

УДК (UDC) 621.86

НАГРУЖЕННОСТЬ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ И ТЯГОВЫХ ЛЕНТ МНОГОПРИВОДНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ СКОЛЬЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИВОДОВ

CARRYING AND TRACTIVE BELTS LOADING OF A MULTI-DRIVE CONVEYOR IN CASE OF ACCIDENTAL SLIDING DEVIATIONS OF ELECTRIC MOTOR DRIVES

Гончаров К.А.
Goncharov K.A.Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)
Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований параметров нагруженности грузонесущей и тяговых лент многоприводного ленточного конвейера при наличии случайных отклонений скольжения электродвигателей приводов. Показано непосредственное влияние случайного сочетания отклонений скольжения приводов на величину ресурса грузонесущей ленты. Приведено обоснование необходимости учета реальных параметров циклов нагружения лент при расчете их ресурса в процессе проектирования многоприводных ленточных конвейеров в рамках каждого сочетания отклонений скольжения. Показана несостоятельность подхода, регламентирующего определение коэффициента асимметрии циклов нагружения как величины, обратной тяговому фактору приводов.

Ключевые слова: ленточный конвейер, вероятностная математическая модель, система приводов, отклонение скольжения двигателя, тяговый расчет.

Дата принятия к публикации: 18.04.2020
Дата публикации: 25.09.2020

Сведения об авторе:

Гончаров Кирилл Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», e-mail: ptm_bstu@mail.ru.
ORCID: 0000-0002-5895-1162

Abstract. The paper contains the results of theoretical studies of loading parameters of carrying and tractive belts of a multidrive belt conveyor in case of accidental sliding deviations of electric motor drives. The direct effect of a random combination of sliding deviations on the working life value of the carrying belt is shown. The justification for taking into account the actual parameters of belt loading cycles when calculating their working life during the process of designing multidrive belt conveyor within each combination of sliding deviations is given. The paper demonstrates inconsistency of the approach regulating the determination of the skewness ratio of loading cycles as a value inverse to the drives traction factor.

Keywords: belt conveyor, probabilistic mathematical model, drive system, slide departure of engine, traction calculation.

Date of acceptance for publication: 18.04.2020
Date of publication: 25.09.2020

Author's information:

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, associate Professor, Head of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, e-mail: ptm_bstu@mail.ru.
ORCID: 0000-0002-5895-1162

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

Acknowledgements

The study was supported by President Grant for Government Support of Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

1. Введение

Результаты теоретических исследований, представленные в работах [1 - 4], а также ре-

зультаты ряда экспериментальных исследований [5, 6] свидетельствуют о наличии возможностей управления тяговыми усилиями промежуточных ленточных и барабанных

приводов изменением натяжения тяговых и грузонесущей лент без внесения глубоких доработок в существующие системы управления электродвигателями. При этом данные, полученные в результате моделирования [7, 8], позволяют говорить о специфической природе нагруженности конвейерных лент при работе в холостом и загруженном режимах. Указанная специфическая природа отражается не только в вариативности максимальных нагрузок, действующих на ленты, но и в необходимости управления минимальными натяжениями тяговой и грузонесущей лент для обеспечения работоспособности приводов в зависимости от величин грузопотока.

Основные понятия нагруженности элементов подъемно-транспортной техники описаны в работе [9]. Применительно к проектированию металлоконструкций и основных элементов механизмов подъемно-транспортных машин одним из ключевых расчетов является расчет на усталостное разрушение [9, 10]. Отличительной особенностью адаптации базовых идей данного расчета к анализу долговечности конвейерных лент является специфика перемены напряжений при работе лент. При расчете по классическим методикам [11, 12] с использованием нерегулируемых в автоматизированном режиме натяжных устройств минимальные натяжения лент вне зависимости от величины грузопотока будут установлены однократной настройкой этих натяжных устройств, параметры которой определяются в зависимости от величины провисания ленты при движении конвейера с грузом или тяговой способностью приводов. При этом в условиях переменности грузопотока и возможности движения конвейера в близких к холостому режимам (значительное снижение грузопотока) поддержка постоянного высокого натяжения лент может привести к уменьшению их ресурса и не носит обязательный характер.

В [11] цикличность нагружения конвейерной ленты предложено характеризовать перепадом продольных усилий в ленте за каждый её оборот на трассе конвейера. Коэффициент асимметрии цикла ρ принимается постоянным и привязывается к величине отношения

натяжений набегающей $S_{нб}$ и сбегающей $S_{сб}$ ветвей лент на приводном барабане. В первом приближении, согласно [11], принимается:

$$\frac{1}{\rho} = \xi_0 e^{\mu\alpha\Sigma}, \quad (1)$$

где $e^{\mu\alpha\Sigma}$ – суммарный тяговый фактор привода конвейера; ξ_0 – коэффициент, учитывающий дополнительную нагрузку.

