

УДК (UDC) 621.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗГРУЗКИ КОРОТКИХ ОТВАЛЬНЫХ  
ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СКОРОСТЬЮ  
ДВИЖЕНИЯ ЛЕНТЫSIMULATION OF UNLOADING PROCESSES OF SHORT DUMP BELT CONVEYORS  
WITH SPEED CONTROL BELT MOVEMENTРоманович А.А.<sup>1</sup>, Гришин А.В.<sup>2</sup>, Денисов И.А.<sup>2</sup>  
Romanovich A.A.<sup>1</sup>, Grishin A.V.<sup>2</sup>, Denisov I.A.<sup>2</sup><sup>1</sup> – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (Белгород, Россия)<sup>2</sup> – Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)<sup>1</sup> – Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Belgorod, Russian Federation)<sup>2</sup> – Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** Короткие отвальные ленточные конвейеры применяются для создания насыпей груза как в качестве неотъемлемой части технологических машин при переработке строительных материалов, так и в качестве транспортных средств в цепи конвейеров для транспортирования сыпучего груза в соответствии с логистикой открытых складов. При реализации схем механизации открытых складов в зависимости от степени переменности грузопотока в структурах таких конвейеров могут применяться приводы, позволяющие регулировать скорость движения ленты, тем самым управляя производительностью всей линии. Часто короткие ленточные конвейеры не оборудуются специализированными разгрузочными устройствами, что требует проработки вопросов движения частиц груза при разгрузке, особенно если конвейер работает в технологической линии. В статье произведено моделирование процессов разгрузки коротких отвальных ленточных конвейеров при управлении скоростью движения ленты. Получены траектории движения частиц груза для различных параметров конвейеров: скорости движения ленты, угла наклона конвейера к горизонту, диаметра разгрузочного барабана. Показана необходимость проведения моделирования процессов разгрузки во всех случаях при управлении скоростью ленты и работе конвейера без специализированных разгрузочных устройств.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, разгрузка, управление скоростью, сыпучий груз, траектория движения.

**Дата принятия к публикации:** 27.11.2021  
**Дата публикации:** 25.12.2021

**Сведения об авторах:**

**Романович Алексей Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой подъемно-транспортных и дорожных машин ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
e-mail: PTDM-BGTU@yandex.ru.

**Abstract.** Short dump belt conveyors are used to create bulk cargo both as an integral part of technological machines in the processing of building materials, and as vehicles in a chain of conveyors for transporting bulk cargo in accordance with the logistics of open warehouses. When implementing mechanization schemes for open warehouses, depending on the degree of variability of the cargo flow in the structures of such conveyors, drives can be used that allow regulating the speed of the belts, thereby controlling the productivity of the entire line. Often, short belt conveyors are not equipped with specialized unloading devices, which requires elaboration of the issues of movement of cargo particles during unloading, especially if the conveyor is operating in a production line. The article simulates the processes of unloading short dump belt conveyors when controlling the speed of the belt. Trajectories of movement of cargo particles for various parameters of conveyors are obtained: belt speed, conveyor tilt angle to the horizon, diameter of the unloading drum. It is shown that it is necessary to simulate unloading processes in all cases with belt speed control and conveyor operation without specialized unloading devices.

**Keywords:** belt conveyor, unloading, speed control, bulk cargo, trajectory.

**Date of acceptance for publication:** 27.11.2021  
**Date of publication:** 25.12.2021

**Authors' information:**

**Aleksey A. Romanovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Handling and Road Machines at Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
e-mail: PTDM-BGTU@yandex.ru.

**Гришин Александр Валентинович** – ассистент кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *e-mail: sasha9332@mail.ru.*

**Денисов Илья Александрович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *e-mail: ptm\_bstu@mail.ru.*

**Alexander V. Grishin** – assistant of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, *e-mail: sasha9332@mail.ru.*

**Ilya A. Denisov** – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, *e-mail: ptm\_bstu@mail.ru.*

## 1. Введение

Короткие отвальные ленточные конвейеры являются распространенным средством механизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ, применяются в качестве устройств отвода сыпучего груза в едином

комплексе с различными технологическими машинами [1-3].

