

УДК 621.867

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

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

Толкачев Е.Н.
Tolkachev E.N.

Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)
Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с математическим моделированием отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой. Используя разработанную математическую модель отказов ведущих подвесок вследствие заклинивания холостых роликов, 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, ролик холостой.

Дата принятия к публикации: 21.11.2018
Дата публикации: 25.12.2018

Сведения об авторах:

Толкачев Евгений Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», tolkachev_en@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-2567-6336

Abstract. 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 idle 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.

Keywords: conveyor belt, distributed drive, idle roller, failure, jamming rollers, mathematical model, suspended belt, suspension.

Date of acceptance for publication: 21.11.2018
Date of publication: 25.12.2018

Authors' information:

Evgeniy N. Tolkachev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department “Lifting and transport machines and equipment” at Bryansk State Technical University, tolkachev_en@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-2567-6336

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

Материал, изложенный в статье, представляет собой логическое продолжение комплекса работ [1-9], посвященных исследованию динамических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при возникновении случайных специфических видов отказов, обусловленных конструктивными особенностями таких транспортирующих машин. В частности, предметом исследований является отказ

приводных подвесок конвейера, проявляющийся в заклинивании их холостых роликов. Такой вид отказа преимущественно обусловлен выходом из строя подшипникового узла одного или нескольких холостых роликов и проявляется в возникновении скольжения (юза) отказавших холостых роликов приводной подвески.

Ключевые особенности моделирования случайных отказов приводных подвесок



вследствие заклинивания их холостых роликов, а также математическая модель, сформулированная на основе ранее разработанной математической модели динамики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом изложены в работе [7], а также реализованы в виде программы для ЭВМ «Моделирование динамики конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании холостых роликов» [10]. Используя данную программу, было проведено исследование влияния количества отказавших приводных подвесок на технические характеристики конвейера. В качестве эталонного варианта использовался конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом, схема конфигурации трассы и технические характеристики которого приведены в [3, 5, 6]. При этом, в соответствии с изложенным в [1, 11], ввиду случайного характера возникновения отказов, а, следовательно, и существования значительного числа возможных вариантов расположения отказавших приводных подвесок на трассе, формирование расчетных случаев расположения отказавших приводных подвесок на трассе выполнено посредством выделения промежуточных расчетных случаев, а именно таких конфигураций, при которых вышедшие из строя приводные подвески конвейера располагаются одиночно или группами с постоянным шагом вдоль его трассы. Расчетные варианты расположения отказавших приводных подвесок эталонной конструкции конвейера приведены в [6]. При выполнении данного исследования первоначально рассмотрен наиболее нагруженный случай, заключающийся в одновременном отказе всех холостых роликов, удерживаемых металлоконструкцией несущей секции приводной подвески, при ее выходе из строя.

Моделирование динамических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом выполнялось в интервале времени от 0 до 100 с с шагом 0,01 с. Время наступления отказа приводных подвесок принято равным 10 с. Начальное линейное перемещение каждой подвески принято равным длине пути от начала грузовой ветви вдоль направляющих качения до месторасположения соответствующей подвески на

трассе, в то время как угловые перемещения, а также линейные и угловые скорости приняты равными нулю.

На рисунках ниже представлены результаты численного моделирования динамических характеристик эталонного конвейера.

Рис. 1-3 содержат гистограммы суммарной мощности конвейера, скорости движения грузонесущего полотна и продольных напряжений в конвейерной ленте. По характеру изменения величин отчетливо видно, что при сокращении количества упорядоченных групп и, соответственно, увеличении количества вышедших из строя последовательно расположенных в таких группах приводных подвесок при общем неизменном количестве отказавших приводных подвесок на трассе конвейера отмечается нелинейное снижение суммарной мощности приводов конвейера, а также скорости транспортирования, величины продольных напряжений при этом линейно увеличиваются. К тому же интенсивность изменения соответствующих величин повышается с увеличением количества отказавших приводных подвесок на трассе конвейера.

