

УДК 621.867

## ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВЕСОК НА ТРАССЕ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ ПРИ НАРУШЕНИИ ПОДВОДА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРИВОДОВ

Толкачев Е.Н.

ЗАО «Брянский Арсенал» (Брянск, Россия)

Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с моделированием отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Используя разработанную математическую модель отказов ведущих подвесок вследствие разрыва электроцепи, для эталонной конструкции конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом выполнено моделирование динамических характеристик. Проведено исследования влияния месторасположения отказавших приводных подвесок на трассе на главные технические характеристики конвейера с подвесной лентой.

**Ключевые слова:** конвейер ленточный, лента подвесная, модель математическая, отказ, подвеска, привод распределенный, обрыв электроцепи.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-434

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

Конвейеры с подвесной лентой и распределенным приводом (рис. 1) относятся к многоприводным ленточным конвейерам [1, 2] и предназначены для беспросыпного транспортирования груза по трассе сложной пространственной конфигурации и неограниченной протяженности. Технические особенности и конструктивные преимущества конвейера неоднократно приводились в более ранних научных публикациях [3-7]. Тем не менее, необходимо отметить, что многоприводность в

данных конвейерах реализована посредством оборудования части роликовых подвесок индивидуальными мотор-редукторными приводами [8-12]. Большое количество элементов и общая сложность механической системы обуславливают необходимость проведения исследований, направленных на изучение влияния возможных отказов на главные технические показатели и оценку надежности конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом [13].

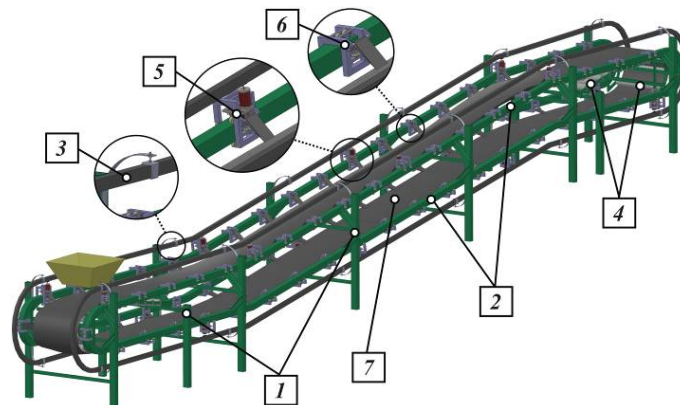


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1 – стая; 2 – направляющие качения; 3 – токоведущий тролейный шинопровод; 4 – стационарные роликоопоры; 5 – приводные подвески; 6 – неприводные подвески; 7 – лента

Выходящие из строя приводные подвески в момент отказа имеют произвольное расположение на трассе. В тоже время, можно выделить крайние расчетные ситуации, когда подвески распределены с непостоянным ша-

гом по всей трассе, либо, наоборот, отказавшие подвески скоплены в одной области. В особенности, учитывая последнюю расчетную ситуацию, важно первоначально оценить – влияет ли на результаты расчета ди-

намических характеристик конвейера место-расположение отказавших подвесок на трассе. Используя приведенную в [14] математическую модель отказа ведущих подвесок вследствие обрыва цепи электропитания, проанализируем влияние месторасположения группы отказавших приводных подвесок

на трассе на результаты расчета главных технических характеристик конвейера с подвесной лентой.

В качестве эталонного варианта выбран конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом, технические характеристики которого представлены на рис. 2 и табл. 1.

