

УДК 621.867

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ОТКАЗАВШИХ ПРИВОДНЫХ ПОДВЕСОК КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ ПРИ ЗАКЛИНИВАНИИ ПРИВОДНЫХ РОЛИКОВ

Толкачев Е.Н.

ЗАО «Брянский арсенал» (Брянск, Россия)

Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с математическим моделированием отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой. Используя разработанную математическую модель отказов ведущих подвесок вследствие заклинивания приводного ролика, для эталонной конструкции конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом выполнен комплекс расчетов динамических характеристик. Проведено исследование влияния количества и взаимного расположения отказавших приводных подвесок на трассе на главные технические характеристики конвейера с подвесной лентой.

Ключевые слова: заклинивание роликов, конвейер ленточный, лента подвесная, модель математическая, отказ, подвеска, привод распределенный.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-203-210

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

Данная статья является продолжением ранее опубликованных работ [1-4] и посвящена исследованию технических характеристик конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом [5-7] при наступлении отказов ведущих подвесок вследствие заклинивания приводных роликов.

Возникновение подобной разновидности отказов обуславливается работой встроженных тормозов нормально-замкнутого типа при нештатном отключении мотор-редукторного привода или заклиниванием выходного вала привода в результате разрушения элементов составных частей редуктора или электродвигателя. Особенность проявления данного вида отказа заключается в том, что при его наступлении перемещение ведущей подвески сопровождается скольжением (юзом) приводного ролика. В таком случае крутящий момент на валу мотор-редуктора обращается в ноль, а сопротивление движению от силы трения качения изменяется на сопротивление от сил трения скольжения. На данном ключевом отличии основана разработанная математическая модель динамики элементов конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при возникновении отказов вследствие заклинивания приводных роликов ведущих подвесок [1]. Модель позволяет выполнять расчеты динамических характеристик кон-

вейера с подвесной лентой и распределенным приводом для вертикально-замкнутой трассы произвольной длины и конфигурации с достаточно большим количеством приводных и неприводных подвесок, а также широким диапазоном варьируемых технических параметров элементов конструкции.

В выполненных расчетах использовалась конструкция эталонного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, схема конфигурации трассы и основные технические характеристики которого приведены в работах [2, 4, 8]. Моделирование динамических характеристик конвейера выполнялось в интервале времени от 0 до 100 с с шагом 0,01 с. Время наступления отказа приводной подвески № 1 принято равным 10 с. Начальные линейные перемещения подвесок равны длине пути от начала грузовой ветви вдоль направляющих качения до соответствующего положения подвесок на трассе, в то время как угловые перемещения, а также линейные и угловые скорости принимались равными нулю.

Влияние количества и взаимного расположения последовательно отказавших вследствие заклинивания ведущих роликов приводных подвесок на главные показатели конвейера оценивалось в соответствии с расчетными вариантами, приведенными в таблице. Используемый для анализа последова-

тельный и упорядоченный выбор взаимного расположения отказывающих приводных подвесок обусловлен результатами полученных ранее расчетов [3]. При исследовании упорядоченного и произвольного располо-

жения отказавших подвесок на трассе установлено, что наихудшее сочетание технических характеристик конвейера соответствуют моделируемой конфигурации, при которой группа последовательно расположенных

Таблица
Основные промежуточные расчетные варианты сочетания отказавших приводных подвесок эталонной конструкции конвейера [2, 4]

Вариант	Номер приводной подвески																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$B_{0,0}$																				
$B_{1,1}$	X																			
$B_{2,1}$	X	X																		
$B_{3,1}$	X	X	X																	
$B_{4,1}$	X	X	X	X																
$B_{5,1}$	X	X	X	X	X															
$B_{6,1}$	X	X	X	X	X	X														
$B_{7,1}$	X	X	X	X	X	X	X													
$B_{8,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X												
$B_{9,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
$B_{10,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
$B_{11,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
$B_{12,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
$B_{13,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
$B_{14,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
$B_{15,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
$B_{16,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
$B_{17,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
$B_{18,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
$B_{19,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
$B_{20,1}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
$B_{2,2}$	X										X									
$B_{4,2}$	X	X									X	X								
$B_{6,2}$	X	X	X								X	X	X							
$B_{8,2}$	X	X	X	X							X	X	X	X						
$B_{10,2}$	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X					
$B_{12,2}$	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X				
$B_{14,2}$	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X			
$B_{16,2}$	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X		
$B_{18,2}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
$B_{4,4}$	X					X					X									
$B_{8,4}$	X	X				X	X				X	X								
$B_{12,4}$	X	X	X			X	X	X			X	X	X							
$B_{16,4}$	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X						
$B_{5,5}$	X				X					X										
$B_{10,5}$	X	X			X	X				X	X									
$B_{15,5}$	X	X	X		X	X	X			X	X	X								
$B_{10,10}$	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