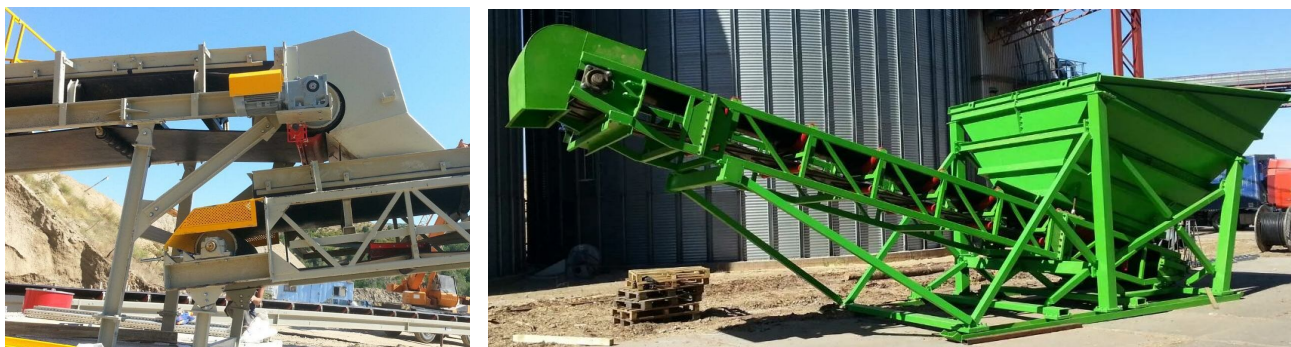
Применение коротких ленточных конвейеров в конвейерных каскадах для транспортирования сыпучих грузов на значительные расстояния также является распространенным решением (рис. 1).



Рис. 1. Каскад коротких ленточных конвейеров

Однако применение открытой перегрузки без специализированных перегрузочных устройств приводит к появлению значительных просыпей, особенно в зонах концевых барабанов (рис. 1). Для реализации точной разгрузки ленточного конвейера с концевого барабана вне зависимости от скорости движения ленты и угла наклона конвейера существует единственное принципиальное простое техническое решение – применение разгрузочной воронки (рис. 2). Однако такое решение хорошо себя проявляет в случае работы конвейера с одной постоянной скоростью, так как при её увеличении значительно повышается износ фронтальной стенки разгрузочной воронки, что

приводит к необходимости проведения частого ремонта и замены всей воронки. При этом стоит отметить, что разгрузочные воронки обладают недостатком, проявляющимся в необходимости регулирования угла наклона воронки при изменении угла наклона конвейера. Для коротких конвейеров, работающих с переменными углами наклона, а также для отвальных конвейеров, являющихся неотъемлемыми частями строительных и дорожных машин, проектируемых в том числе с учетом критерия компактности конструкции в рабочем и транспортном положениях, применение разгрузочных воронок является, как минимум, спорным, а часто и неприемлемым решением.



а

б

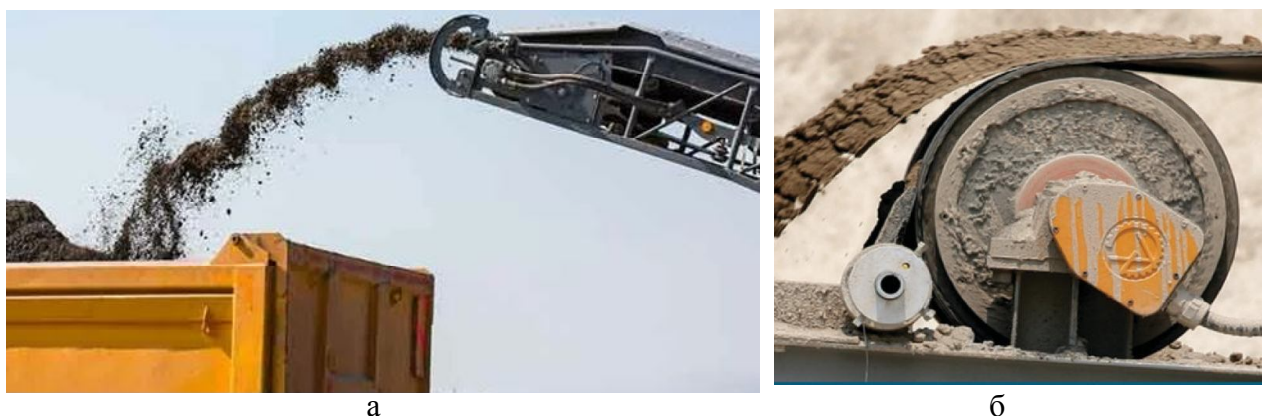
Рис. 2. Разгрузочные воронки коротких ленточных конвейеров:

а – конструкция с направляющей частью для формирования потока груза при перегрузке;  
 б – конструкция без направляющей части, примененная на бункере-питателе

При применении открытой разгрузки слой груза движется по параболической траектории, вид которой зависит от скорости движения груза в момент отрыва от ленты, высоты слоя груза, угла наклона конвейера, радиуса разгрузочного барабана, координаты точки отрыва груза, определяемой полюсным расстоянием [4]. Практическая иллюстрация вариативности параболической траектории разгрузки сыпучего груза показана на рис. 3.

Общие вопросы моделирования процессов разгрузки ленточных конвейеров, в том числе рекомендации по построению траекторий движения сыпучего груза, приведены в

работе [4]. Однако современные тенденции развития конвейерного транспорта с учетом возможной нестабильности грузопотоков характеризуются как применением регулируемых приводов в структурах конвейеров, так и разнообразием областей применения самих конвейеров, в частности, коротких транспортеров. Таким образом, высокую актуальность имеют теоретические и практические исследования процессов разгрузки ленточных конвейеров с концевых барабанов при управлении скоростью движения ленты и изменении угла наклона конвейера.



а

б

Рис. 3. Параболические траектории движения груза при разгрузке отвальных ленточных конвейеров: а – конвейер дорожной фрезы; б – конвейер в структуре транспортной линии

## 2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является теоретическое моделирование процессов разгрузки коротких отвальных ленточных кон-

вейеров при управлении скоростью движения ленты и изменении угла наклона конвейера, а также синтез рекомендаций по проектированию конвейерных линий в вопросе корректировки схем взаимного расположе-

ния транспортирующих машин с учетом траекторий разгрузки при управлении скоростью конвейеров.

### 3. Моделирование процессов разгрузки

Как было указано выше, при разгрузке ленточного конвейера с концевого барабана частицы транспортируемого груза, отрываясь от ленты, движутся по параболе (рис. 3). В случае применения декартовой системы координат и привязке оси абсцисс к горизонту закон движения частицы нижнего слоя груза (контактирующего с лентой) после отрыва от ленты вдоль оси  $X$  запишется в виде

$$X = V_{0н} t \cos(\beta), \quad (1)$$

где  $V_{0н}$  – скорость движения частицы груза в момент отрыва от ленты, совпадающая со скоростью движения ленты;  $t$  – время движения частицы;  $\beta$  – угол наклона конвейера к горизонту.

Для верхнего слоя груза зависимость (1) также справедлива с учетом преобразования величины начальной скорости в соответствии с выражением [4]

$$V_{0в} = V_{0н} \frac{r + h_{сп}}{r}, \quad (2)$$

где  $V_{0в}$  – скорость движения частицы груза в верхнем слое в момент отрыва от ленты;  $r$  – сумма наружного радиуса барабана и толщины ленты;  $h_{сп}$  – высота слоя груза на ленте в момент начала разгрузки.

Закон движения частиц груза вдоль вертикальной оси  $Y$  для верхнего и нижнего

слоев груза с учетом их начальных скоростей движения запишется в виде

$$Y = V_0 t \sin(\beta) - \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Точка отрыва частиц груза ( $A1$ ,  $A3$ ) от поверхности барабана (рис. 4) определяется полюсным расстоянием [4]

$$h_n = \frac{gr^2}{V_0^2}. \quad (4)$$

В случае  $h_n < r$  точка отрыва груза от поверхности барабана находится во втором квадранте (рис. 3, точка  $A1$ ), её положение определяется углом наклона конвейера  $\beta$ . При  $h_n = r$  точка отрыва груза от поверхности барабана находится на вертикальной оси барабана. В случае  $h_n > r$  точка отрыва груза от поверхности барабана находится в первом квадранте (рис. 3, точка  $A3$ ), её положение определяется углом  $\beta_3$  [4].