Изложенные результаты согласуются с ранее полученными данными [1] о том, что при увеличении концентрации отказавших приводных подвесок в одной области, технические характеристики конвейера принимают наиболее неблагоприятные значения.

Несколько подробнее выполнен анализ результатов расчета главных технических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при варьировании количества последовательно расположенных и находящихся в составе одной группы отказавших приводных подвесок (рис. 4-6).

Говоря о влиянии отказов приводных подвесок вследствие заклинивания холостых роликов на величину суммарной мощности конвейера и скорости движения грузонесущего полотна (рис. 4), следует отметить скачкообразное изменение отмеченных технических характеристик относительно эталонных значений в момент времени наступления отказа приводных подвесок, равный 10 с. Последующее движение приводных подвесок для расчетных вариантов В1,1 – В17,1

сопровождается колебательным изменением величин суммарной мощности приводов подвесок и скорости транспортирования груза (рис. 4), причем амплитуда и период колебаний повышаются с увеличением количества отказавших вследствие заклинивания холостых роликов приводных подвесок. При этом следует отметить, что зависимости изменения скорости транспортирования во времени характеризуются постоянным сокращением величин при увеличении количе-

ства 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.

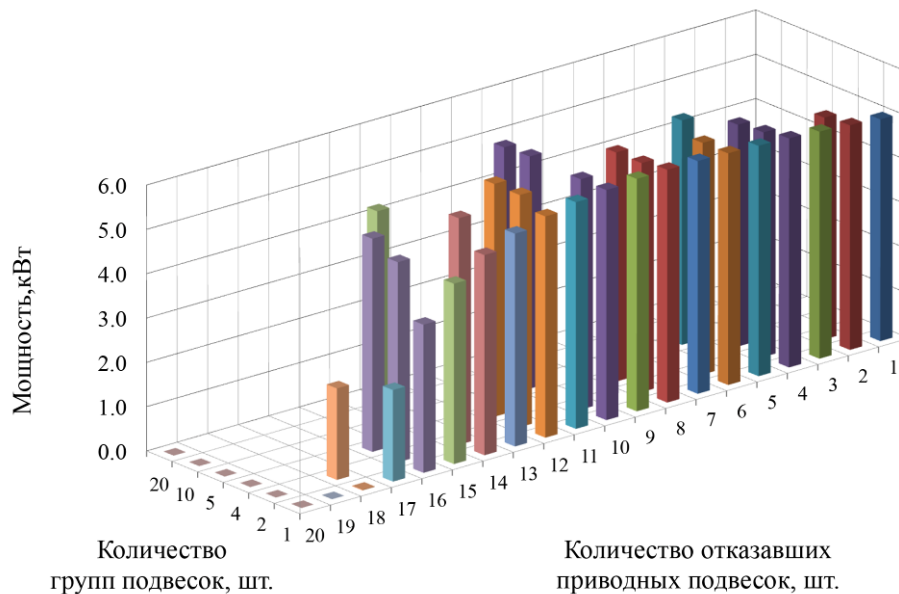


Рис. 1. Распределение величины суммарной мощности приводов в зависимости от взаимного расположения отказавших приводных подвесок на трассе