отказавших приводных подвесок скапливается в одной области. Поэтому для выполнения последовательного сравнительного анализа динамических характеристик при различном количестве отказавших приводных подвесок сформирован ряд промежуточных расчетных случаев упорядоченного расположения отказавших подвесок.

В представленной таблице расчетные варианты имеют обозначение в виде $V_{X,Y}$, где X – общее количество отказавших приводных подвесок; Y – количество групп последовательно отказавших приводных подвесок, расположенных с равным шагом вдоль трассы.

На рис. 1-3 представлено распределение мощности конвейера, скорости транспортирования груза, а также продольных напряжений в грузонесущей ленте в зависимости от количества и взаимного упорядоченного расположения отказавших приводных подвесок на трассе конвейера. С сокращением количества групп последовательно отказавших приводных подвесок, расположенных с равным шагом вдоль трассы, в рамках неизменного количества отказавших подвесок мощность приводов и скорость движения сокращаются, а напряжения в конвейерной ленте увеличиваются.

Полученные результаты подтверждают данные [3], что при увеличении концентрации отказавших приводных подвесок в одной области исследуемые технические характеристики конвейера принимают наиболее неблагоприятные значения.

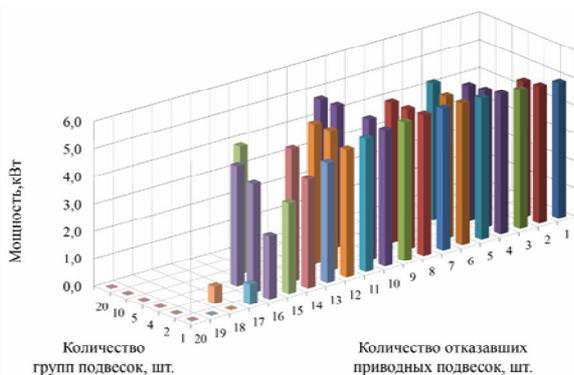


Рис. 1. Распределение величины общей мощности приводов подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом в зависимости от взаимного сочетания на трассе отказавших приводных подвесок

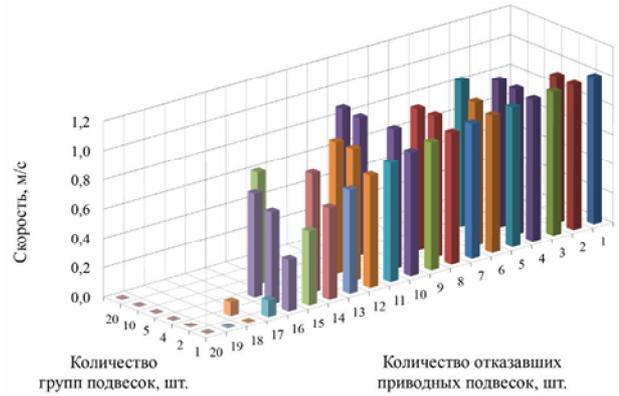


Рис. 2. Распределение величины скорости транспортирования конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом в зависимости от взаимного сочетания на трассе отказавших приводных подвесок