Положение точки отрыва груза в первом квадранте соответствует малым скоростям движения ленты, разгрузочная парабола не имеет значительного разлета. В связи с этим введем следующее условие: моделирование процессов разгрузки будет производиться для случая  $h_n < r$ , соответствующего повышенным скоростям движения и значительному выпрямлению параболических траекторий разгрузки.

Последовательность построения траектории движения груза представим следующим образом:

1) определение точки отрыва груза от поверхности ленты;

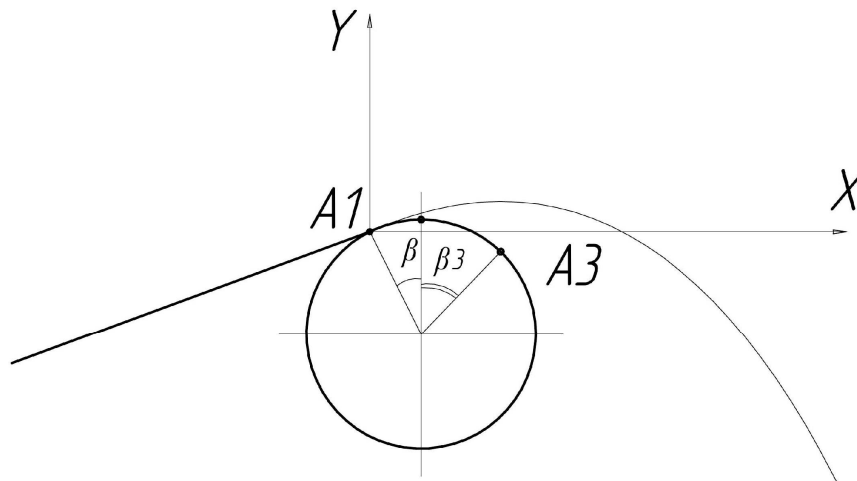


Рис. 4. Расчетная схема к процедуре моделирования процессов разгрузки

2) приложение декартовой системы координат к точке отрыва груза от ленты;

3) задание на оси  $X$  координатных отрезков, соответствующих постоянному интервалу времени движения (0,1 с) в соответствии с зависимостями (1) и (2);

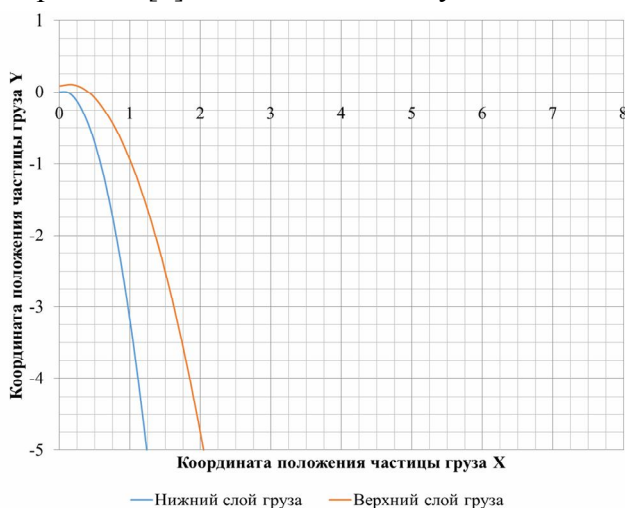
4) задание на оси  $Y$  координатных отрезков, соответствующих значениям на оси  $X$ , в соответствии с зависимостью (3).

Разгрузочная парабола строится для верхнего и нижнего слоя груза.

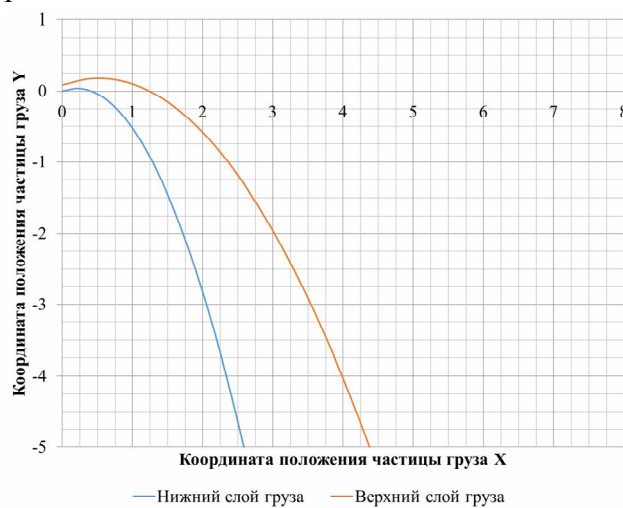
Моделирование будет производиться для отвального ленточного конвейера мобильного мощного завода CDE M2500, описанного в работе [1]. Максимальный угол наклона

