_e^{dn}$  (рис. 6, в) значительно повышаются с 1,7 до 3,5 МПа. С увеличением пролета соответствующие напряжения уменьшаются до 0,8 МПа. Вследствие того, что продольные напряжения  $\sigma_x$  не изменяются, максимальные значения эквивалентных напряжений  $\sigma_e^{dn}$  на пике в области конечного поворотного

гающих к конечным поворотным участкам секций 1, 8, 10, 16. При этом значения радиуса принимались 0,313 м и 1,25 м соответственно, что отличается от эталонного значения в 2 раза.

Результаты расчетов показали, что изменение размеров поворотного участка оказывает незначительное влияние на общую мощность и скорость конвейера (рис. 7). Двукратное увеличение радиуса поворотной секции по отношению к эталонному значению привело к линейному сокращению мощности всего лишь на 3,5% и повышению скорости на 0,5%.

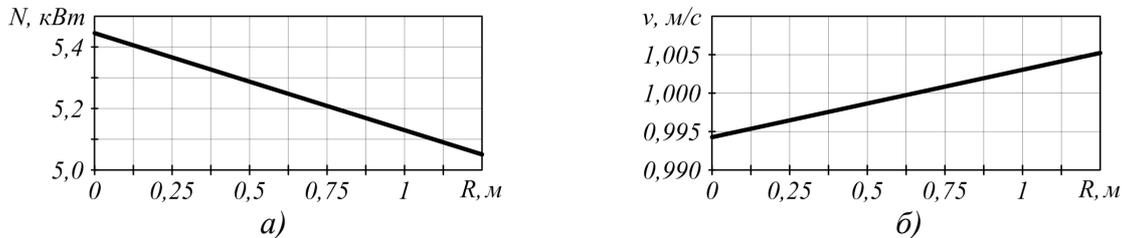


Рис. 7. Зависимость технических характеристик конвейера от радиуса конечных поворотных участков: а – мощности; б – скорости