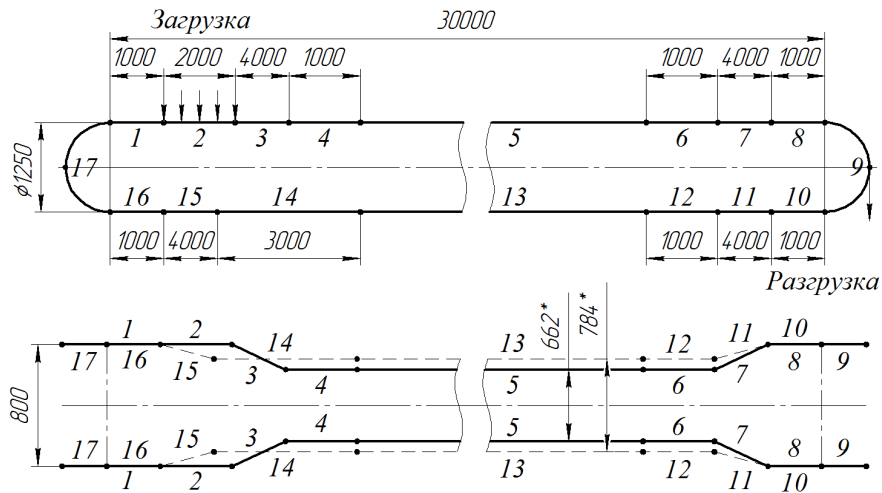


Рис. 2. Схема трассы эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1-8 – грузовая ветвь; 10-16 – холостая ветвь; 9, 17 – концевые поворотные участки; 2 – загрузочный пункт; 3, 11 – желобообразующие участки; 7, 15 – выполаживающие участки; 5, 13 – линейные участки

Технические характеристики эталонного конвейера

Таблица 1

Технические параметры	Значение
Общие параметры	
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/ч	200
Объемная плотность транспортируемого груза $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	1,2
Угол естественного откоса груза $\varphi$ , град	20
Скорость транспортирования расчетная $v_{cp}$ , м/с	1,0
Общее количество подвесок на одном контуре $n$ , шт.	80
Количество приводных подвесок (дискретных участков) на контуре $n_n$ , шт.	20
Количество подвесок в дискретном участке на одном контуре $n_{dy}$ , шт.	4
Шаг подвесок $h_n$ , м	0,8
Параметры подвесок	
Сила прижатия прижимного устройства ведущей подвески $F_{np}$ , Н	140
Номинальный крутящий момент на валу привода ведущей подвески $M_{крн}$ , Н·м	8,0
Номинальная скорость вращения $n_n$ , об/мин	148,0
Скорость вращения без нагрузки $n_x$ , об/мин	165,0

Окончание табл. 1

Масса металлоконструкции прижимной секции $m_{мкнс}$ , кг	1,0
Масса приводного ролика $m_{пр}$ , кг	2,0
Масса мотор-редуктора $m_{мр}$ , кг	4,2
Масса металлоконструкции несущей секции $m_{мкнс}$ , кг	7,0
Масса неприводного ролика $m_{пр}$ , кг	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески $m_{мкнп}$ , кг	5,0
Наружный радиус приводного ролика $r_{пр}$ , м	0,065
Наружный радиус холостого ролика $r_{пр}$ , м	0,025
Внутренний радиус ролика $r_o$ , м	0,006
Коэффициент трения качения приводного ролика (резина-сталь) $f_{пр}$ , м	0,0077
Коэффициент трения скольжения приводного ролика (резина-сталь) $\mu_{пр}$	0,5
Коэффициент трения качения неприводного ролика (сталь-сталь) $f_{пр}$ , м	0,001
Коэффициент трения скольжения в оси неприводного ролика $\mu_{прo}$	0,03
Количество холостых роликов в приводной подвеске $k_{II}$ , шт.	6
Количество холостых роликов в неприводной подвеске $k_H$ , шт.	4
Параметры ленты	
Ширина ленты $B$ , м.	0,8
Число прокладок ленты $i_0$ , шт.	3
Толщина верхней обкладки $\delta_1$ /нижней обкладки $\delta_2$ , мм	1,0/2,0
Толщина тягового каркаса ленты $y_{max}$ , мм	3
Прочность ленты $[\sigma_p]$ , Н/мм	400
Модуль упругости ленты $E_x$ , МПа	380
Модуль упругости ленты в поперечном направлении $E_z$ , МПа	190
Коэффициент жесткости $k$ , кН/м	570
Коэффициент затухания колебаний $\xi$	0,05

Для достижения поставленной цели выполнен сравнительный расчет динамических характеристик эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

при различном времени наступления отказа (табл. 2). Схема исходного расположения ведущих и ведомых подвесок на трассе конвейера представлена на рис. 3.