конвейера  $\beta$  к горизонту составляет  $20^\circ$ . Радиус приводного барабана составляет 0,315 м. Минимальная скорость движения ленты для диапазона изменения скоростей определяется величиной полюсного расстояния в соответствии с зависимостью (4) при незначительном превышении полюсным расстоянием радиуса барабана  $V_{0\min} = 1,25$  м/с. Максимальную скорость движения ленты ограничим значением 5 м/с. Заявленная производителем высота разгрузки составляет 4,8 м [5].

Графики траекторий разгрузки для различных углов наклона конвейера при изменении скоростей движения ленты представлены на рис. 5 – 10.



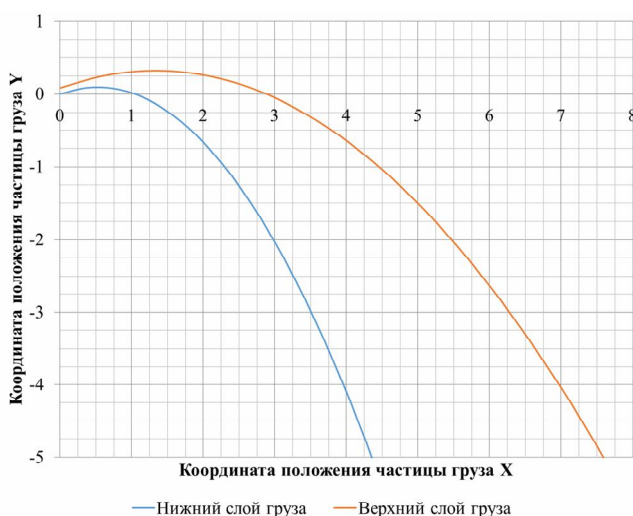
а



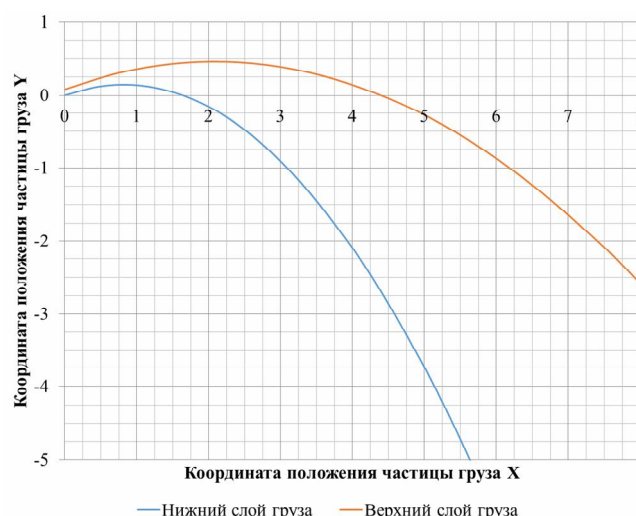
б

Рис. 5. Траектории движения груза при  $\beta = 20^\circ$ :

а – скорость движения ленты 1,25 м/с; б – скорость движения ленты 2,5 м/с



а



б

Рис. 6. Траектории движения груза при  $\beta = 20^\circ$ :