Данную зависимость можно признать справедливой по отношению к конвейерам, системы приводов которых включают один барабанный привод, при этом конвейер ориентирован на работу с постоянной производительностью, а величина его тягового усилия приближается к значению, установленному тяговым фактором.

В случае многоприводных конвейеров при определении параметров циклов перемены напряжений необходимо дополнительно учитывать ряд факторов:

- в системах приводов как барабанных, так и с промежуточными ленточными приводами, каждый привод может иметь собственную величину тягового фактора;
- даже в случае применения в системе нескольких одинаковых приводов грузонесущая лента за один оборот на трассе конвейера испытывает количество циклов перемены напряжений, кратное количеству приводов в системе; в случае грамотной расстановки приводов по трассе коэффициент асимметрии таких циклов может быть постоянным; однако, в общем случае каждому обороту ленты при соответствующей производительности будет соответствовать комбинация циклически повторяющихся коэффициентов асимметрии;
- величины минимальных и максимальных натяжений грузонесущей и тяговой лент могут изменяться в зависимости от отклонений механических характеристик электродвигателей приводов конвейеров, что показано в [2, 7].

Последний из указанных факторов требует более глубокой проработки вопросов нагруженности лент многоприводных ленточных конвейеров, в том числе вопросов управления их натяжениями, как дополнительной возможности воздействия на пара-

метры асимметрии циклов перемены напряжений, действующих в лентах.

2. Постановка цели

Целью данной статьи является исследование параметров нагруженности грузонесущей и тяговых лент многоприводных ленточных конвейеров при наличии случайных отклонений скольжения электродвигателей приводов.

3. Теоретические исследования

Для исследования параметров нагруженности грузонесущей и тяговых лент много-

приводного ленточного конвейера воспользуемся математической моделью, предложенной в [2, 7, 13]. При работе исследуемого конвейера с учетом различных сочетаний отклонений скольжения электродвигателей величины натяжений лент (как максимальные, так и минимальные с позиции работоспособности) варьируются в значительной степени. В табл. 1 и на рис. 1 – 4 представлены данные моделирования, проведенного в [2, 7], описывающие изменения натяжений тяговых и грузонесущей лент в зависимости от величины грузопотока и сочетания отклонений скольжения электродвигателей.

Таблица 1

Сводная таблица натяжений лент

№	Значение параметра									
	Холостой режим движения					Загруженный режим движения				
	$S_{max, H}$	$S_{cm, H}$	$S_{1cm, H}$	$S_{2cm, H}$	$S_{3cm, H}$	$S_{max, H}$	$S_{cm, H}$	$S_{1cm, H}$	$S_{2cm, H}$	$S_{3cm, H}$
1	5601	2880	3120	3120	3120	20358	12630	13084	13084	13084
2	7494	2880	3550	3550	3120	24289	11524	13084	13084	13084
3	5899	2880	3550	3120	3550	20915	12630	13084	13084	13084
4	6075	3400	3120	3590	3590	25662	17630	13084	13084	13084
5	5569	2880	3120	3120	3120	24502	16500	13084	13084	13084
6	9110	2880	5500	3120	3120	28647	11524	14497	13084	13084
7	7813	4100	3120	3120	5615	29072	19000	13084	13084	15231
8	7841	5100	3120	4400	4400	30309	22000	13084	13084	13084
9	7101	2880	3120	5500	3120	26172	14000	13084	14740	13084
10	5455	2880	4230	3120	4230	23836	16000	13084	13084	13084
11	7357	2880	4230	4230	3120	28822	16000	13084	13084	13084
12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
13	8325	4380	3120	7470	3120	–	–	–	–	–
14	8551	2880	7280	3120	3120	–	–	–	–	–
15	12372	4350	3120	3120	3120	32297	11524	13084	13084	13084
16	5849	2880	3120	3120	3120	19412	11524	13084	13084	13084

В табл. 1 используются следующие обозначения: S_{max} – максимальное натяжение грузонесущей ленты; S_{cm} – стабильное натяжение грузонесущей ленты; S_{1cm} – стабильное натяжение тяговой ленты привода П1; S_{2cm} – стабильное натяжение тяговой ленты привода П2; S_{3cm} – стабильное натяжение тяговой ленты привода П3.

Под стабильным натяжением будем понимать величину минимально необходимого натяжения ленты в точке сбегания с приводного барабана, при котором минимальное

натяжение в контуре конвейера или промежуточного привода не будет меньше предельно допустимого по провисанию при обеспечении тяговой способности приводных барабанов.