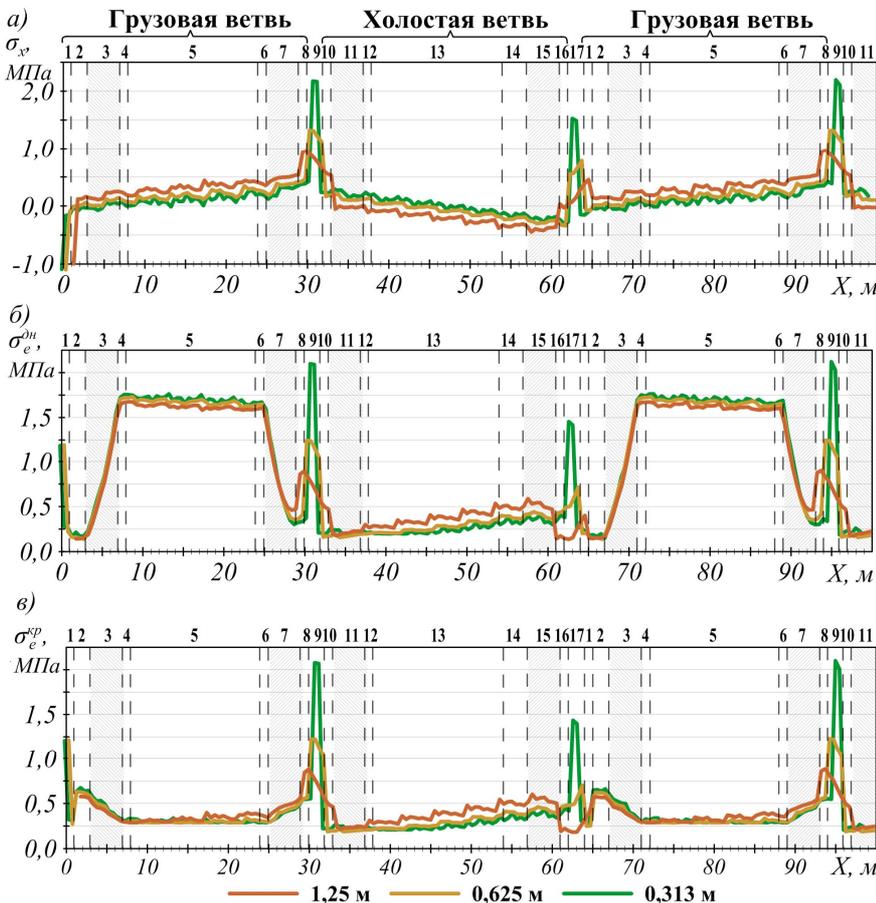


Рис. 8. Графики изменения напряжений в ленте вдоль трассы конвейера при уменьшении радиуса конечных поворотных участков: а – продольных; б – эквивалентных по дну; в – эквивалентных по борту

области конечных поворотных участков грузовая ветвь конвейера испытывает дополнительное растяжение, а холостая – сжатие.

Результаты влияния варьирования радиуса поворотной секции на возникающие напряжения в ленте  $\sigma_x$  представлены на рис. 8. Увеличение радиуса приводит к резкому сокращению пиковых значений продольных напряжений в области конечных поворотных участков 9, 17 (рис. 8, а). Вместе с тем несколько увеличивается размах напряжений между грузовой 1-8 и холостой 10-16 ветвью конвейера с 0,2 по 0,6 МПа. Такой характер распределения напряжений, объясняется тем, что увеличение радиуса поворотной секции сопровождается увеличением количества одновременно находящихся на ней подвесок. Проекции сил тяжести, действующие на ленту, от расположенных под наклоном подвесок увеличиваются. Следовательно, в результате повышения нагрузок на ленту в

Напряжения, возникающие в поперечном направлении ленты  $\sigma_z^{дн}$  и  $\sigma_z^{кр}$ , не изменились в результате варьирования размера поворотной секции. Поэтому эквивалентные напряжения  $\sigma_e^{дн}$  и  $\sigma_e^{кр}$  в соответствии с характером распределения продольных напряжений при сокращении радиуса концевой поворотной секции увеличиваются преимущественно на концевых поворотных участках трассы 9, 17 (рис. 8, б, в).

Таким образом, обобщая полученные результаты, можно сформулировать следующие выводы.

1. Увеличение угла наклона конвейера приводит к росту общей мощности приводов подвесок, а также снижению скорости движения. При этом максимальные напряжения по дну ленты возникают в начале наклонного участка и на поворотном участке в конце грузовой ветви. По краю борта ленты максимум напряжений находится в конце грузовой ветви в области поворотного участка.

2. Результатом сокращения расстояния между направляющими качения является нелинейное снижение общей мощности конвейера в совокупности с повышением скорости транспортирования. Эквивалентные напряжения по дну ленты значительно возрастают при уменьшении пролета, в зависимости от чего максимальная величина напряжений образуется либо на желобчатом участке, либо на поворотном в конце грузонесущей ветви. Независимо от пролета между направляющими качения пиковые значения эквивалентных напряжений по-прежнему возникают по краю борта ленты в области концевой поворотной секции. Следовательно, принимая расстояние между направляющими качения в долях от ширины ленты необходимо выбирать значения порядка 0,7...0,8, поскольку именно в области этих значений прирост мощности и падение скорости не существенны, в то время как сокращение напряжений по дну ленты весьма значительно, а увеличение по краю борта небольшое.

3. По итогам анализа результатов варьирования радиуса концевых поворотных участков выявлено, что размеры поворотной секции практически не оказывают существенного влияния на мощность и скорость конвейера. В то время как распределение напряжений вдоль трассы при уменьшении радиуса отличается резким и стремительным повышением напряжений на соответствующих участках. Поэтому став конвейера предпочтительно изготавливать с большим радиусом концевой поворотной секции.

4. Установленная в результате численного анализа математической модели конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом направленность и степень влияния конструктивных параметров вертикально-замкнутой трассы на основные технические показатели конвейера позволяют осуществлять их обоснованный выбор. При этом предлагается автоматизировать расчеты, используя разработанный программный комплекс «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом» [20].