а – скорость движения ленты 4 м/с; б – скорость движения ленты 5 м/с

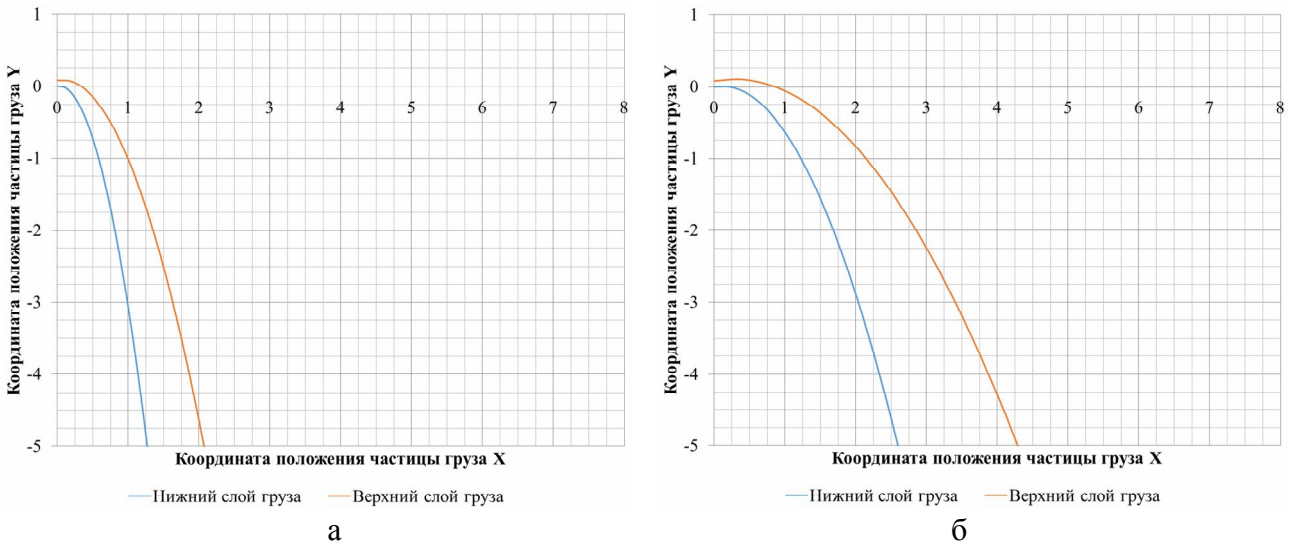


Рис. 7. Траектории движения груза при  $\beta = 10^\circ$ :

а – скорость движения ленты 1,25 м/с; б – скорость движения ленты 2,5 м/с

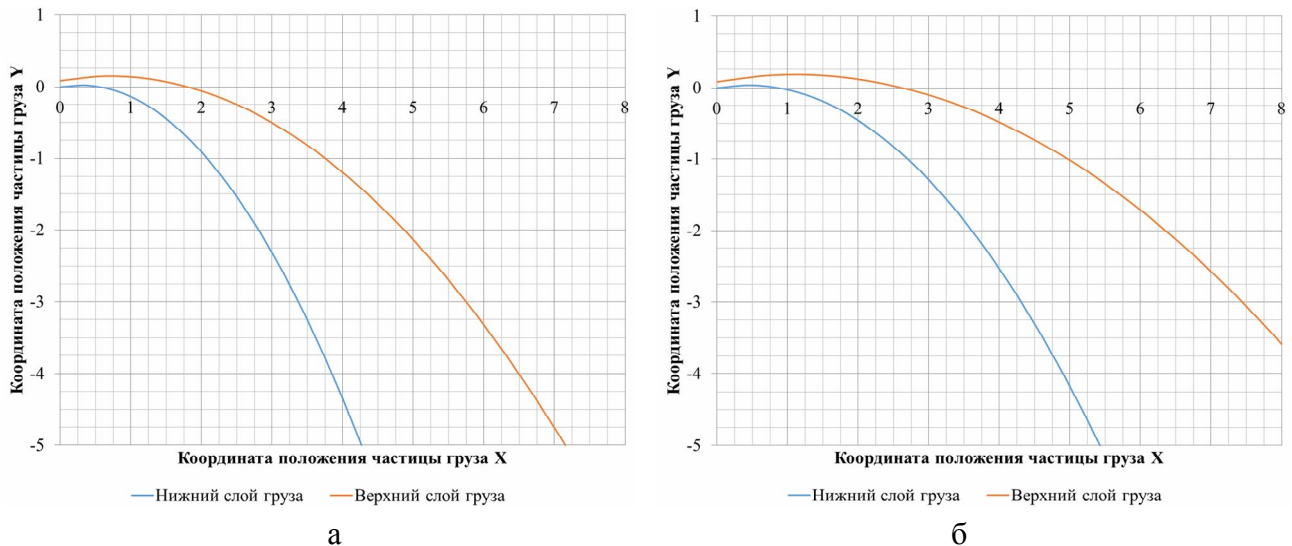


Рис. 8. Траектории движения груза при  $\beta = 10^\circ$ :