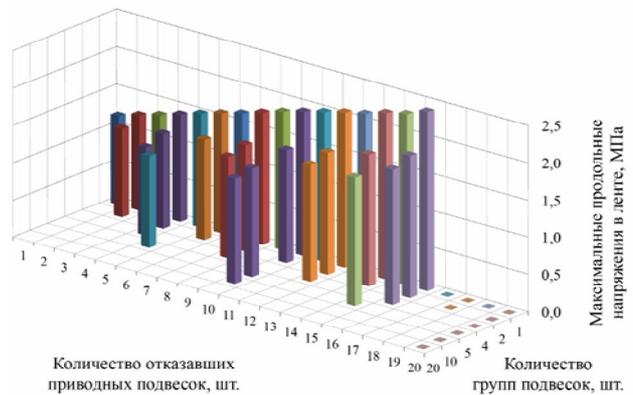


Рис. 3. Распределение величины максимальных продольных напряжений в ленте конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом в зависимости от взаимного сочетания на трассе отказавших приводных подвесок

Далее выполнен анализ результатов сравнительного расчета главных технических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, полученных при варьировании количества отказавших приводных подвесок, находящихся в составе одной группы последовательно расположенных приводных подвесок.

Момент времени наступления отказа части приводных подвесок (10 с) характеризуется скачкообразным изменением исследуемых технических характеристик. Последующее движение подвесок для расчетных вариантов $V_{1,1}$ – $V_{17,1}$ сопровождается колебательным изменением величин мощности приводов подвесок и скорости транспортирования (рис. 4), причем амплитуда и период

колебаний повышаются с увеличением количества отказавших подвесок вследствие заклинивания ведущего ролика приводных подвесок. Следует отметить, что зависимости изменения скорости транспортирования во времени характеризуются постоянным сокращением величин при увеличении количества отказавших приводных подвесок. В то же время значения величин общей мощности

конвейера с ростом количества отказавших приводных подвесок повышаются для вариантов В1,1 – В7,1 и убывают для вариантов В8,1 – В17,1. Полная потеря работоспособности и остановка конвейера происходит в вариантах расчета В18,1 – В20,1, когда исследуемые динамические характеристики обращаются в ноль.