Наибольший диапазон изменения стабильного натяжения грузонесущей ленты при переходе от холостого режима к полностью загруженному наблюдается для 8-го сочетания отклонений скольжения электродвигателей (от 5100 Н до 22000 Н при максимальном натяжении ленты 30309 Н).

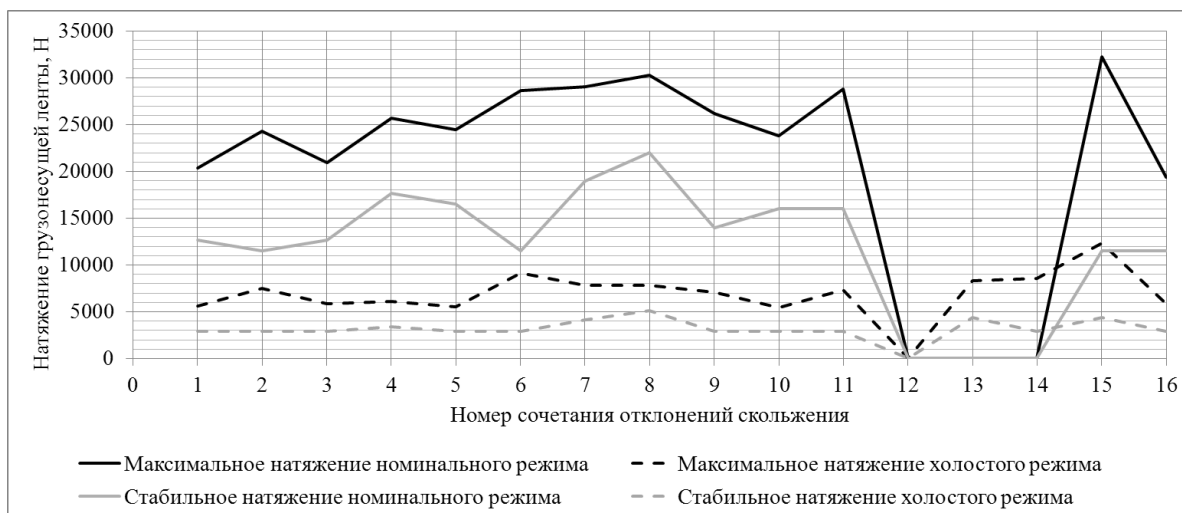


Рис. 1. Натяжения грузонесущей ленты

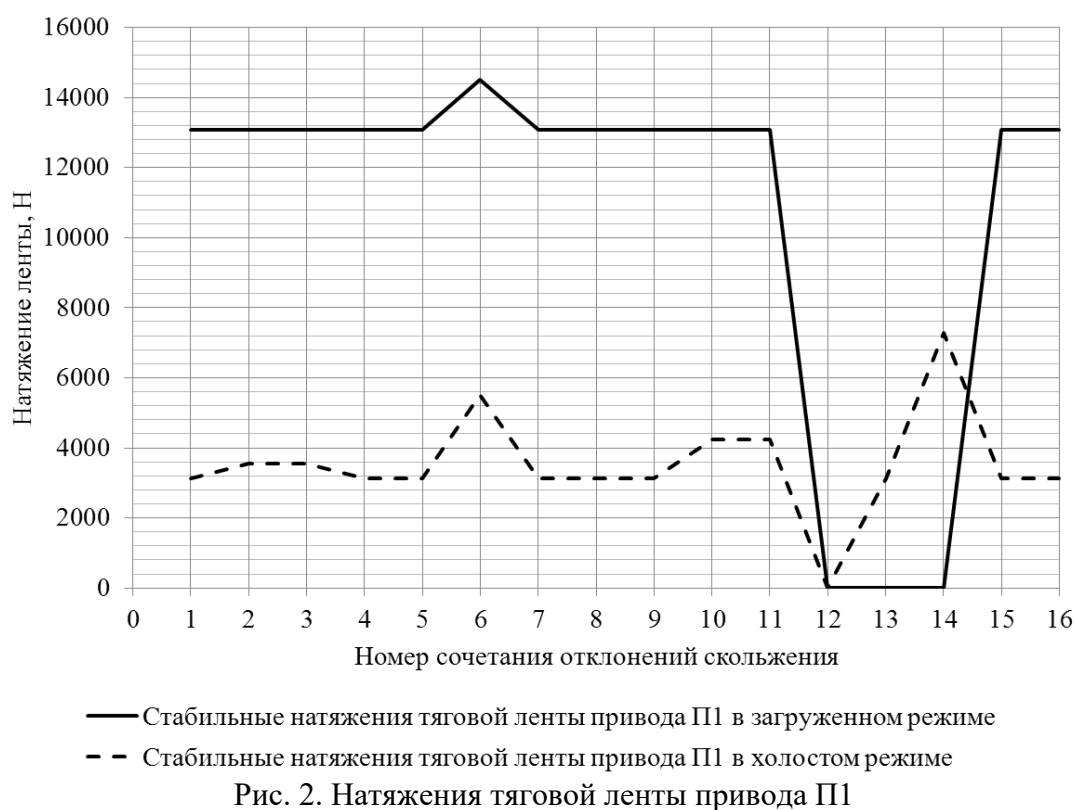


Рис. 2. Натяжения тяговой ленты привода П1

Обеспечение натяжения 22000 Н объясняется необходимостью устранения провисания грузонесущей ленты. Наименьший диапазон стабильного натяжения грузонесущей ленты при переходе от холостого режима к полностью загруженному наблюдается для 15-го сочетания отклонений скольжения электродвигателей (от 4350 Н до 11524 Н при максимальном натяжении ленты 32297 Н). При этом в 15-м сочетании наблюдается специфическая картина: максимальное натяжение грузонесущей ленты при работе в хо-

