

## АЛГОРИТМ БЕСПРОБУКСОВОЧНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

В.В. Дмитриева<sup>1</sup>, А.А. Собянин<sup>1</sup>, П.Е. Сизин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

<sup>2</sup> НИТУ МИСИС, Москва, Россия, e-mail: mstranger@list.ru

**Аннотация:** Статья является продолжением цикла статей, посвященных исследованию режимов пуска и торможения ленточного конвейера. Пуск и торможение конвейеров характеризуются появлением дополнительных динамических натяжений в ленте, которые могут привести к неустойчивой работе приводного барабана, пробуксовке ленты, потере продольной устойчивости ленты, и т.д. Основная задача исследования – формирование оптимального алгоритма торможения. Реализация этого алгоритма должна обеспечить поддержание тягового фактора конвейера в динамических режимах. Лента является самой дорогостоящей частью конвейерной установки. За счет стабилизации тягового фактора, снижения коэффициента запаса прочности ленты, уменьшения износа ленты можно существенно повысить эффективность использования конвейерного транспорта. Основным методом исследования является математическое моделирование с помощью современного программного обеспечения. Основная идея предлагаемого алгоритма состоит в предварительном притормаживании хвостового барабана и дополнительной коррекции тягового фактора для исключения провисания ленты между роликотопорами, что позволяет минимизировать проскальзывание ленты на приводном барабане, а также значительно сократить время останова привода, следовательно, сократить период, в течение которого проскальзывание может возникнуть. Методика расчета технологических параметров процесса торможения базируется на найденных в результате исследований зависимостях и построена так, что может быть применена к любой конвейерной установке определенного класса – одноприводным горизонтальным конвейерам с желобчатой лентой с верхней несущей ветвью.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, тормозной момент, тяговый фактор, провисание ленты, автоматическое натяжное устройство, тарирование ленты, регулятор натяжений, алгоритм торможения конвейера.

**Для цитирования:** Дмитриева В. В., Собянин А. А., Сизин П. Е. Алгоритм беспробуксовочного торможения ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 3. – С. 5–17. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_3\_0\_5.

### Slip-free braking algorithm for belt conveyors

V.V. Dmitrieva<sup>1</sup>, A.A. Sobyenin<sup>1</sup>, P.E. Sizin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

<sup>2</sup> NUST MISIS, Moscow, Russia, e-mail: mstranger@list.ru

---

**Abstract:** This article continues a series of research publications on starting and braking duties of a belt conveyor. Starting and braking of belt conveyors are accompanied with extra dynamic stresses in belts, which may lead to the unstable operation of driving drums, slippage of belts, pitch instability of belts, etc. The main objective of the research is formulation of an optimum braking algorithm. The algorithm must ensure maintenance of traction in operation of a conveyor in a dynamic mode. The belt is the most expensive part of a conveyor facility. Owing to stabilization of traction, reduction of belt safety factor and decrease in the belt wear, it is possible to reach essential enhancement in the efficiency of conveyors. The main research method is mathematical modeling using advanced software systems. The key idea of the proposed algorithm is the preliminary braking of the tail drum and the additional adjustment of the traction factor to eliminate the belt sagging between roller supports, which can minimize the belt slip on the driving drum, substantially cut-down the time of the drive halt, and, accordingly, reduce the period of potential slip to appear. The calculation procedure of the braking process variables uses the relations and dependences found during the research, as is structured so that to be applicable to any conveyor of a certain class, namely, to the single-belt horizontal motion conveyors with trough belts and upper carrying side.

**Key words:** belt conveyor, brake torque, traction factor, belt sagging, automatic tensioning device, belt calibration test, tension controller, belt braking algorithm.

**For citation:** Dmitrieva V. V., Sobyenin A. A., Sizin P. E. Slip-free braking algorithm for belt conveyors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(3):5-17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_3\_0\_5.

---

## Введение

Пуск и торможение ленточных конвейеров характеризуются появлением дополнительных динамических натяжений, которые изменяют результирующие натяжения в ленте и могут привести к неустойчивой работе приводного барабана, пробуксовке ленты и т.д. [1, 2]. Динамические натяжения увеличивают нагрузку в узлах конвейера и должны учитываться при выполнении прочностного расчета.

При торможении перераспределение натяжений может вызвать отклонение и перекося ленты [3], потерю продольной устойчивости ленты, которая приведет к образованию значительных провисаний и гофра ленты, просыпание груза, заштыбовку околоконвейерного пространства, увеличение времени торможения.

Можно сформулировать первую задачу исследования: это определение ре-

зультирующих натяжений, как на головном барабане конвейера, так и вдоль всего полотна ленты. Учитывать надо и статические, и динамические составляющие. Это позволит предварительно выбрать дополнительные растяжения ленты и уменьшить, а в идеале совсем исключить пробуксовку барабана и проскальзывание ленты, а также уменьшить коэффициент запаса прочности ленты.

Вторая задача — это формирование оптимального алгоритма торможения конвейера. Реализация этого алгоритма должна обеспечить поддержание тягового фактора конвейера в режимах пуска и торможения.

Лента, как известно, является самой дорогостоящей частью конвейерной установки. За счет стабилизации тягового фактора, снижения коэффициента запаса прочности ленты, уменьшения износа ленты можно существенно повысить

эффективность использования конвейерного транспорта [4, 5].