а – скорость движения ленты 4 м/с; б – скорость движения ленты 5 м/с

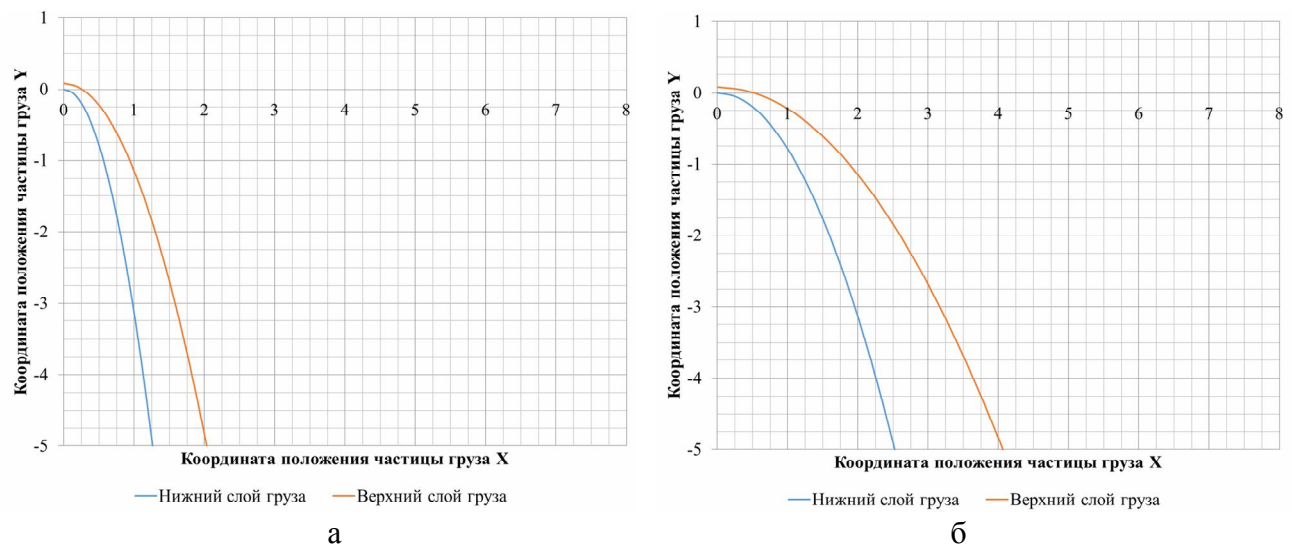
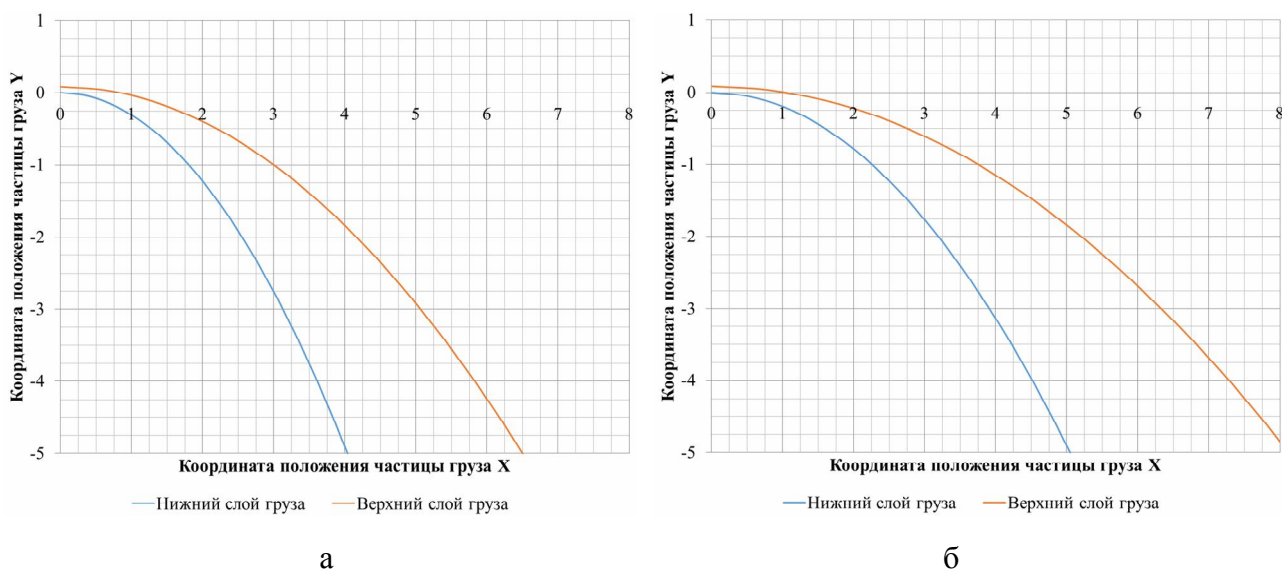