лостом режиме соразмерно её стабильному натяжению при работе в полностью загруженном режиме.

Необходимое стабильное натяжение тяговых лент промежуточных ленточных приводов, в среднем, изменяется в пределах 10000 Н при постепенной загрузке конвейера. Каждому из промежуточных приводов соответствует какое-либо одно сочетание отклонений скольжения, при котором данный привод из-за отклонения механической характеристики воспринимает наибольшую нагрузку.



Рис. 3. Натяжения тяговой ленты привода П2

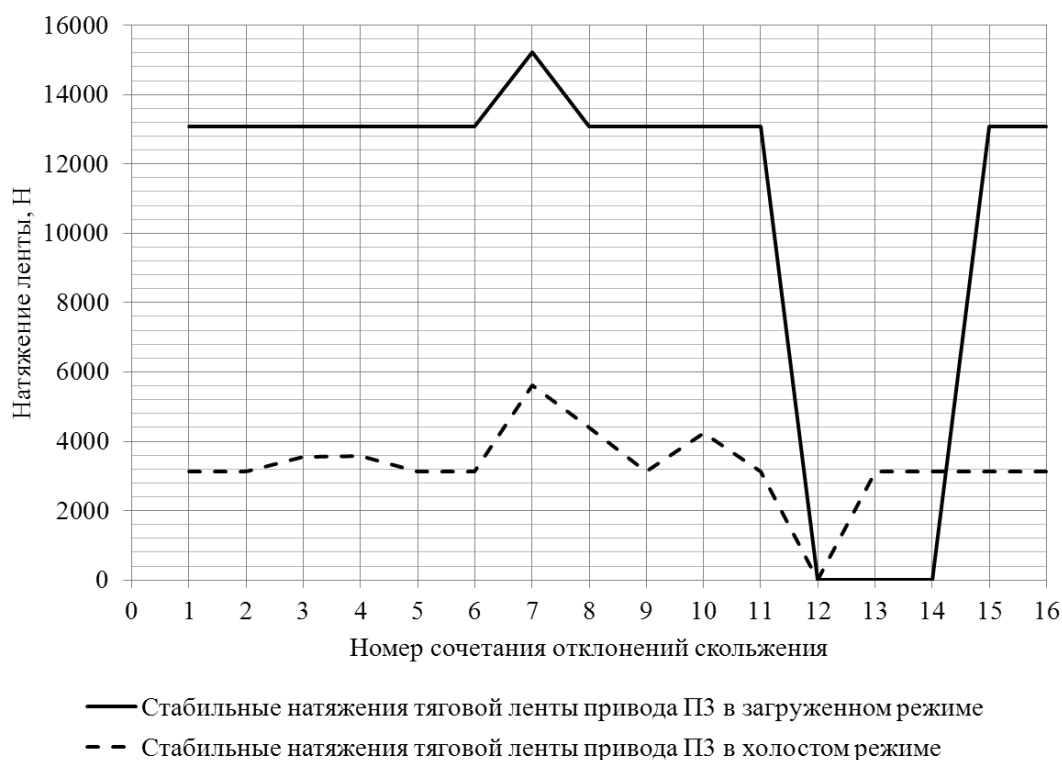


Рис. 4. Натяжения тяговой ленты привода П3

4. Результаты и их анализ

При анализе работы грузонесущей ленты в различных сочетаниях отклонений скольжения электродвигателей приводов можно