### Список литературы

1. Конвейеры с подвесной лентой / В.И. Аверченков, В.Н. Ивченко, В.П. Дунаев [и др.] / под общ. ред. проф. В.И. Аверченкова. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 256 с.
2. Лагерев, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал. – 2009. – № 10. – С. 9–14.
3. Лагерев, А.В. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом / А.В. Лагерев, Д.Ю. Кулешов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 50–56.
4. Гончаров, К.А. Экспериментальный стенд для исследования движения дискретного участка ленточного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / К.А. Гончаров, П.В. Бословяк, Д.Ю. Кулешов // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: материалы IV международной научно-практической конференции / под ред. И.А. Лагерева. – Брянск: БГТУ, 2012. – С. 14.

5. Патент 94550 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 65 G 15/00. Подвесной ленточный конвейер / Лагерев А.В., Дунаев В.П., Кулешов Д.Ю. – Заявл. 30.12.2009, № 2009149559/22. Оpubл. 27.05.2010.
6. Патент 126323 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 65 G 15/08. Конвейер с подвесной лентой / Лагерев А.В., Дунаев В.П., Кулешов Д.Ю., Толкачев Е.Н. – Заявл. 19.04.2012, № 2012115925/11. Оpubл. 27.03.2013. – Бюл. № 9.
7. Лагерев, А.В. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2 (84). – С. 17-20.
8. Лагерев, А.В. Определение рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 5.
9. Лагерев, А.В. Анализ динамики подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 3. – С. 50-59. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf>.
10. Дарков, А.В. Соппротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М.: Высшая школа, 1975. – 654 с.
11. Атакулов, Л.Н. Обоснование параметров переходного участка загрузочного узла крутонаклонного конвейера с прижимной лентой для открытых горных работ: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Л.Н. Атакулов. – Москва, 2007. – 24 с.
12. Никольский, С.М. Курс математического анализа / С.М. Никольский. – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 592 с.
13. Лунев, Д.Е. Обоснование рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров конвейеров с подвесной лентой для предприятий горной промышленности: дис. ... канд. тех. наук. / Д.Е. Лунев. – СПб., 2007. – 119 с.
14. Lagerev, A.V. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive / A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev, I.A. Lagerev // International Review on Modelling and Simulations. – 2016. – Vol. 9, N. 4. – P. 271-279.
15. Толкачев, Е.Н. Особенности расчета сопротивлений движению подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научные исследования и разработки молодых ученых: сб. материалов IX Междунар. мол. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Часть 1. – 228 с.
16. Толкачев, Е.Н. Определение условий работоспособности дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научные исследования и разработки молодых ученых: сб. материалов XII Междунар. мол. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – 152 с.
17. Александров, А.В. Соппротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – М.: Высш. шк., 2004. – 560 с.
18. Лагерев, А.В. Моделирование динамики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Будущее машиностроения России: сб. тр. Восьмой Всерос. конф. мол. уч. и спец. (23-26 сент. 2015 г.) – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 886-890.
19. Лагерев, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 3. – С. 44-52.
20. Лагерев, А.В. Программный комплекс «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом» / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, И.А. Лагерев. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618964 от 10 августа 2016 г. (Федеральная служба по интеллектуальной собственности).

### Сведения об авторе

Толкачев Евгений Николаевич – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *tolkachev\_en@mail.ru*.

## INFLUENCE ANALYSIS OF DESIGN PARAMETERS OF VERTICAL LOOP ROUTE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS OF VERTICALLY- CLOSED TRACK CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE ON THE TECHNICAL SPECIFICATIONS

Tolkachev E.N.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Using the basic design of the conveyor with suspended belt and distributed drive, a series of numerical calculations was performed. As a result, the influence of design parameters of vertical loop route on the main technical parameters of the conveyor was established. Recommendations on the choice of rational parameters were formulated.