### Исследование изменения натяжений ленты конвейера после останова привода

В предыдущих статьях [2] авторы рассмотрели различные способы торможения ленточного конвейера. Большинство протяженных конвейеров работают в режиме длительного движения с постоянной скоростью. Экстренное торможение может быть необходимым в случае аварии, когда требуется быстрый останов, при транспортировке груза наклонными конвейерами [6], когда возможен самопроизвольный ход грузовой ленты, поэтому необходимо удерживать ленту остановленного наклонного конвейера, либо в случае аварии на одном из конвейеров в конвейерной линии. После останова привода происходит изменение натяжений в ветвях ленты [7, 8]. Это объясняется механическими свойствами ленты, которая сжимается, стремясь принять свое нормальное состояние.

Натяжение в точке набегания ленты на приводной барабан будет уменьшаться до номинального значения, определяемого весом натяжного устройства, натяжение в точке сбегания — увеличиваться. Этот переходный процесс может сопровождаться колебаниями величин натяжений [9], уменьшением величины тягового фактора, и при этом могут возникнуть условия (возможно, кратковременные), приводящие к провисанию ленты между роликотопорами в грузовой ветви. При последующем пуске двигателя лента будет распрямляться, что приведет к просыпанию груза. Кроме того, приводной барабан может начать вращаться в обратном направлении.

На рис. 1 представлена расчетная схема конвейера, которую используют авторы в своих работах.

Принятые в этой схеме обозначения следующие:  $M_{пр}$  — момент двигателя, приведенный к валу приводного барабана;  $L$  — длина ленты;  $G_{гн}$  — вес груза натяжного устройства;  $m_1$  — сосредоточенные массы грузовой и порожней

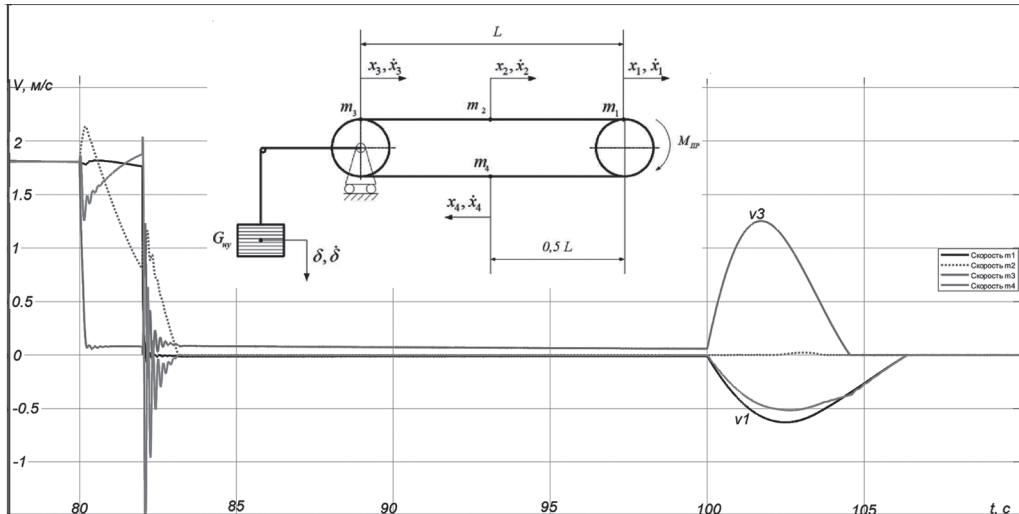


Рис. 1. Расчетная схема конвейера и изменение скоростей при торможении с последующим снятием тормоза

Fig. 1. The design scheme of the conveyor and the change in speeds during braking, followed by the removal of the brake

ветвей;  $x_1 \dots x_4$  — перемещения сосредоточенных масс;  $\dot{x}_1, \dots \dot{x}_4$  — скорости сосредоточенных масс;  $\delta, \dot{\delta}$  — перемещение и скорость натяжного устройства.

Основную информацию на рисунке несут графики изменения скоростей сосредоточенных масс при торможении конвейера и последующем снятии тормоза. Особенное внимание следует уделить изменению скоростей на головном барабане ( $v_1$  на рис. 1) и на хвостовом барабане ( $v_3$  на рис. 1), поскольку именно их соотношение будет свидетельствовать о наличии или отсутствии проскальзывания. Было выполнено предварительное торможение хвостового барабана в момент времени  $t = 80$  с, после этого в момент времени  $t = 82$  с было реализовано торможение привода и головного барабана тормозными колодками. Затем, в момент  $t = 100$  с, тормоз снимается. На графиках виден интервал времени длительностью более 5 с, в течение которого скорость сосредоточенной массы на приводном барабане  $x_1$  отрицательна. В этом же промежутке времени наблюдается уменьшение тягового фактора, как показано на рис. 2.

Для того чтобы не допустить падения натяжения в грузовой ветви конвейера

после останова привода, необходимо использовать тормозное устройство на приводном барабане, тогда вращение барабана блокируется и натяжение ленты в грузовой ветви уменьшаться не будет. Если не отключать тормозные устройства, пока конвейер остановлен, а отключать их при пуске конвейера одновременно с запуском привода (или с какой-либо временной задержкой), как представлено на рис. 3, то не будет обратного хода и пуск пройдет плавно и быстро.