Таблица 2

Расчетные варианты распределения отказавших приводных подвесок внутри контура

Количество во отказавших	Номер приводной подвески																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Вариант 1	✕	✕	✕	✕	✕						✕	✕	✕	✕	✕						
Вариант 2	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕											



Рис. 3. Схема исходного расположения ведущих и ведомых подвесок на трассе конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Моменты времени наступления отказа выбраны следующими:

1. 10 секунд – момент времени, при котором приводная подвеска №1, двигающаяся с номинальной скоростью в 1 м/с, окажется в начале грузового желобчатого участка конвейера (рис. 4, а и 8, а).

2. 30 секунд – момент времени, при котором приводная подвеска №1, двигающаяся с номинальной скоростью в 1 м/с, окажется в

конце грузовой ветви, следующие приводные подвески отказавшей группы займут положения на грузовой ветви (рис. 4, б и 8, б).

3. 60 секунд – момент времени, при котором приводная подвеска №1, двигающаяся с номинальной скоростью в 1 м/с, окажется в начале трассы на холостой ветви, и следующие за ней приводные подвески отказавшей группы займут положения на холостой ветви (рис. 4, в и 8, в).

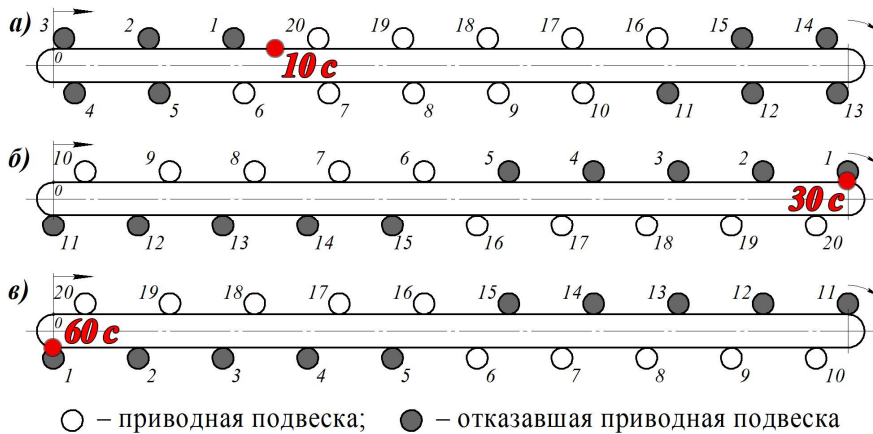


Рис. 4. Схема расположения приводных подвесок на трассе при наступлении отказа по варианту 1 (табл. 2) в моменты времени: а – 10 с; б – 30 с; в – 60 с

Результаты расчета по варианту 1 (табл. 2) основных технических характеристик конвейера представлены на рис. 5-7.

Изменение мощности конвейера с течением времени при отказе в различные моменты времени в целом имеет одинаковый характер распределения значений (рис. 5). В моменты наступления отказа наблюдаются резкие и кратковременные падения мощности до 25% от среднего значения в 4,8 кВт, однако далее прослеживаются участки со схожей амплитудой и частотой колебаний величины мощности. В целом падение средней величины мощности конвейера составляет порядка 3,9% от эталонного значения, соответствующего исправному состоянию конвейера.

Скорость транспортирования (рис. 6) изменяется аналогичным образом. Амплитуда

и частота колебаний значений имеет схожие области, а среднее значение скорости сохраняется одинаковым для различных моментов времени наступления отказа приводных подвесок и равно 0,974 м/с, что составляет 3,6% от средней величины скорости эталонного варианта.

Величины продольных напряжений увеличиваются при наступлении отказов приводных подвесок (рис. 7). Повышение максимальных значений составляет порядка 12% при значении 1,26 МПа для эталонного варианта. В остальном зависимости продольных напряжений в ленте при различном времени наступления отказа имеют одинаковый характер распределения значений.