сделать однозначный вывод о нестабильности величины коэффициента асимметрии цикла перемены напряжений (рис. 5), что фактически можно интерпретировать как прямую зависимость ресурса грузонесущей

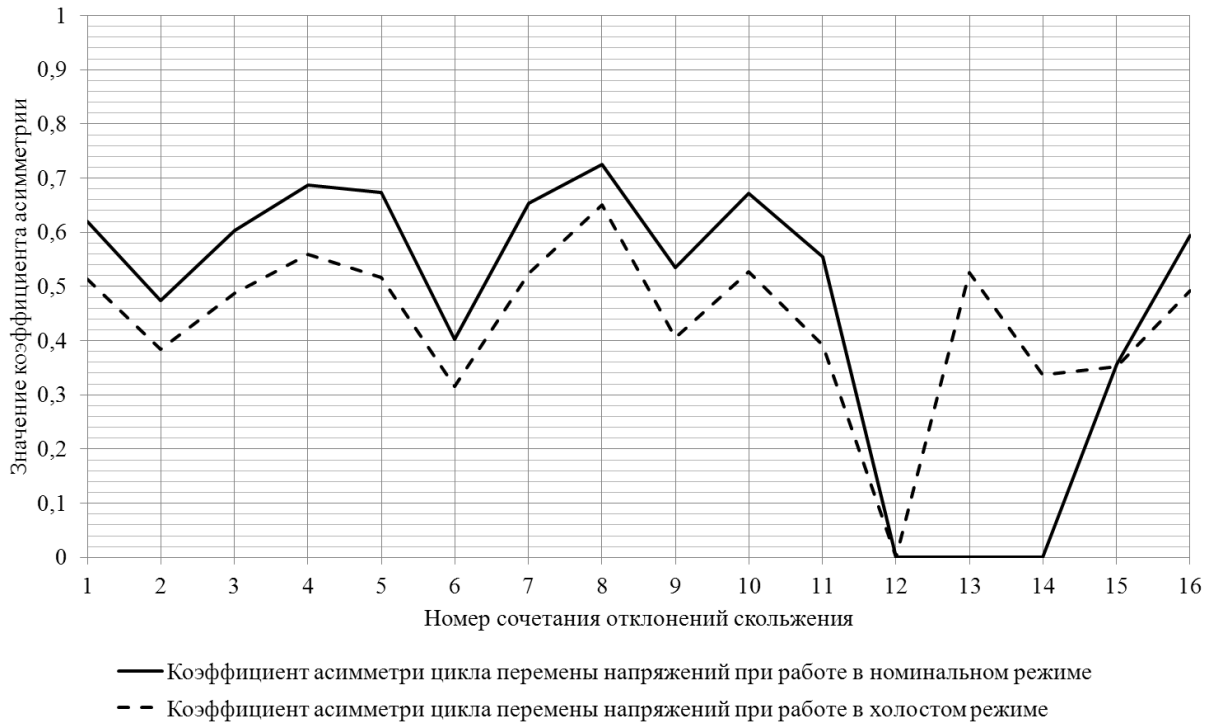


Рис. 5. Изменение коэффициента асимметрии цикла перемены напряжений в грузонесущей ленте при работе конвейера

ленты от вида механических характеристик приводов.

В работе [11] описан подход к определению наработки на отказ стыкового соединения конвейерной ленты, базирующийся на усталостном характере разрушения соединительного слоя стыка, описываемом с помощью кривой усталости (кривой Веллера). С учетом общего вида уравнения кривой, а также при использовании линейной интерполяции предельной диаграммы выносливости (схема Гудмана) [11], зависимость для определения числа циклов до разрушения стыкового соединения при заданной переменной нагрузке можно записать в виде [11]:

$$n = \frac{(\tau_{-1})^m N_0 \left[\tau_{\text{сп}} - \tau_{\text{max}} \left(\frac{1+\rho}{2} \right) \right]^m}{(\tau_{\text{max}})^m \left(\frac{1-\rho}{2} \right)^m (\tau_{\text{сп}})^m}, \quad (2)$$

где τ_{-1} – предел усталости по касательным напряжениям; τ_{max} – максимальное напряже-

ние цикла; $\tau_{\text{сп}}$ – предельное значение предела усталости τ_{-1} при его приведении к значению, соответствующему коэффициенту асимметрии цикла $\rho = 1$; N_0 – базовое число циклов при испытании образцов; n – число циклов до разрушения стыкового соединения при заданной переменной нагрузке; m – показатель кривой усталости.