Рассчитаем минимальную величину тормозного момента, необходимую для блокировки приводного барабана после его останова. При использовании алгоритма с предварительным торможением хвостового барабана в ветвях конвейера создаются дополнительные динамические натяжения [2], после чего приводной барабан останавливается.

Согласно методу обхода по контуру [10, 11], представленного на рис. 4, натяжение в точке сбегания с приводного барабана равно  $S_{сб} = 0,5G_{ну} - W_p$ ; в точке набегания  $S_{нб} = 0,5G_{ну} + W_p$ , где  $W_p$  — сопротивление движению на порожней ветви;  $W_r$  — сопротивление движению на грузовой ветви.

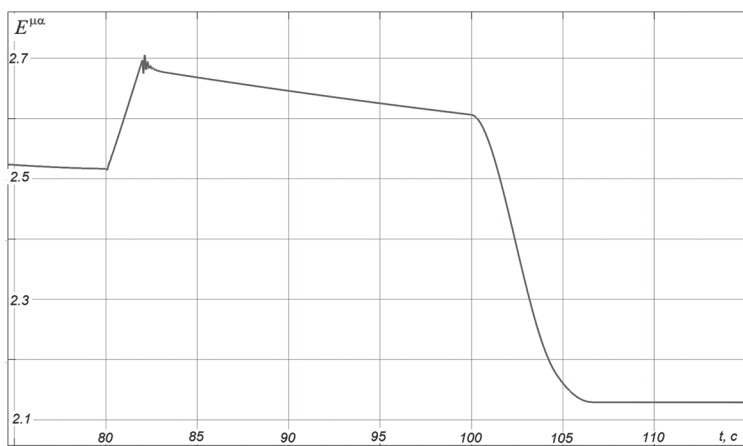


Рис. 2. Изменение тягового фактора при торможении с последующим снятием тормоза  
Fig. 2. Change of the traction factor during braking with subsequent removal of the brake

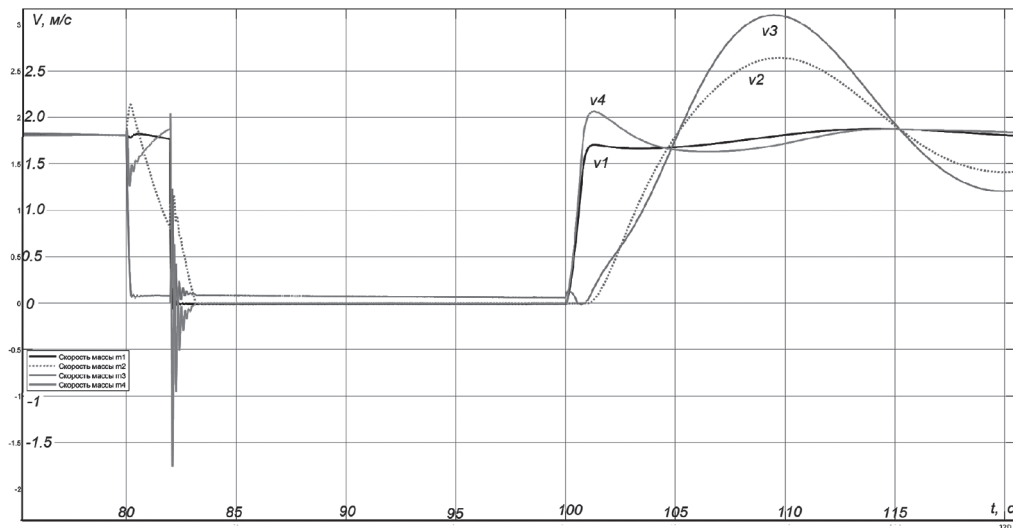


Рис. 3. Скорости сосредоточенных масс при останове и последующем пуске с одновременным снятием тормоза

Fig. 3. Velocities of concentrated masses during stop and subsequent start-up with simultaneous removal of the brake

При торможении хвостового барабана конвейера возникают дополнительные силы сопротивления движению ленты  $W_n$  и  $W_{тр}$ , пропорциональные силам трения  $F_{тр}$  между тормозной колодкой и барабаном:

$$\begin{aligned} S_{сб} &= 0,5G_{ну} - W_n - 2F_{тр}; \\ S_{нб} &= 0,5G_{ну} + W_n + 2F_{тр}. \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда суммарная сила, действующая на приводной барабан с момента его останова, вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} F_{\Sigma} &= S_{нб} - S_{сб} + 0,5G_{ну} - 0,5G_{ну} - \\ &- W_n - W_{тр} = 4F_{тр}. \end{aligned} \quad (2)$$

С другой стороны, сила трения на хвостовом барабане пропорциональна тормозному моменту:

$$F_{тр} = M_{Тхв} / R_B, \quad (3)$$

где  $R_B$  – радиус приводного барабана;  $M_{Тхв}$  – величина тормозного момента, приложенного к хвостовому барабану. Следовательно, результирующий момент