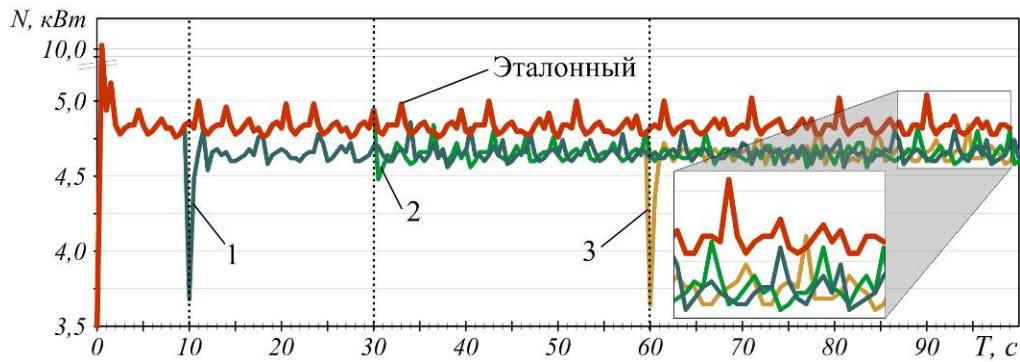


Рис. 5. Изменение мощности конвейера во времени при наступлении отказа по варианту 1 (табл. 2) в моменты времени: 1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с

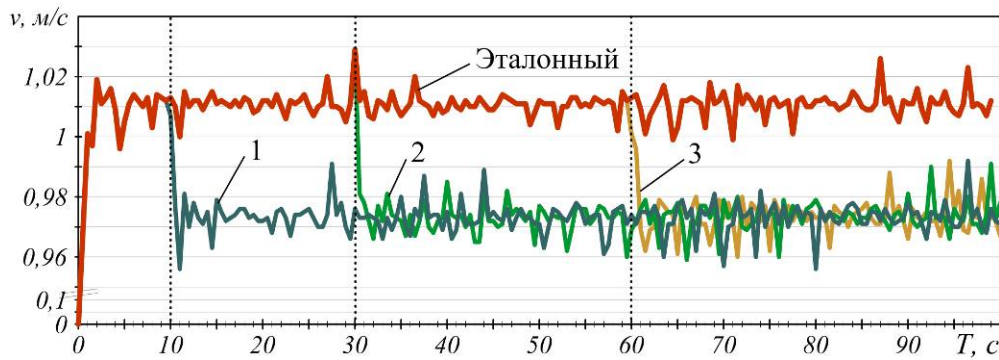


Рис. 6. Изменение скорости конвейера во времени при наступлении отказа по варианту 1 (табл. 2) в моменты времени: 1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с

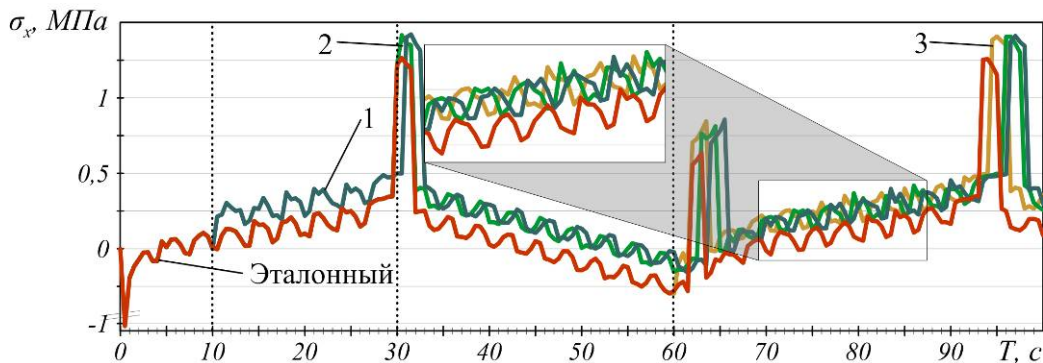


Рис. 7. Изменение продольных напряжений в ленте конвейера во времени при наступлении отказа по варианту 1 (табл. 2) в моменты времени: 1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с