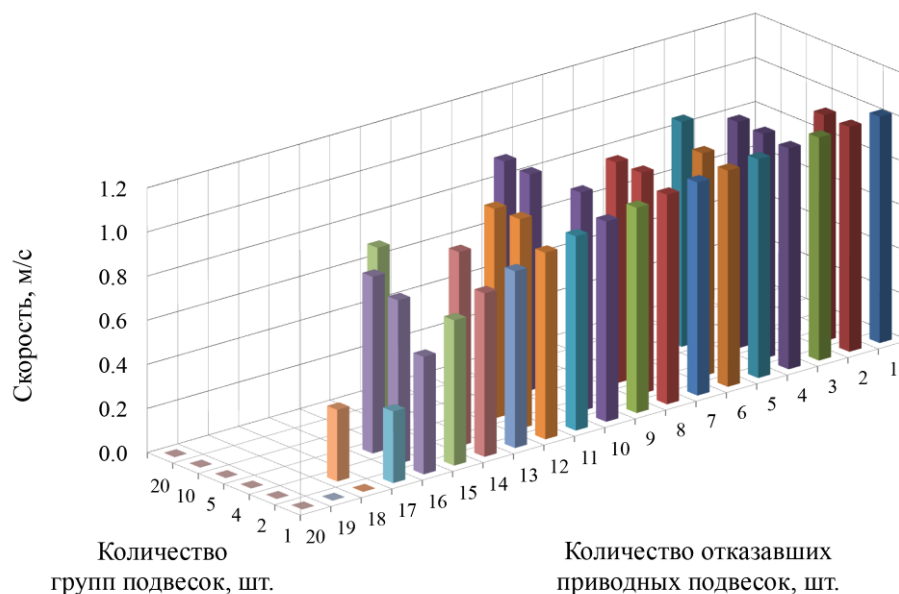


Рис. 2. Распределение величины скорости транспортирования конвейера от взаимного расположения отказавших приводных подвесок на трассе

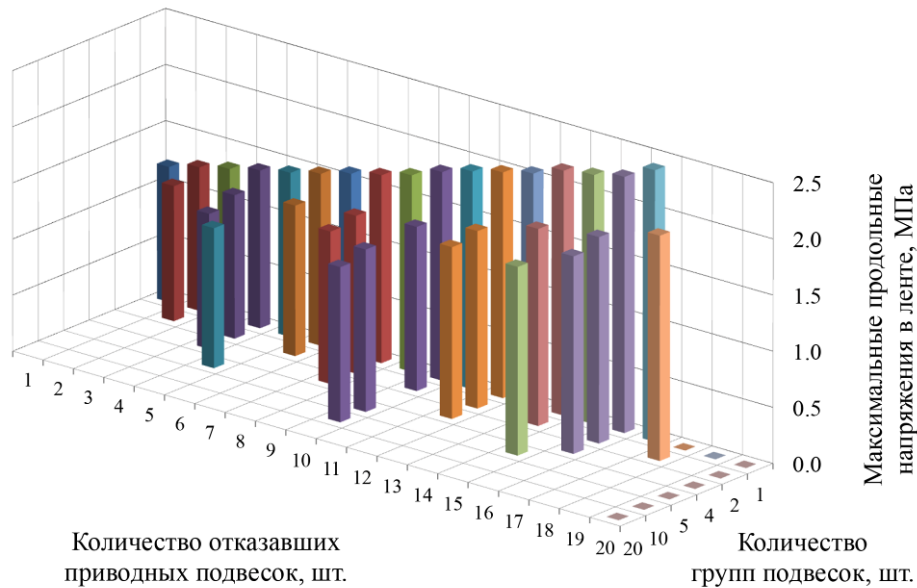


Рис. 3. Распределение величины продольных напряжений в ленте конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом в зависимости от взаимного расположения отказавших приводных подвесок на трассе