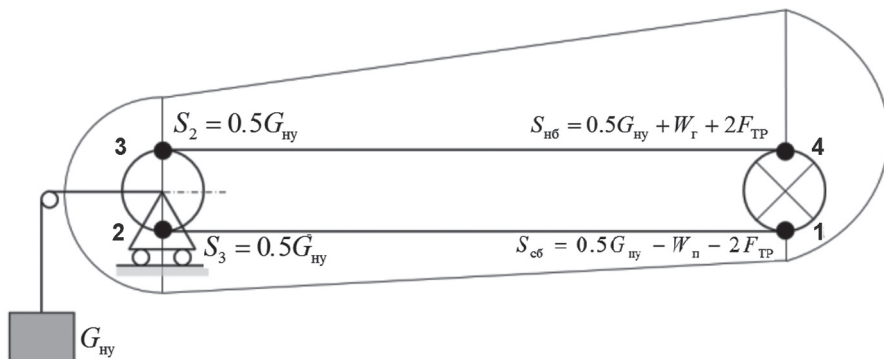


Рис. 4. Определение натяжений в ветвях конвейера после останова приводного барабана

Fig. 4. Determination of tension in the conveyor branches after stopping the drive drum

сил, действующий на приводной барабан в момент его останова, равен

$$M_{ТОРΣ} = 4 \frac{M_{ТХв}}{R_Б} . \quad (4)$$

С помощью (4), зная величину приложенного к хвостовому барабану тормозного момента [12], получим значение суммарного момента, действующего на приводной барабан в момент останова. Следовательно, требуемая величина тормозного момента, который необходимо приложить к приводному барабану для его блокировки, равна взятой с обратным знаком величине суммарного момента.

Если привод конвейера и тормозное устройство расположены на головном барабане, то при торможении конвейера от привода по верхней загруженной ветви распространяется прямая упругая волна растяжения, по порожней ветви проходит прямая волна сжатия, которая приводит к увеличению тягового фактора  $E^{\mu\alpha}$ . Начинается скольжение ленты. Устранить пробуксовку можно, изменяя натяжение на сбегавшей ветви. Если использовать автоматическое натяжное устройство [13, 14], то осуществить это возможно путем увеличения веса натяжного устройства или изменения положения каретки автоматического натяжного устройства.

В [15] были получены зависимости, необходимые для регулирования тягового фактора: связь между растяжениями различных участков конвейерной ленты и усилиями, которые вызывают эти деформации, и связь между усилиями и весом натяжного устройства. В [15] выполнено «тарирование» ленты конвейера, позволившее затем методом наименьших квадратов определить зависимости между деформацией  $\delta_1$  участка  $x_1 - x_2$  (см. рис. 1) и усилием  $S_{нб}$  на головном барабане в грузовой ветви (см. рис. 4), и зависимость между дефор-

мацией  $\delta_4$  участка  $x_1 - x_4$  и усилием  $S_{сб}$ , возникающим на головном барабане в порожней ветви. Эти зависимости линейные.

Приведем пример этих зависимостей для рассматриваемого конвейера:

$$\begin{aligned} S_{нб} &= 4200\delta_1 + 28\,153; \\ S_{сб} &= 4463,5\delta_4 - 129,8. \end{aligned} \quad (5)$$

Вторая зависимость, положенная в основу регулятора натяжений — это зависимость между весом груза натяжного устройства и тяговым фактором. Естественно, что изменяется не вес натяжного устройства, а положение натяжной каретки, которая, изменяя свое положение, действует подобно изменению веса грузового натяжного устройства. Приемлемая ошибка аппроксимации позволяет остановиться на квадратичной зависимости:

$$\begin{aligned} G(t) = f(E^{\mu\alpha}) &= 22\,230 (E^{\mu\alpha})^2 - \\ &- 149\,540 E^{\mu\alpha} + 301\,380 \end{aligned}$$

Располагая зависимостями (5), можно, непрерывно измеряя в модели деформации  $\delta_1(t)$  и  $\delta_4(t)$ , непрерывно же вычислять усилия  $S_{нб}(t)$  и  $S_{сб}(t)$  и, как следствие, тяговый фактор  $E^{\mu\alpha}(t) = S_{нб}(t)/S_{сб}(t)$ . Среднее расхождение между экспериментальными данными и аналитической зависимостью для разных значений тягового фактора равно  $m = 0,66\%$ .

Существенным способом исследования режимов работы сложных технологических объектов является математическое моделирование [16, 17]. Моделирование проводилось в Matlab Simulink [7, 8]. При движении ленты конвейера постоянно происходит измерение деформаций участков ленты на приводном барабане и вычисление натяжений в ленте, которые вызывают эти деформации. При пуске или торможении конвейера в ленте возникают дополнительные динамические натяжения.

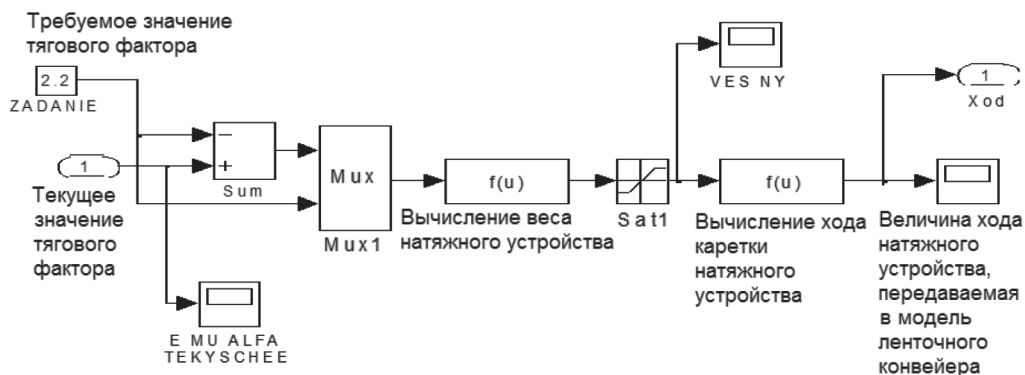


Рис. 5. Схема регулятора стабилизации тягового фактора  
 Fig. 5. Diagram of the traction factor stabilization regulator

В этом случае изменяется текущая величина тягового фактора. Система стабилизации реализована по традиционной одноконтурной схеме, представленной на рис. 5.