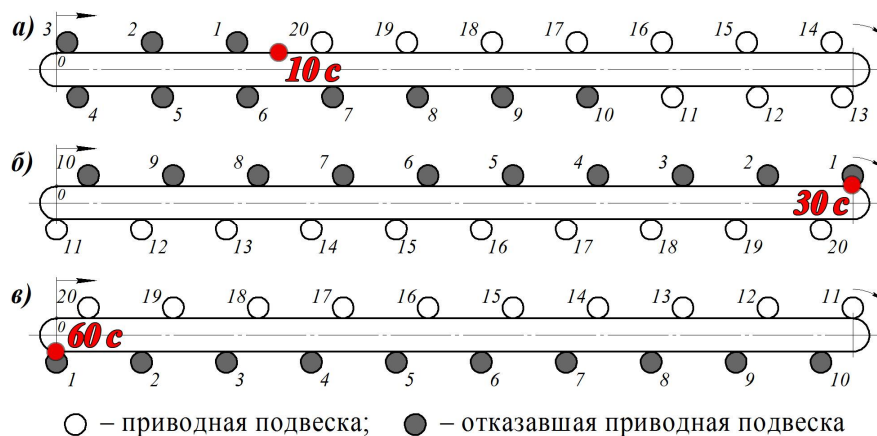


Рис. 8. Схема расположения приводных подвесок на трассе при наступлении отказа по варианту 2 в моменты времени: а – 10 с; б – 30 с; в – 60 с

Результаты расчета по варианту 2 (табл. 2) основных технических характеристик конвейера представлены на рис. 9-11.

Общая мощность приводов конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом (рис. 9) при различном времени наступления отказа в целом сохраняет характер распределения значений, в момент выхода из строя подвесок образуются «провалы» мощности до 50% от среднего значения в 4,8 кВт. Однако далее величины мощностей выравниваются и принимают средние значения порядка 4,4 кВт, а величина падения мощности составляет порядка 9,0%. Кроме того следует отметить некоторую увеличившуюся неравномерность колебаний величины общей мощности приводов конвейера: на участках грузовой ветви (интервалы времени от 10 до 30 с) частота и амплитуда колебаний заметно ниже эталонных значений, а при движении по холостой ветви (интервалы времени от 30 до 60 с) частота уменьшается, а амплитуда увеличивается.

Величины продольных напряжений увеличиваются при наступлении отказов при-

водных подвесок (рис. 7). Повышение максимальных значений составляет порядка 12% при значении 1,26 МПа для эталонного варианта. В остальном зависимости продольных напряжений в ленте при различном времени наступления отказа имеют одинаковый характер распределения значений.

Скорость транспортирования грузонесущей ленты (рис. 10) после наступления отказа для различных моментов времени наступления отказа одинаковая и имеет величину 0,922 м/с. Таким образом, сокращение скорости движения составляет порядка 8,8%.

Величины продольных напряжений в ленте конвейера (рис. 11) после выхода из строя подвесок повышаются. Максимальные значения напряжений, возникающие в области окончания грузонесущей ветви (моменты времени 30-36 с и 97-100 с) увеличиваются до 27...33% с эталонного значения в 1,26 МПа. В целом результаты изменения напряжений в ленте при различном времени отказа имеют схожий характер распределения значений.

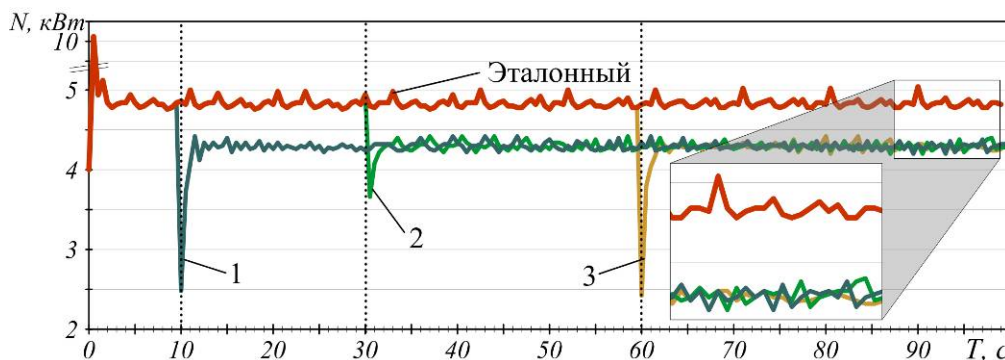


Рис. 9. Изменение мощности конвейера во времени при наступлении отказа по варианту 2 (табл. 2) в моменты времени: 1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с