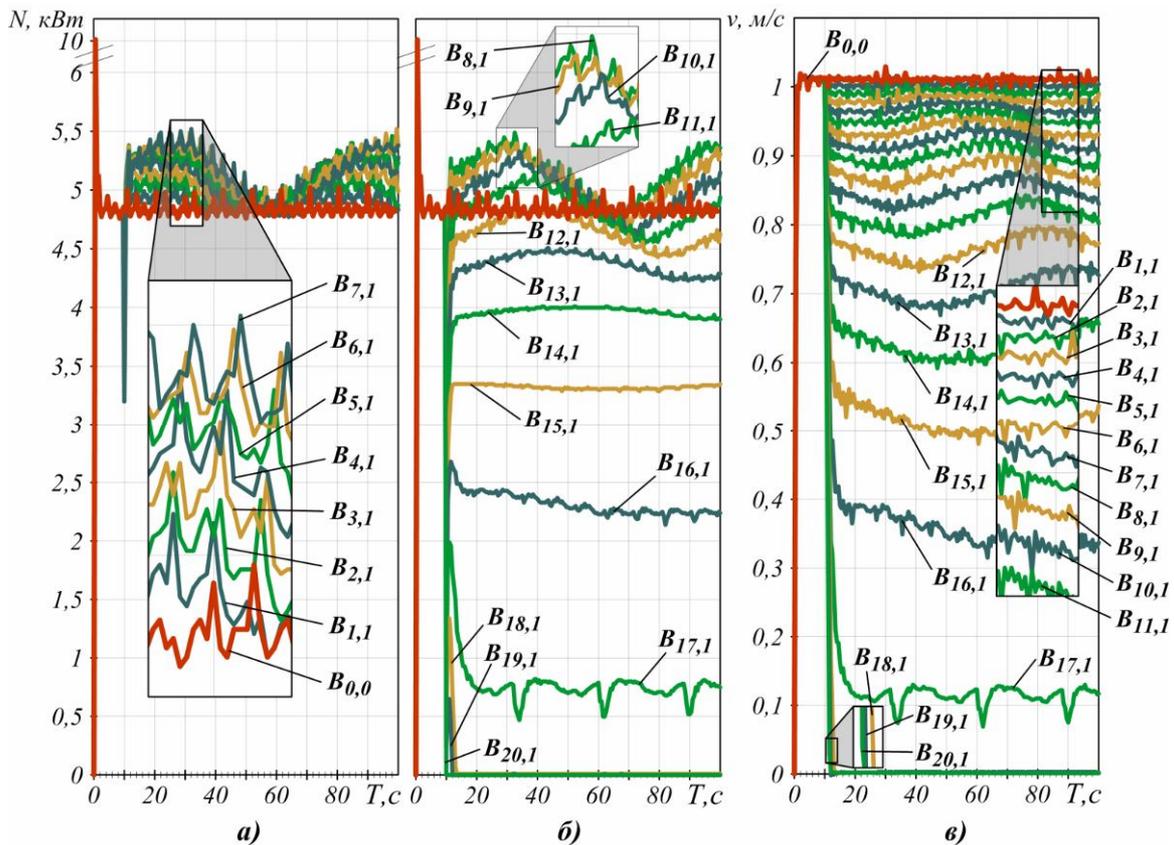


Рис. 4. Изменение во времени в зависимости от количества отказавших подвесок технических характеристик конвейера:
 а – мощности ($B_{1,1} - B_{7,1}$); б – мощности ($B_{8,1} - B_{20,1}$); в – скорости

Зависимости усредненных значений мощности конвейера и скорости транспортирования, измеренных после наступления отказа, от количества вышедших из строя приводных подвесок приведены на рис. 5. Видно, что общая мощность конвейера повышается практически до отказа 35% приводных подвесок, после чего стремительно снижается до нуля. Скорость конвейера постоянно убывает, причем после отказа порядка 50% приводных подвесок ее сокращение протекает несколько стремительнее. Полная остановка конвейера наступает при отказе 90% приводных подвесок.

В расчетном случае, связанном с отказом приводных подвесок вследствие заклинивания ведущих роликов, локальное повышение общей мощности конвейера при отказе малого количества подвесок обосновывается следующим. Общая мощность конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом складывается из мощностей приводов, встроенных в ведущие подвески. При выходе из строя ведущей подвески происходит сокращение общей мощности конвейера на величину мощности отказавшего привода.

Вместе с тем возникающие в результате заклинивания и образования трения скольжения дополнительные сопротивления дви-

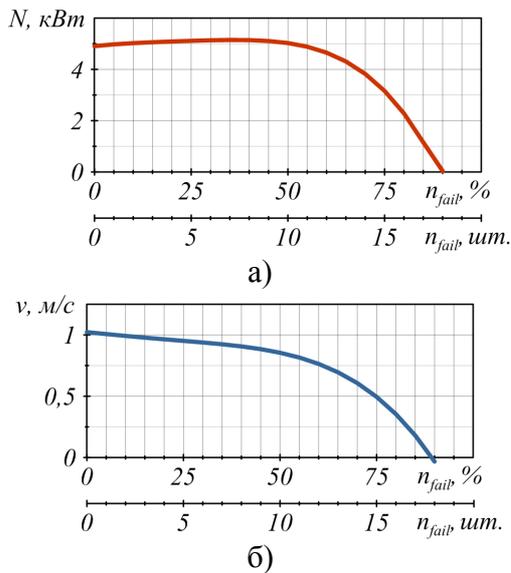


Рис. 5. Изменение в зависимости от количества отказавших подвесок технических характеристик конвейера: а – мощности; б – скорости

жению, действующие со стороны участков грузонесущей конвейерной ленты и сопряженных с ней отказавших подвесок на исправные ведущие подвески, приводят к некоторому повышению величин крутящих моментов. В свою очередь, с повышением крутящего момента привода скорость вращения ведущего ролика в соответствии с используемой при моделировании мотор-редукторного привода подвески прямолинейной механической характеристикой электродвигателя по-

стоянного тока сокращается. Как следствие, полученные результаты демонстрируют, что при относительно небольшом количестве отказавших приводных подвесок повышение величин крутящих моментов превосходит потери, связанные с выходом из строя незначительной части ведущих подвесок и общая мощность конвейера растет. Однако далее суммарные потери мощности отказавших приводных подвесок превышают естественный прирост мощности, связанный с повышением величин крутящих моментов в соответствии с механической характеристикой мотор-редукторного привода, и общая мощность конвейера сокращается.