Сигнал об изменении веса груза натяжного устройства или о перемещении каретки натяжного устройства подается в качестве управляющего сигнала в модель ленты конвейера. При этом происходит изменение натяжений и, следовательно, стабилизация величины тягового фактора  $E^{\mu\alpha}(t)$ .

### Контроль провисания ленты

В пуско-тормозных режимах натяжение ленты может упасть ниже уровня,

при котором обеспечивается устойчивое движение ленты без образования недопустимого провисания ленты между роликоопорами. Определим величину провисания грузовой ветви ленты. Максимальное провисание наблюдается в том месте, в котором натяжение ленты имеет минимальное значение. По диаграмме натяжений, представленной на рис. 3, это участок у хвостового барабана. Величина провисания  $l_{nmax}$  определяется по формуле

$$l_{nmax} = \frac{g(q_r + q_n) l_r^2}{8S_{min}}, \quad (6)$$

где  $S_{min}$  — минимальное натяжение ленты на грузовой ветви, Н;  $q_r$  и  $q_n$  — вес

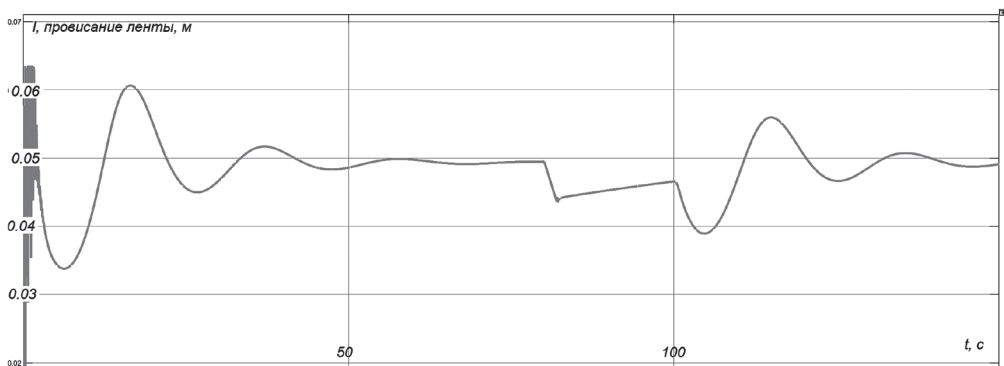


Рис. 6. Изменение величины провисания ленты между роликами на грузовой ветви без дополнительной коррекции

Fig. 6. Change in the amount of belt sagging between the rollers on the loaded branch without additional correction

груза и ленты, Н/м;  $l_r$  — расстояние между роlikоопорами на грузеной ветви, м. Как было сказано выше, изменение величины  $S_{\min}$  можно не вычислять, а отслеживать в модели.

Величина  $l_{n \max}$  должна быть меньше предельно допустимого значения  $l_{n \text{пр}}$ . Для насыпных грузов эта величина определяется по выражению

$$l_{n \text{пр}} = (0,025 \dots 0,03) l_r \quad (7)$$

Если полученная величина провисания превышает допустимую величину, то следует увеличить натяжение. Приняв  $l_{\text{ж}} \cong l_{n \text{пр}}$ , это минимально допустимое натяжение определим как

$$S_{\text{доп.}} = \frac{g(q_r + q_n) l_r^2}{8 l_n} \quad (8)$$

Результаты вычисления провисания представлены на рис. 6.

По графикам видно, что провисание ленты превышает допустимую величину 0,04 м и составляет 0,06 м. Одновременно с этим можно наблюдать в момент времени  $t = 100$  с увеличение значения тягового фактора (рис. 7), что говорит о проскальзывании ленты.

Введем дополнительную коррекцию по величине максимально допустимого провисания, используя (6)–(8). По этим формулам мы определим необходимое усилие, которое должно развивать натяжное устройство в точках S2 и S3. Это усилие переведем в величину необходимого дополнительного хода каретки натяжного устройства, используя формулу обратной зависимости, а именно веса натяжного устройства от деформации ленты:  $G_{\text{н}}(t) = f^{-1}(l_n(t))$ . По этой зависимости можно определить, какой вес (или ход каретки) должен быть у натяжного устройства, чтобы провисание ленты между роlikоопорами не превышало допустимого значения (рис. 8).

С этой коррекцией результаты моделирования будут выглядеть так, как представлено на рис. 9.

По графикам видно, что регулятор натяжений выполняет свою задачу — провисание ленты между роlikоопорами на грузеной ветви находится в допустимых пределах.