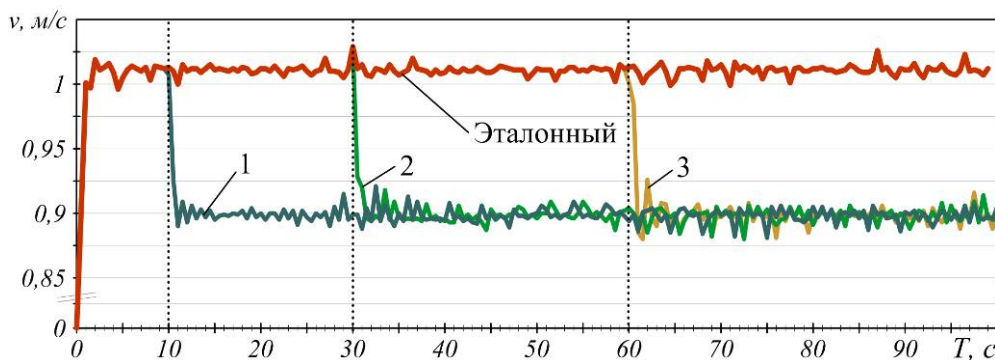


Рис. 10. Изменение скорости конвейера во времени при наступлении отказа по варианту 2 (табл. 2) в моменты времени: 1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с

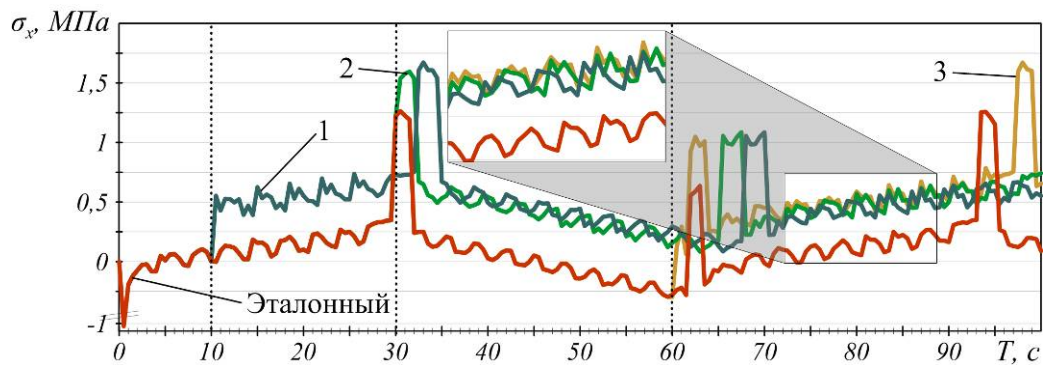


Рис. 11. Изменение продольных напряжений в ленте конвейера во времени при наступлении отказа по варианту 2 (табл. 2) в моменты времени: 1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с

**Выводы.** Результаты проведенного анализа влияния месторасположения групп приводных подвесок на трассе конвейера в момент наступления их отказа позволили установить, что значения рассчитываемых динамических характеристик (общей мощности приводов, скорости транспортирования груза и продольных напряжений в конвейерной ленте) сохраняются практически одинаковыми и мало зависят от положения отказавших подвесок на трассе. Такой результат позволяет обоснованно выполнять последующий комплекс расчетов, связанный с моделированием отказов при разрыве цепи электропитания приводов ведущих подвесок конвейера на трассе, выбирая произвольный наиболее удобный для расчета момент времени наступления отказа и соответствующую положению вышедшей из строя подвески точку на трассе.

#### Список литературы

1. Гончаров, К.А. Обоснование методики выбора рациональных вариантов систем приводов ленточных конвейеров на основе метода анализа иерархий / К.А. Гончаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 2. – С. 66-70. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-06.pdf>.
2. Гончаров, К.А. Определение зон относительного скольжения и покоя грузонесущей и тяговой лент при использовании промежуточных приводов ленточных конвейеров / К.А. Гончаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 31-37. – Режим

доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-04.pdf>.