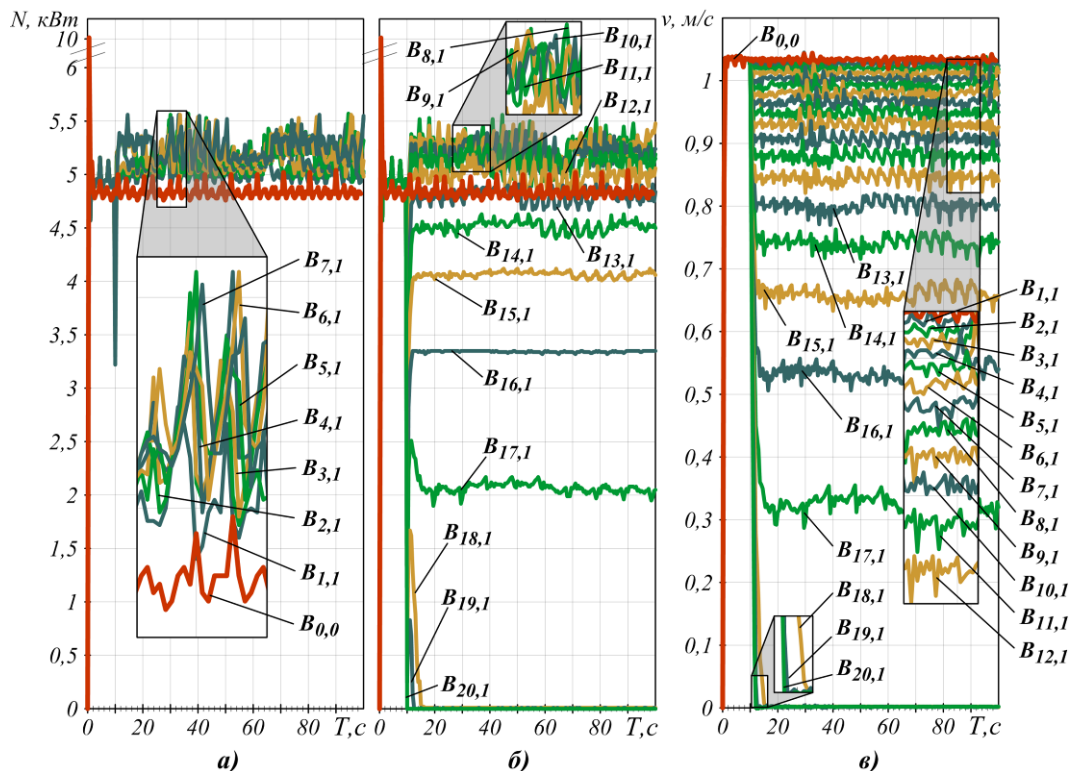


Рис. 4. Изменение во времени в зависимости от количества отказавших приводных подвесок технических характеристик конвейера: а – мощности ($B_{1,1} - B_{7,1}$); б – мощности ($B_{8,1} - B_{20,1}$); в – скорости

По графикам зависимостей усредненных значений суммарной мощности приводов конвейера и скорости перемещения груза после наступления отказа приводных подвесок

(рис. 5) от количества вышедших из строя приводных подвесок отчетливо видно, что общая суммарная мощность конвейера нелинейно умеренно возрастает практически до

отказа 40% приводных подвесок, после чего достаточно стремительно сокращается пока не достигнет нулевой отметки. Скорость конвейера постоянно нелинейно убывает, причем после отказа порядка 70-75% при-

водных подвесок ее сокращение протекает гораздо стремительнее. Полная остановка конвейера наступает при отказе 90% приводных подвесок.

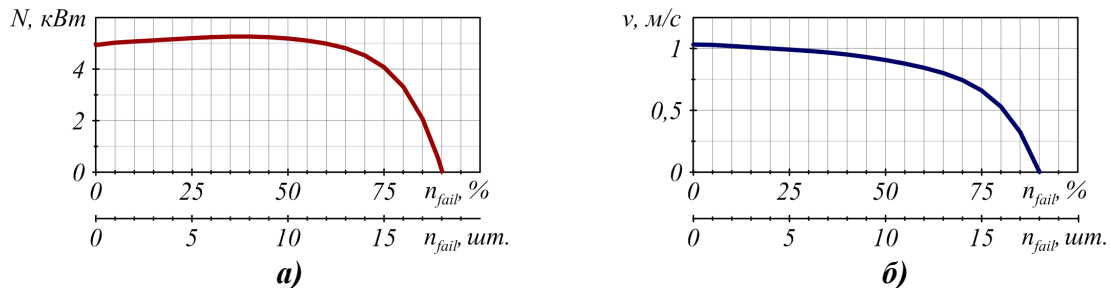


Рис. 5. Изменение в зависимости от количества отказавших подвесок технических характеристик конвейера: а – мощности; б – скорости