Теперь обобщим достоинства способа торможения конвейера с предварительным торможением хвостового барабана. Можно увидеть следующие харак-

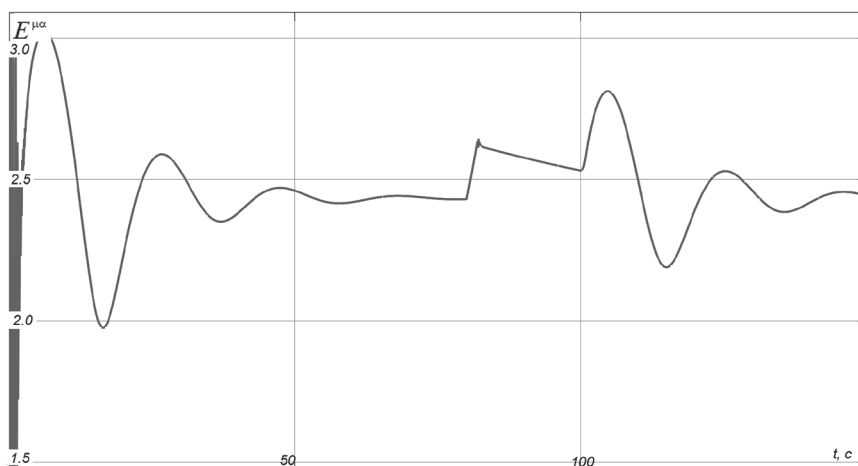


Рис. 7. Изменение величины тягового фактора без дополнительной коррекции

Fig. 7. Change in the magnitude of the traction factor without additional correction



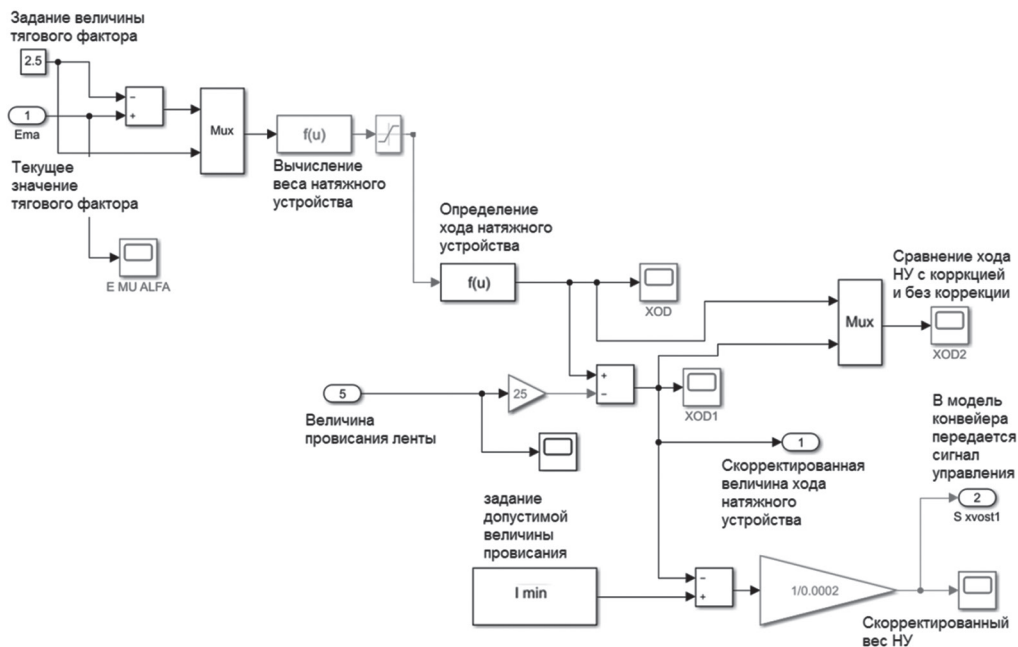


Рис. 8. Схема моделирования корректирующего регулятора  
 Fig. 8. Simulation diagram of the corrective regulator

терные особенности: при использовании предварительного притормаживания хвостового барабана в точке набегания ленты конвейера на приводной барабан и точке сбегания ленты с приводного

барабана сохраняются натяжения, отличные от номинальных, определяемых весом натяжного устройства. Это имеет положительный эффект — увеличенное, по отношению к номинальному, натяже-

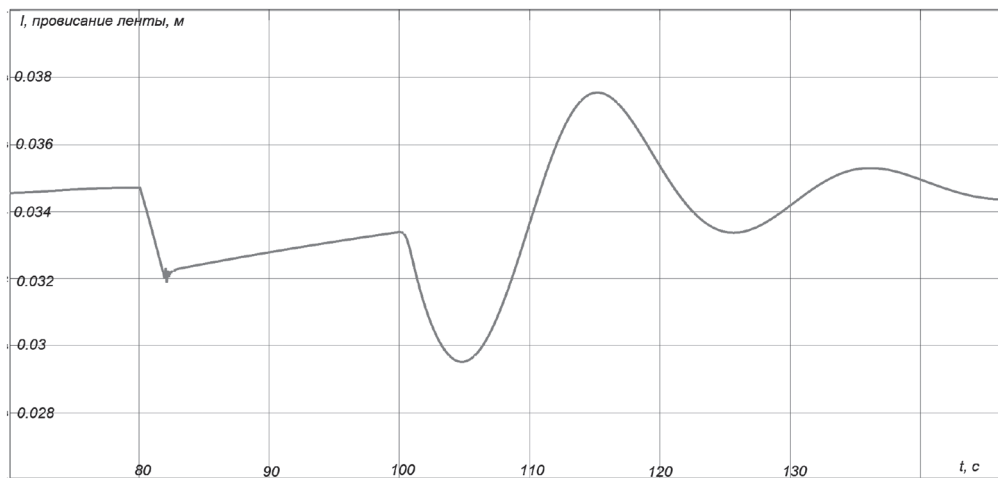


Рис. 9. Изменение величины провисания ремня между роликами на грузовой ветви с дополнительной коррекцией  
 Fig. 9. Change in the amount of belt sagging between the rollers on the cargo branch with additional correction

ние в грузовой ветви не позволяет ленте провисать между роlikоопорами, что в свою очередь не позволяет находящемуся на ленте грузу просыпаться при последующем пуске конвейера.