**Key words:** *conveyor belt, distributed drive, numerical analysis, rational parameters, suspended belt, suspension, vertical loop route.*

**DOI:** <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2016-02-04-71-82>

### References

1. Averchenkov V.I., Davydov S.V., Dunaev V.P., Ivchenko V.N., Kurov S.V., Rytov M.Yu., Sakalo V.I. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with hanging ribbon. Moscow, Mashinostroenie-1, 2004. 256 p.
2. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenerniy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
3. Lagerev A.V., Kuleshov D.Yu. Dynamic processes of discrete section of a conveyor with suspended belt and distributed drive at transient state of work, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.2, pp. 50-56.
4. Goncharov K.A., Boslovyak P.V., Kuleshov D.Yu. The experimental stand for the study of motion of the discrete section of a belt conveyor with a suspended belt and a distributed drive [Eksperimentalnyy stand dlya issledovaniya dvizheniya diskretnogo uchastka lentochnogo konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitii innovatsionnykh protsessov v ekonomike, nauke, obrazovanii: materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference). Bryansk, BGTU, 2012, p. 14.
5. Patent RU 94550. *Podvesnoy lentochnyy konveyer* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Kuleshov D.Yu. Declared 30.12.2009. Published 27.05.2010.
6. Patent RU 126323. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Dunaev V.P., Kuleshov D.Yu., Tolkachev E.N. Declared 19.04.2012. Published 27.03.2013.
7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Rational conveyor suspension parameters with suspended belt and distributed drive. *Podyemno-transportnoe delo*, 2016, No.1-2, pp. 17-20.
8. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Determination of rational number suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik SibADI*, 2016, No. 5.

9. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Influence analysis of design parameters of suspensions on the technical specifications of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.3, pp. 50-59. Available at: [www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf](http://www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf).
10. Darkov A.V., Shpiro G.S. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]. Moscow, Vysshaya shkola, 1975. 654 p.
11. Atakulov L.N. Substantiation of parameters of the transition portion bootable node of steeply inclined conveyor with pressure belt for open mining operations: Extended abstract of Cand. Diss. (Engineering). Moscow, 2007. 24 p.
12. Nikolskiy S.M. *Kurs matematicheskogo analiza* [A course of mathematical analysis]. Moscow, Fiziko-matematicheskaya literatura, 2000. 592 p.
13. Lunev D.E. Justification of rational design and operational parameters of conveyor with suspended belt for the mining industry. Cand. Diss. (Engineering). SPb, 2007. 119 p.
14. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Int. Review on Modelling and Simulations*, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 271-279.
15. Tolkachev E.N. Features calculate resistance to movement of the conveyor with suspended belt and distributed drive [Osobennosti rascheta soprotivleniy dvizheniyu podvesok konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh: sb. materialov IX Mezhdunar. mol. nauch.-prakt. konf.* (Proceedings of the IX International Youth Scientific and Practical Conference). Novosibirsk, NGTU, 2016, No. 1, pp. 228.
16. Tolkachev E.N. Definition of conditions working ability discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive [Opredelenie usloviy rabotosposobnosti diskretnogo uchastka konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh: sb. materialov XII Mezhdunar. mol. nauch.-prakt. konf.* (Proceedings of the XII International Youth Scientific and Practical Conference). Novosibirsk, CRNS, 2016, p. 152.
17. Aleksandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]. Moscow, Vysshaya shkola, 2004. 560 p.
18. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Modeling of dynamics of conveyor with suspended belt and distributed drive [Modelirovanie dinamiki konveyera s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom]. *Future Engineering of Russia. Proceedings of the 8 All-Russian Conference of young scientists and specialists. Moscow, MGTU im. N.E.Baumana, 23-26 Sept. 2014.* Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2015, pp. 886-890.
19. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44 – 52.
20. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. *Programmnyy kompleks „Modelirovanie dinamiki konveyerov s podvesnoy lentoy i raspredelennym privodom”*. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [The software package "Dynamics simulation of conveyors with suspended belt and distributed drive". The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2016618964, 2016.

#### **Author' information**

Evgeniy N. Tolkachev - specialist at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.12.2016