В рамках оценки влияния отклонения механических характеристик приводов ленточных конвейеров на величину ресурса грузонесущей ленты зависимость (2) можно использовать в сравнительной постановке, при которой значение ресурса для какого-либо сочетания будет являться относительной величиной, привязанной к ресурсу n_0 сочетания отклонения скольжения, принятого в качестве нулевого.

Таким образом, с учетом зависимости (2) для ресурса n_i i -го сочетания отклонения можно записать

$$\frac{n_i}{n_0} = \frac{\left[\tau_{ep} - \tau_{maxi} \left(\frac{1 + \rho_i}{2} \right) \right]^m (\tau_{max0})^m \left(\frac{1 - \rho_0}{2} \right)^m (\tau_{ep})^m}{\left[\tau_{ep} - \tau_{max0} \left(\frac{1 + \rho_0}{2} \right) \right]^m (\tau_{maxi})^m \left(\frac{1 - \rho_i}{2} \right)^m (\tau_{ep})^m}. \quad (3)$$

Преобразуя зависимость (3), при переходе от действующих напряжений к натяжени-

ям ленты при одинаковых геометрических параметрах сечения последней запишем:

$$\frac{n_i}{n_0} = \frac{\left[S_{ep} - S_{maxi} \left(\frac{1 + \rho_i}{2} \right) \right]^m (S_{max0})^m \left(\frac{1 - \rho_0}{2} \right)^m (S_{ep})^m}{\left[S_{ep} - S_{max0} \left(\frac{1 + \rho_0}{2} \right) \right]^m (S_{maxi})^m \left(\frac{1 - \rho_i}{2} \right)^m (S_{ep})^m}. \quad (4)$$

Величину S_{ep} примем в виде доли от разрушающей нагрузки S_p ленты, но большей, чем S_{max0} , т.е.

$$S_{ep} = k S_{max0}, \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности (принимается в пределах $1 \dots n_3$, где n_3 – коэффициент запаса прочности ленты).

С учетом формулы (5) зависимость (4) примет вид

$$\frac{n_i}{n_0} = \frac{\left[k S_{max0} - S_{maxi} \left(\frac{1 + \rho_i}{2} \right) \right]^m (S_{max0})^m \left(\frac{1 - \rho_0}{2} \right)^m}{\left[k S_{max0} - S_{max0} \left(\frac{1 + \rho_0}{2} \right) \right]^m (S_{maxi})^m \left(\frac{1 - \rho_i}{2} \right)^m}. \quad (6)$$

На рис. 6 представлены результаты расчета относительного ресурса грузонесущей ленты многоприводного конвейера с учетом зависимости (6) и данных табл. 1. В качестве нулевого принято 15-е сочетание отклонений скольжения с наименьшим значением $\rho = 0,357$. Параметр кривой усталости Веллера m примем равным $m = 3$. Увеличение m (увеличение пологости кривой Веллера) в данном случае приведет к росту значений относительных ресурсов на несколько порядков по отношению к нулевому сочетанию отклонений скольжения. Значение коэффициента k последовательно принимается равным $k = 2$, $k = 10$.

На основе представленных результатов можно сделать следующие выводы:

1. В зависимости от сочетания отклонений скольжения коэффициенты асимметрии цикла перемены напряжений, действующих в ленте, могут существенно отличаться (от значения 0,726 при наибольшем диапазоне

изменения стабильного натяжения до значения 0,357 при наименьшем). В случае применения нерегулируемых в автоматизированном режиме натяжных устройств при переменности грузопотока (в том числе, при пуске порожнего конвейера) их настройка на создание постоянного стабильного натяжения в контуре конвейера создает повышенный уровень действующих напряжений в грузонесущей ленте. Необходимость управления натяжением тяговых лент обоснована обеспечением тяговой способности приводных барабанов. Аналогично ситуации с грузонесущей лентой настройка натяжных устройств промежуточных приводов на постоянное стабильное натяжение по результатам тягового расчета при полной загрузке приведет к созданию повышенного уровня действующих в тяговых лентах переменных напряжений.