В расчетном случае, связанном с отказом приводных подвесок вследствие заклинивания холостых роликов, первоначальное повышение суммарной мощности приводов конвейера при отказе малого количества подвесок обосновывается следующим. Возникающие в результате заклинивания холостых роликов и образования трения скольжения дополнительные сопротивления движению, действующие со стороны участков грузонесущей конвейерной ленты и сопряженных с ней отказавших подвесок на все ведущие подвески, приводят к некоторому повышению величин крутящих моментов. Соответственно с повышением крутящего момента привода скорость вращения ведущего ролика согласно прямолинейной механической характеристике электродвигателя постоянного тока, используемой при моделировании мотор-редукторного привода подвески, сокращается. При относительно небольшом количестве вышедших из строя приводных подвесок некоторое повышение величин крутящих моментов превосходит общие возникающие сопротивления движению, в том числе и дополнительные, связанные с заклиниванием холостых роликов, и суммарная мощность приводов конвейера повышается, однако, при последующем увеличении количества отказавших приводных подвесок, сопротивления движению превышают величины крутящих моментов, изменяющиеся в соответствии с механической характеристикой мотор-редукторного при-

вода, и общая мощность конвейера сокращается.

Зависимости, отражающие изменение напряжений от растяжения/сжатия в продольном направлении ленты конвейера при отказе приводных подвесок, представлены 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 холостых роликов напряжения увеличиваются по линейной зависимости. Так, например, при отказе 50% приводных подвесок напряжения от растяжения/сжатия конвейерной ленты в продольном направлении увеличились в 1,5 раза.

Полученные в ходе проведенного исследования и изложенные в данной статье результаты, позволили установить особенности протекания отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом вследствие заклинивания холостых роликов приводных подвесок, а также в очередной раз подтвердить, 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 на-

грузок от транспортируемой ленты с грузом между подвесками, остающимися в работоспособном состоянии. Таким образом, единичные отказы приводных подвесок допускают возможность продолжения работы конвейера с подвесной лентой и распределен-

ным приводом без вынужденных остановок с целью проведения ремонтно-восстановительных мероприятий по устранению таких единичных отказов.