Условие отсутствия провисания ленты вычисляется в модели по формуле

$$S_4 \geq S_{\text{доп min}} = 5 \dots 8(q_p + q_l)l_r \quad (9)$$

Представим методику расчета параметров и алгоритм останова конвейера с предварительным торможением хвостового барабана. Предполагается, что конвейер оборудован тормозными устройствами на головном и хвостовом барабанах и управлять ими можно в произвольные моменты времени.

Для реализации алгоритма следует рассчитать следующие параметры:

- номинальное значение величины  $1/E^{\text{нц}}$ , при котором гарантированно отсутствует проскальзывание во время останова ленты;

- величину тормозного момента  $M_{\text{Тхв}}$ , создаваемого тормозным устройством на хвостовом барабане. Это величина, требуемая для достижения номинального значения  $1/E^{\text{нц}}$ ;

- величину тормозного момента, создаваемого тормозным устройством приводного барабана, требуемую для блокировки барабана после его остановки.

Предельное значение тягового фактора определяется с некоторым запасом, который учитывается с помощью коэффициента  $k_3 = 0,8 \dots 0,9$ ;  $E_0 = k_3 1/E^{\text{нц}}$ . Для расчета величины тормозного момента сначала рассчитывается величина динамических натяжений, которые необходимо создать в ветвях конвейера:

$$W_T = \frac{W_{\text{п уст}} - E_0 W_{\text{г уст}}}{E_0 + 1}, \quad (10)$$

где  $W_{\text{п уст}}$ ,  $W_{\text{г уст}}$  — значения статических натяжений в порожней и грузовой ветвях. Напомним, что величины натяже-

ний вычисляются по следующим зависимостям:

$$W_{\text{п уст}} = q_p L w; \quad W_{\text{г уст}} = q_l L w, \quad (11)$$

где  $q_p$ ,  $q_l$  — погонный вес порожней и грузовой ветви;  $L$  — длина ветви;  $w$  — коэффициент сопротивления движению.

Величина тормозного момента, который требуется приложить к хвостовому барабану:

$$M_{\text{Тхв}} = \frac{R(0,5G_{\text{нц}} - (q_p + q_l)Lw - W_{\text{п уст}} + W_T)}{2} \quad (12)$$

Величина тормозного момента, который следует приложить к приводному барабану для его блокировки после останова привода, определяется по (3).

## Выводы

Моделирование останова ленточного конвейера с последующим снятием тормоза показало наличие в течение примерно 5 с существенного обратного хода грузовой ветви. Следовательно, и горизонтальный конвейер нужно оставлять с включенными тормозами до следующего пуска.

Применение предлагаемого авторами алгоритма торможения конвейера с предварительным притормаживанием хвостового барабана и дополнительной коррекцией тягового фактора для исключения провисания ленты между роlikоопорами позволяет минимизировать либо полностью устранить проскальзывание ленты на приводном барабане. Кроме того, применение этого алгоритма позволяет значительно сократить время останова привода, следовательно, сократить период, в течение которого проскальзывание может возникнуть. Создаваемые в процессе останова динамические натяжения фиксируются тормозными устройствами после останова конвейера, что позволяет избежать про-

висания ленты между роlikоопорами на грузовой ветви. Исходя из этого, можно утверждать, что предлагаемый алгоритм позволяет снизить износ ленты и уменьшить просыпания груза. В свою очередь это повышает эффективность использования конвейерной установки.

Методика расчета технологических параметров процесса торможения (ве-

личин тормозных моментов, выдержек времени и т.д.) базируется на найденных в результате модельных исследований зависимостях и построена так, что может быть применена к любой конвейерной установке определенного класса — одноприводным горизонтальным конвейерам с желобчатой лентой с верхней несущей ветвью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабокин Г. И., Колесников Е. Б., Овсянников Д. С., Шпрехер Д. М. Разработка алгоритма частотного пуска электропривода скребкового конвейера с минимальным рывком в цепи тягового органа // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. — 2023. — Т. 66. — № 2. — С. 58—67. DOI: 10.17213/0136-3360-2023-2-58-67.

2. Дмитриева В. В., Собянин А. А., Сизин П. Е. Моделирование различных режимов торможения ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 11. — С. 80—95. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_11\_0\_80.

3. Lei Wu, Junxia Li, Hongyu Zhang, Wei Zhang, Shuai Huang Research on a system for the diagnosis and localization of conveyor belt deviations in belt conveyors // Measurement Science and Technology. 2023, vol. 35, no. 3. DOI: 10.1088/1361-6501/ad0c48.

4. Копылов К. Н., Кубрин С. С., Закоршменный И. М., Решетняк С. Н. Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт // Уголь. — 2019. — № 3. — С. 46—49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.