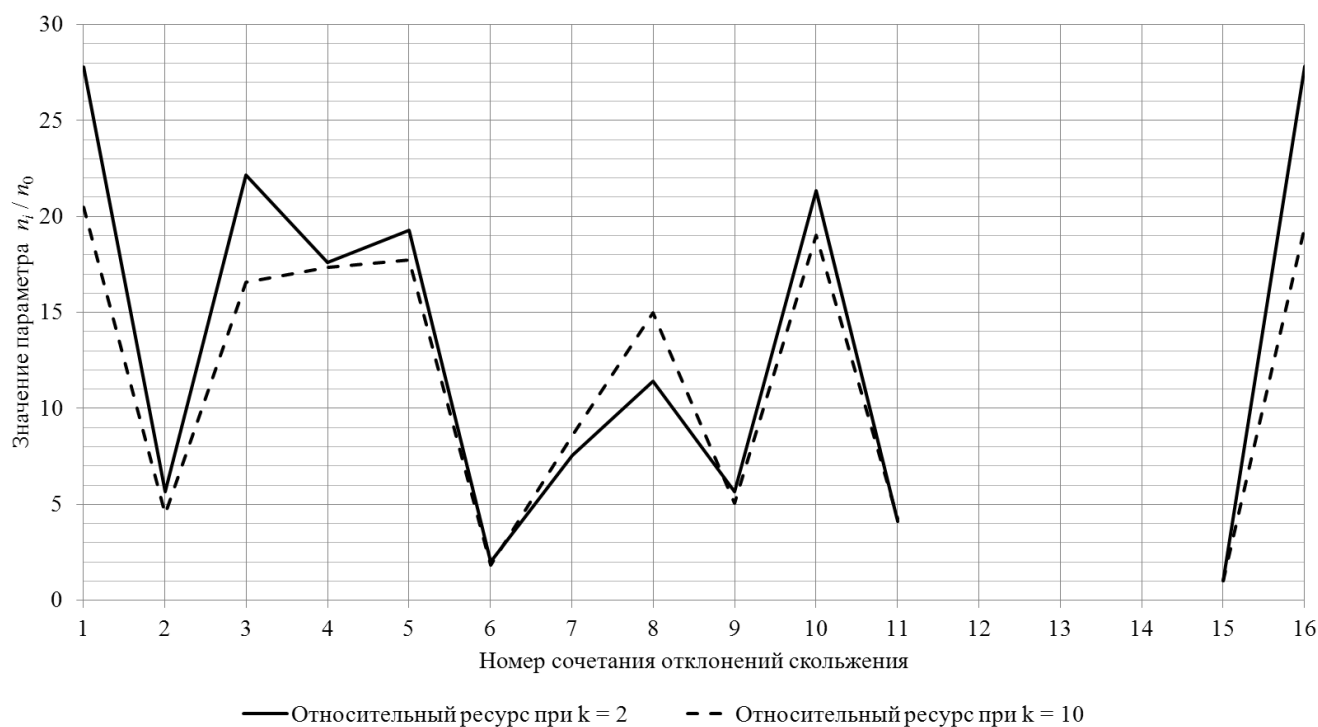


Рис. 6. Результаты расчета относительного ресурса грузонесущей ленты

2. Ресурс грузонесущей ленты рассмотренного многоприводного ленточного конвейера, измеряемый в количестве циклов перемены напряжений до отказа стыкового соединения, при $k = 2$ в сочетаниях 1 и 16 почти в 28 раз превышает нулевой ресурс, соответствующий сочетанию 15. Стоит отметить, что сочетанию 15 соответствует наибольшее из возможных максимальное натяжение грузонесущей ленты 32297 Н, а сочетаниям 1 и 16 – наименьшие из максимальных натяжений, равные соответственно 20358 Н и 19412 Н. Помимо сочетаний 1 и 16 благоприятными с позиции повышения ресурса ленты оказываются сочетания 3, 4, 5 и 10, для которых характерно максимальное натяжение грузонесущей ленты в среднем диапазоне (20915 Н – 25662 Н) при значении $\rho > 0,6$. Наименьший относительный ресурс грузонесущей ленты соответствует сочетаниям, в которых одновременно наблюдается высокое максимальное натяжение ленты и относительно низкий уровень значений ρ .

3 При увеличении коэффициента k до значения $k = 10$ (отражает кратное увеличение предела усталости стыкового соединения при постоянном нагружении) величины относительного ресурса в различных сочета-

ниях в целом уменьшаются (в сочетаниях 1 и 16 почти в 20 раз превышают нулевой ресурс), что при прочих равных параметрах свидетельствует об увеличении значения нулевого ресурса. При этом для сочетания 8 характерен рост величины относительного ресурса (сочетание 8 характеризуется самым высоким значением коэффициента асимметрии цикла $\rho = 0,726$).

4 Описанное в работе [11] предположение для вывода приближенной формулы для инженерных расчетов долговечности соединительного слоя стыка лент (основанное на зависимости (1)), заключающееся в равенстве отношения максимального и минимального напряжений в ленте тяговому фактору барабанного привода, не может применяться к тяговым и грузонесущим лентам многоприводных конвейеров, особенно при переменности грузопотока.