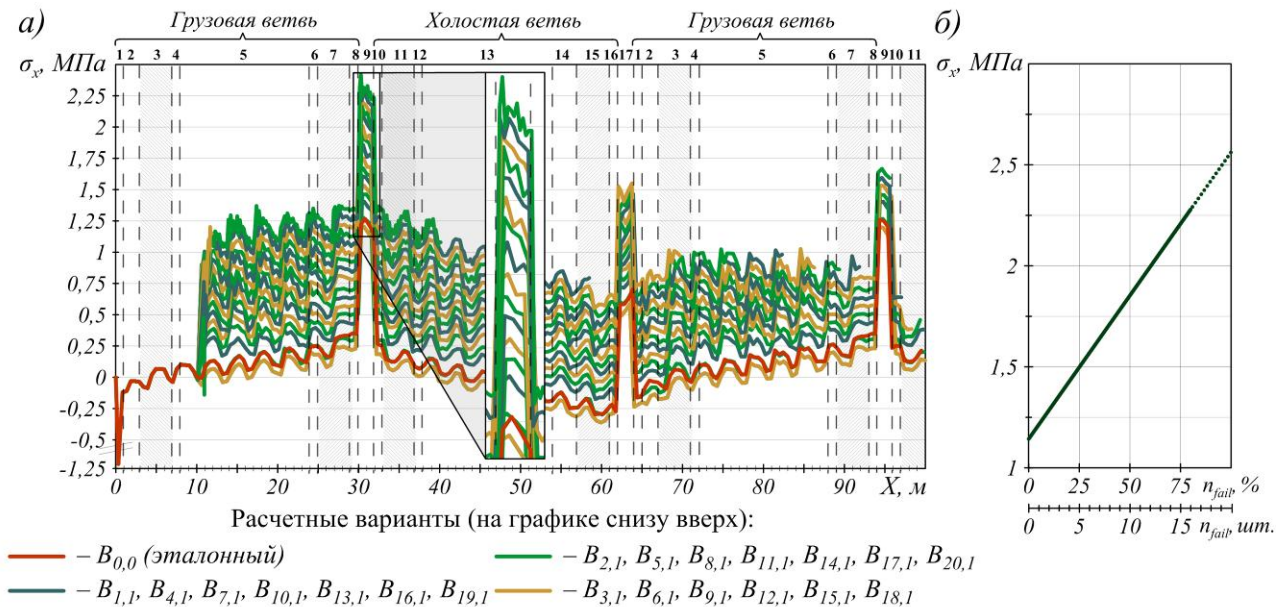


Рис. 6. Зависимости напряжений в ленте конвейера от количества отказавших подвесок: а – продольных напряжений вдоль конвейерной ленты; б – максимальных продольных напряжений

Список литературы

1. Лагерев, А.В. Исследование отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. – Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 343-349.
2. 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. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2017-N2/2017-02-07.pdf>.
3. 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 уни-

References

1. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Investigation of failures driving suspensions of conveyor with suspension belt and distributed drive. *Materialy Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. "Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobilnogo transporta"* [Proceedings of the Int. Scientific and Technical Conference "Problems of research of systems and means of motor transport"]. Tula, TGU, 2017, pp. 343-349 (In Russian)
2. 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-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.2, pp. 178-189. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189> (In Russian)
3. 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.

верситета. – 2017. – № 4. – С. 426-434. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-434>.

4. 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 университета. – 2017. – № 3. – С. 333-343. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343>.

5. 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: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-01-71-78>.

6. Толкачев, Е.Н. Влияние количества последовательно отказавших приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании приводных роликов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 2. – С. 203-210. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-02-203-210>.

7. Толкачев, Е.Н. Математическая модель отказа ведущих подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при заклинивании холостых роликов / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 3. – С. 283-291. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-03-283-291>.

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

9. Лагереv, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределен-

Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017, No.4, pp. 426-434. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-434> (In Russian)

4. 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: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-03-333-343>. (In Russian)

5. 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: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-01-71-78>. (In Russian)

6. Tolkachev E.N. Influence of quantity sequentially failed drive suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at jamming rollers. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 203-210. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-02-203-210>. (In Russian)

7. Tolkachev E.N. Mathematical model of failure the drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive at jamming non-drive rollers. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.3, pp. 283-291. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-03-283-291>. (In Russian)

8. 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)

9. 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.1302214>

9. 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.1302214>

ным приводом и вертикально замкнутой трас-
сой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник
Брянского государственного технического
университета. - 2014. - № 3. - С. 44-52. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1302231>

10. Лагерев, А.В. Программный ком-
плекс «Моделирование динамики конвейе-
ров с подвесной лентой и распределенным
приводом при заклинивании холостых ро-
ликов» / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, И.А.
Лагерев. – Свидетельство о государствен-
ной регистрации программы для ЭВМ №
2018610637 от 15 января 2018 г. (Федераль-
ная служба по интеллектуальной собствен-
ности).

11. Лагерев, А.В. Моделирование рабо-
чих процессов и проектирование многопри-
водных ленточных конвейеров /
А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров.
– Брянск: РИО БГУ, 2017. – 384 с. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612>

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

† 10. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Lagerev
† I.A., *Programmnyy kompleks «Modelirovanie*
† *dinamiki konveyerov s podvesnoy lentoy i ra-*
† *spredelemnym privodom pri zaklinivanii holos-*
† *tyh rolikov». Svidetelstvo o gosudarstvennoy*
† *registratsii programm dlya EVM* [The software
† package "Modeling the dynamics of conveyors
† with suspended belt and distributed drive at
† jamming idle rollers". The Certificate on offi-
† cial registration of the computer program]. No.
† 2018610637, 2018. (In Russian)

† 11. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Gon-
† charov K.A. *Modelirovanie rabochih protses-*
† *sov i proektirovanie mnogoprivodnyh lentoch-*
† *nyh konveyerov* [Modeling of work processes
† and the design of multi-drive belt conveyor].
† Bryansk: RIO BGU, 2017. 384 p. DOI:
† <https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612> (In
† Russian)