Напряжения от растяжения/сжатия в продольном направлении конвейерной ленты при отказе приводных подвесок изменяются в соответствии с зависимостями, приведенными на рис. 6.

С увеличением количества вышедших из строя приводных подвесок величина напряжений в конвейерной ленте повышается во всех точках трассы. По значениям максимальных продольных напряжений в конвейерной ленте (рис. 6, б) видно, что при отказе ведущих подвесок вследствие заклинивания приводного ролика напряжения увеличиваются по прямолинейной зависимости. Так, например, при отказе 50% ведущих подвесок

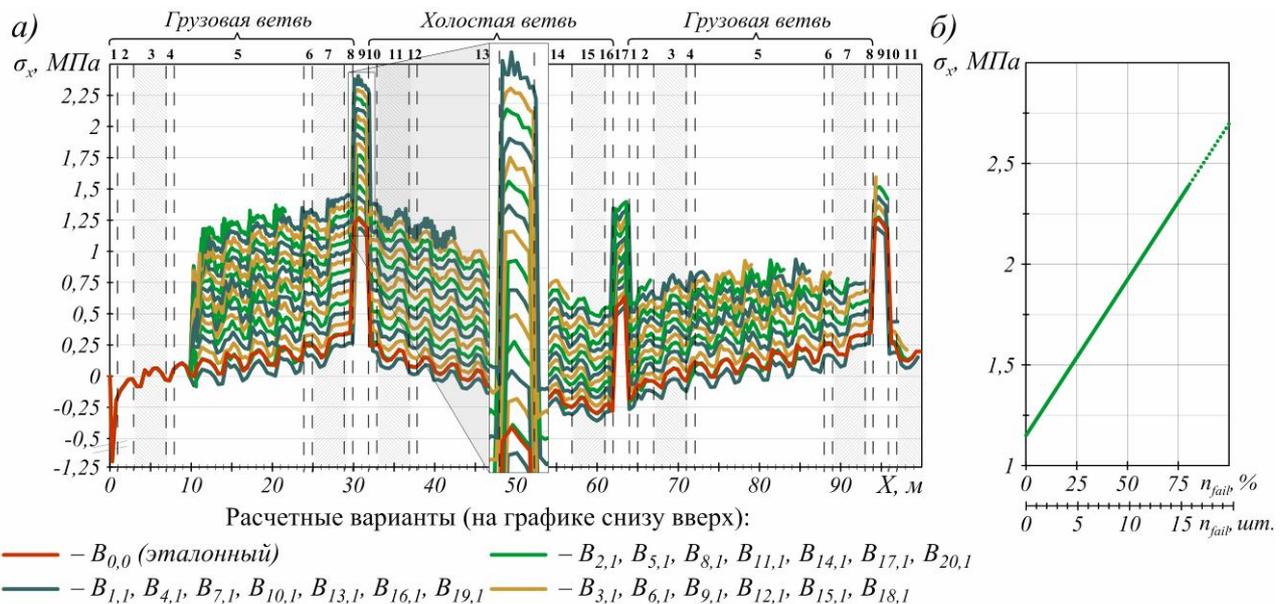


Рис. 6. Зависимости напряжений в ленте конвейера от количества отказавших подвесок: а – продольных напряжений вдоль трассы конвейера; б – максимальных продольных напряжений

напряжения от растяжения/сжатия конвейерной ленты в продольном направлении увеличились в 1,7 раза.

Заключение.

Известно, что важнейшим показателем качества, определяющим эффективность использования конвейерных систем, является надежность. Поскольку выход из строя конвейера приводит к резкому сокращению производительности ведения погрузочно-разгрузочных, транспортных или складских работ. В результате таких вынужденных простоев возникают потери доходности, величина которых согласно [9] может составлять более трети от возможных доходов, обусловленных технологическими возможностями конвейерной установки.