3. Лагереv, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагереv, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал, 2009. – № 10. – С. 9-14.

4. Лагереv, А.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 303 с.

5. Lagerev, A.V. Analyzing the Discreet Section Suspension Parameters in a Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive / A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev, I.A. Lagerev // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2017. – Vol. 31, № 10. – P. 4669-4678.

6. 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, No. 4. – P. 271-279.

7. Толкачев, Е.Н. Особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, в зависимости от их пространственной конфигурации на трассе / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 44-51. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-06.pdf>.

8. Лагереv, А.В. Определение рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 4. – С. 25-34.

9. Лагереv, А.В. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2 (84). – С. 17-20.

10. Толкачев Е.Н. Математическая модель отказа приводов ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2017. - № 3. - С. 333-343. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343

11. Лагереv, А.В. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом / А.В. Лагереv, Д.Ю. Кулешов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013.- №2. – С. 50-56.

12. Лагереv, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой

трассой / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. - № 3. - С. 44-52.

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

14. Толкачев, Е.Н. Математическая модель отказа приводов ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при разрыве электроцепи / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – № 2. – С. 178-189. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189

#### Сведения об авторе

Толкачев Евгений Николаевич – инженер-конструктор ЗАО «Брянский Арсенал», *tolkachev\_en@mail.ru*.

## THE IMPACT OF THE PROVISIONS OF THE SUSPENSIONS ON THE TRACK OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE IN VIOLATION OF THE POWER SUPPLY OF THE DRIVES

Tolkachev E.N.

CJSC "Bryanskiy Arsenal"

The article is devoted to the topical issue, which is related to simulation of the failures of drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive. Using the developed mathematical model of the failures drives suspensions due to the breakage of the electric circuit to the reference design of conveyor with suspended belt and distributed drive is performed modelling of dynamic characteristics. Investigation of the influence of the location of the failed drives suspensions on the track on the main technical characteristics of the conveyor belt with suspended belt was carried out.

**Key words:** *conveyor belt, distributed drive, electric circuit break, failure, mathematical model, suspended belt, suspension.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-434

#### References

1. Goncharov K.A. Substantiation of selection method of preferred alternative of belt conveyor drive systems on the basis of the analytic hierarchy process. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*,

2016, No.2, pp. 66-70. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N2/2016-02-06.pdf>. (In Russian)

2. Goncharov K.A. Determination of relative immobile and sliding areas between carrying and tractive belts in using of belt conveyor



intermediate drives. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 31-37. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-04.pdf>. (In Russian)

3. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport mashines. *Inzhenernyy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp. 9-14. (In Russian)

4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovjak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the hanging ribbon]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 303 p. (In Russian)

5. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. Analyzing the Discreet Section Suspension Parameters in a Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2017, Vol. 31, No. 10, pp. 4669-4678. (In Russian)

6. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev I.A. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *International Review on Modelling and Simulations*. 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 271-279. (In Russian)

7. Tolkachev E.N. Specifics of determining the forces are applied to the suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive, depending on their spatial configuration on the route. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No. 2, pp. 44-51. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-06.pdf>. (In Russian)

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, pp. 25-34. (In Russian)

9. 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. (In Russian)

10. Tolkachev E.N. Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at jamming rollers. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No. 3, pp. 99-109. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343 (In Russian)

11. 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. (In Russian)

12. 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. (In Russian)

13. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochih protsessov i proektirovanie mnogoprivodnyh lentochnyh konveyerov* [Modeling of work processes and the design of multi-drive belt conveyor]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p. (In Russian)

14. Tolkachev E.N. Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at break in the electric chain. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No. 2, pp. 178-189. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189 (In Russian)

#### Author' information

Evgeniy N. Tolkachev - engineer- constructor at CJSC "Bryanskiy Arsenal", [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru).

Дата принятия к публикации  
(Date of acceptance for publication)  
04.10.2017

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.12.2017