5. Заключение

Приведенные результаты исследования параметров нагруженности грузонесущей ленты многоприводного конвейера позволяют сделать общий вывод о необходимости глубокой проработки вопросов отклонения ме-

ханических характеристик приводов протяженных ленточных конвейеров на стадии проектирования.

При этом возможность следящего регулирования натяжений лент в многоприводных конвейерах без остановки последних является одним из ключевых управляющих воздействий для повышения эффективности их

эксплуатации (в том числе в вопросах реализации в реальном времени мер по увеличению ресурса лент посредством управления их натяжениями), и разработка конструкций натяжных устройств, позволяющих осуществлять указанное воздействие, представляет собой актуальную задачу.

Список литературы

1. Гончаров К.А. Определение зон относительного скольжения и покоя грузонесущей и тяговой лент при использовании промежуточных приводов ленточных конвейеров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2015. №2. С.31–37.

2. Гончаров К.А. Особенности построения вероятностной математической модели распределения тяговых усилий в многоприводном ленточном конвейере // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. №4. С.380–389.

3. Goncharov K.A., Grishin A.V. Theoretical study of influence of belt tension of intermediate belt conveyor drive on value of zone of relative slip of traction and carrying belts // IOP Conf Series: Earth and Environmental Science 87 (2017) 022008.

4. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н. Исследование движения подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально-замкнутой трассой с помощью одномассовой динамической модели // Вестник Брянского государственного технического университета. 2013. №4. С. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302214>

5. Гончаров К.А., Гришин А.В. Экспериментальное исследование влияния натяжения тяговой и грузонесущей лент на тяговую способность промежуточного привода ленточного конвейера // Вестник Брянского государственного технического университета, 2018. №6 (67). С.98–109.

6. Гончаров К.А., Гришин А.В. Экспериментальное исследование влияния дефектов монтажа на тяговую способность промежуточного привода ленточного конвейера // Научно-технический вестник

References

1. Goncharov K.A. Determination of relative immobile and sliding areas between carrying and tractive belts in using of belt conveyor intermediate drives. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 31-37. (In Russian)

2. Goncharov K.A. Design features of probabilistic mathematical model of tractive effort distribution in multidrive belt conveyor. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.4, pp. 380-389. (In Russian)

3. Goncharov K.A., Grishin A.V. Theoretical study of influence of belt tension of intermediate belt conveyor drive on value of zone of relative slip of traction and carrying belts. *IOP Conf Series: Earth and Environmental Science 87* (2017) 022008

4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. The study of the motion of suspensions of discrete section of a conveyor with suspended belt, distributed drive, and the vertically-closed track with the single-mass dynamic model. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 33–40. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302214> (In Russian)

5. Goncharov K.A., Grishin A.V. Experimental investigation of traction and load-carrying belt tension impact upon intermediate drive tractive ability of belt conveyor. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, No.6 (67), pp. 98-109. (In Russian)

6. Goncharov K.A., Grishin A.V. Experimental study of influence of installation faults on tractive ability of belt conveyor intermediate drive. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*,

Брянского государственного университета, 2017. №3. С.289–295.

7. Гончаров К.А. Установление закономерностей совместной работы приводов ленточного конвейера при наличии случайных отклонений скольжения их электродвигателей // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2020. №2. С. 218-229.

8. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. № 3. С. 44-52. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302231>

9. Лагереv А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники. Брянск: БГТУ, 2010. 180 с.

10. Гончаров К.А. Метод предельных состояний при проектировании металлоконструкций подъемно-транспортных машин. Брянск: БГТУ, 2015. 91 с.

11. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 543 с.

12. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1983. 437 с.

13. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н., Гончаров К.А. Моделирование рабочих процессов и проектирование многоприводных ленточных конвейеров. Брянск: РИО БГУ, 2017. 384 с.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612>

2017, No.3, pp. 289-295. (In Russian)

7. Goncharov K.A. Establishing principles of joint operation of belt conveyor drives in case of random slide deviations of their electric motors. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 218-229. (In Russian)

8. 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. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302231> (In Russian)

9. Lagerev A.V. *Nagruzhennost podemno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1306614> (In Russian)

10. Goncharov K.A. *Metod predelnykh sostoyaniy pri proektirovanii metallicheskiy konstruktsey podyemno-transportnykh mashin* [The method of limiting states in the design of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskiy Universitet, 2015. 91 p. (In Russian)

11. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P. Actual theory of belt conveyors in mining: tutorial. and others. Moscow, MSMU publishing company, 2005. 543 p.

12. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. *Transporting machines*. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 437 p. (In Russian)

13. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochnik protsessov i proektirovanie mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov* [Modeling of work processes and design of multi-drive belt conveyors]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612> (In Russian)