На основе результатов проведенного исследования удалось установить особенности протекания отказов в приводах подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Они заключаются в том, что единичные отказы практически не оказывают существенного влияния на изменение основных технических характеристик конвейера вследствие значительного количества приводных подвесок на трассе и возможности перераспределения эксплуатационных нагрузок от транспортируемой ленты с грузом между подвесками, остающимися в работоспособном состоянии. Поэтому единичные отказы приводных подвесок допускают возможность продолжения работы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом без вынужденных остановок с целью проведения ремонтно-восстановительных мероприятий по устранению таких единичных отказов. Полученные результаты подчеркивают достоинства объекта исследования в отношении свойств надежности, а также перспективность продолжения научно-исследовательской работы в данном направлении.

Список литературы

1. Толкачев, Е.Н. Математическая модель отказа приводов ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного уни-

верситета. – 2017. – № 3. – С. 333-343. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343

2. Толкачев, Е.Н. Влияние положения подвесок на трассе конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 1. – С. 71-78. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-71-78

3. Лагереv, А.В. Исследование отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Междунар. очно-заочн. научно-техн. конф., Тула, 23-24 ноября 2017 г. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 343-349.

4. Толкачев, Е.Н. Влияние положения подвесок на трассе конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при нарушении подвода электропитания приводов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – № 4. – С. 426-434. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-434

5. Лагереv, А.В. Проектирование и исследование конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 303 с. DOI: 10.5281/zenodo.1197308

6. 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, N. 10. – P. 4669-4678. DOI: 10.1007/s12206-017-0913-7

7. 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. DOI: 10.15866/iremos.v9i4.9808

8. 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. DOI: 10.5281/zenodo.1196612

9. Бушуев, В. В. Совокупная стоимость владения - современный метод оценки экономической эффективности использования оборудования (на примере конвейерных лент) // Горная промышленность. – 2013. – № 1. – С. 32-35.

Сведения об авторе

Толкачев Евгений Николаевич – кандидат технических наук, инженер-конструктор ЗАО «Брянский арсенал»,
tolkachev_en@mail.ru.

INFLUENCE OF QUANTITY SEQUENTIALLY FAILED DRIVE SUSPENSIONS OF THE CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE AT JAMMING ROLLERS

Tolkachev E.N.

CJSC "Bryanskiy arsenal" (Bryansk, Russian Federation)

The article is devoted to the topical issue, which is related to mathematical modeling 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 jamming rollers to the reference design of conveyor with suspended belt and distributed drive the complex of calculations of dynamic characteristics is executed. Investigation of the influence of the number and relative position 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, failure, jamming rollers, mathematical model, suspended belt, suspension.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-203-210

The study was performed under financial support of RFBR grant for the scientific projects carried out by young scientists (My first grant) No. 16-38-00058

References

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

2. Tolkachev E.N. The impact of the provisions of the suspensions on the track of conveyor with suspended belt and distributed drive at jamming rollers. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No. 1, pp. 71-78. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-71-78 (In Russian)

3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Investigation of failures driving suspensions of conveyor with suspension belt and distributed drive. *Materialy Mezhdunarodnoy ochno-zaochnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Problemy*

issledovaniya sistem i sredstv avtomobilnogo transporta". Tula, Izdatelstvo TulGU, 2017, pp. 343-349. (In Russian)

4. Tolkachev E.N. 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. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No. 4, pp. 426-434. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-434 (In Russian)

5. 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. DOI: 10.5281/zenodo.1197308 (In Russian)

6. 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. DOI: 10.1007/s12206-017-0913-7 (In Russian)

7. 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. DOI: 10.15866/iremos.v9i4.9808 (In Russian)

8. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochnih protsessov i proektirovanie mnogoprivodnyh lentochnyh konveyerov* [Modeling of work processes and

the design of multi-drive belt conveyor]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p. DOI: 10.5281/zenodo.1196612 (In Russian)

9. Bushuev V.V. The total cost of ownership – a modern method of evaluating the economic efficiency of the use of equipment (for example conveyor belts). *Gornaya Promyshlennost*, 2013, No. 1, p. 32. (In Russian)

Author' information

Evgeniy N. Tolkachev – Candidate of Technical Sciences, Design engineer at CJSC “Bryanskiy Arsenal”, tolkachev_en@mail.ru.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
10.06.2018

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2018