Рис. 9. Траектории движения груза при  $\beta = 0^\circ$ :

а – скорость движения ленты 1,25 м/с; б – скорость движения ленты 2,5 м/с



а б  
 Рис. 10. Траектории движения груза при  $\beta = 0^\circ$ :  
 а – скорость движения ленты 4 м/с; б – скорость движения ленты 5 м/с

В результате анализа приведенных графиков можно сделать акцент на следующих результатах:

1) при малых скоростях движения ленты конвейера угол его наклона к горизонту практически не оказывает влияния на разлет груза;

2) при увеличении скорости движения ленты от 1,25 м/с до 5 м/с разлет слоя груза (горизонтальное расстояние между соответствующими точками траекторий движения верхнего и нижнего слоев) на высоте разгрузки 2 м увеличивается на 2,85 м при угле наклона конвейера  $\beta = 20^\circ$  и на 1,4 м при угле наклона  $\beta = 0^\circ$ ;

3) абсолютное увеличение горизонтального расстояния разгрузки на высоте 2 метра от концевого барабана при увеличении скорости движения ленты от 1,25 м/с до 5 м/с для угла наклона конвейера  $\beta = 20^\circ$  происходит в диапазоне 1,4 м – 7,5 м; абсолютное увеличение для угла наклона конвейера  $\beta = 0^\circ$  варьируется в диапазоне 1,3 м – 5,25 м.

#### 4. Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие общие выводы.

1. Изменение скорости движения ленты значительно влияет на абсолютные координаты верхнего и нижнего слоев груза на всех высотах разгрузки. В приведенном примере разность координат приземления внешнего

слоя груза составляет приблизительно 2,25 м на высоте 2 м разгрузки, что требует регулировки положения следующего звена технологической линии для образования минимальных просыпей.

2. Угол наклона конвейера влияет на процессы разгрузки в меньшей степени, чем скорость движения ленты. При малых углах наклона разгрузочные параболы для соответствующих скоростей практически идентичны. Изменения в траекториях движения проявляются при увеличении скорости движения ленты до 4 м/с. В этом случае при угле наклона конвейера  $\beta = 0^\circ$  разгрузочная парабола имеет более пологую форму без подлета груза в зоне, прилегающей к точке отрыва. Фактически, именно наличие этой зоны критически влияет на увеличение разлета груза при увеличении угла наклона конвейера.

3. При проектировании коротких ленточных конвейеров в случае применения многоскоростных приводов и реализации открытой разгрузки, а также с учетом возможности комплектации разрабатываемой машиной различных по назначению технологических линий с изменением угла наклона необходимо проводить полный комплекс мероприятий по моделированию процессов разгрузки для каждой из регламентируемых скоростей и минимального и максимального углов наклона конвейера.

## Список литературы

1. Гончаров К.А., Гришин А.В. Математическая модель работы отвальных ленточных конвейеров мобильных строительных и дорожных машин при следящем управлении натяжением лент // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2020. №3. С. 365–376. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-365-376

2. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н., Бословяк П.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой. Брянск: РИО БГУ, 2016. 303 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1197308>

3. 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>

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

5. Официальный сайт ООО «Горные технологии» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gor-teh.ru/>. Дата обращения: 22.04.2020.

## References

1. Goncharov K.A., Grishin A.V. Mathematical model of operation of stacker belt conveyors of mobile road-building machines with tracing control of belt tension. *Nauchnotekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 365-376. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-365-376 (In Russian)

2. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the conveyor with hanging ribbon]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 303 p.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1197308> (In Russian)

3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochikh 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)

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

5. Official site ООО «Gornye tehnologii» [Electronic resource]. Available at: <https://www.gor-teh.ru/>. Date of application: 22.04.2020. (In Russian)