5. Труфанова И. С., Сержан С. Л. Повышение эффективности транспортирования ленточным конвейером с промежуточным приводом // Записки Горного института. — 2019. — Т. 237. — С. 331—335. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.331.

6. Ke Qian Key Technology of starting and braking for downward belt conveyor with large inclination // Mine Engineering. 2020, vol. 8, no. 4, pp. 451—454. DOI: 10.12677/ME.2020.84056.

7. Перекутнев В. Е., Зотов В. В. Моделирование приводных шкивов подъемных установок с резиновых канатами // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 105—114. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.

8. Гылымлы С., Тиагалиева Ж. А., Белянкина О. В. Разработка имитационной модели торможения шахтной подъемной установки в системе Matlab // Уголь. — 2022. — № 10. — С. 50—54. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-50-54.

9. 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. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-04-380-389.

10. Дмитриев В. Г., Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. — М.: Машиностроение, 1987. — 336 с.

11. Дмитриев В. Г., Вержанский А. П. Основы теории ленточных конвейеров. — М.: Изд-во «Горная книга», 2017. — 590 с.

12. Дмитриева В. В., Собянин А. А., Сизин П. Е. Алгоритм останова конвейера с предварительным торможением хвостового барабана // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2024. — № 2. — С. 93—104. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_2\_0\_93.

13. Shengyong Mu Research on the control system of the multi-point driving belt conveyor tension device / International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE), 2020. DOI: 10.1109/ICBAIE49996.2020.00074.

14. Вуйчицкий В., Фамур О. А. Применение узла натяжения ленты в конструкциях конвейеров для транспортирования сыпучих грузов на подъем и под уклон // Горная промышленность. — 2019. — № 2 (144). — С. 60—62.

15. Дмитриева В. В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — М., 2005.
16. Xi Pingyuan, Song Yandong Dynamic simulation on the belt conveyor on emergency braking / Intelligent Computation Technology and Automation, International Conference, 2009. DOI: 10.1109/ICICTA.2009.245.
17. Qixun Zhou, Hao Gong, Wenhao Sun, Qi Yan, Keke Shi, Guanghui Du Active speed control of belt conveyor with variable speed interval based on Fuzzy Algorithm // Journal of Electrical Engineering and Technology. 2023 vol. 19, no. 6. DOI: 10.1007/s42835-023-01647-0. **MIAB**

## REFERENCES

1. Babokin G. I., Kolesnikov E. B., Ovsyannikov D. S., Sprecher D. M. Development of an algorithm for frequency start-up of an electric drive of a scraper conveyor with a minimum jerk in the chain of the traction organ. *Russian Electromechanics*. 2023, vol. 66, no. 2, pp. 58–67. [In Russ]. DOI: 10.17213/0136-3360-2023-2-58-67.
2. Dmitrieva V. V., Sobyandin A. A., Sizin P. E. Modeling of various modes of belt conveyor braking. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 11, pp. 80–95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_11\_0\_80.
3. Lei Wu, Junxia Li, Hongyu Zhang, Wei Zhang, Shuai Huang Research on a system for the diagnosis and localization of conveyor belt deviations in belt conveyors. *Measurement Science and Technology*. 2023, vol. 35, no. 3. DOI: 10.1088/1361-6501/ad0c48.
4. Kopylov K. N., Kubrin S. S., Zakorshmeny I. M., Reshetnyak S. N. Reserves for improving the efficiency of coal mine excavation sites. *Ugol'*. 2019, no. 3, pp. 46–49. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.
5. Trufanova I. S., Serzhan S. L. Improving the efficiency of transportation by a belt conveyor with an intermediate drive. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 237, pp. 331–335. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.331.
6. Ke Qian Key Technology of starting and braking for downward belt conveyor with large inclination. *Mine Engineering*. 2020, vol. 8, no. 4, pp. 451–454. DOI: 10.12677/ME.2020.84056.
7. Perekutnev V. E., Zotov V. V. Modeling drive wheels of hoisting machines with rubber cables. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 105–114. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.
8. Gylymuly S., Tagalieva Zh. A., Belyankina O. V. Development of a simulation model for automated installation in the Matlab system. *Ugol'*. 2022, no. 10, pp. 50–54. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-50-54.
9. Goncharov K. A. Features of constructing a probabilistic mathematical model of the distribution of traction forces in a multi-drive belt conveyor. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018, no. 4, pp. 380–389. [In Russ]. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-04-380-389.
10. Dmitriev V. G., Shakhmeyster L. G. *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyors], Moscow, Mashinostroenie, 1987, 336 p.
11. Dmitriev V. G., Verzhanskiy A. P. *Osnovy teorii lentochnykh konveyerov* [Dmitriev V. G., Verzhanskiy A. P. Fundamentals of the theory of belt conveyors], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2017, 590 p.
12. Dmitrieva V. V., Sobyandin A. A., Sizin P. E. Algorithm of conveyor stopping with preliminary braking of tail pulley. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 2, pp. 93–104. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_2\_0\_93.
13. Shengyong Mu Research on the control system of the multi-point driving belt conveyor tension device. *International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)*, 2020. DOI: 10.1109/ICBAIE49996.2020.00074.
14. Vujchitsky V., Famur O. A. Application of the belt tension unit in conveyor designs for the transportation of bulk cargo on the underside and under the slope. *Russian Mining Industry Journal*. 2019, no. 2 (144), pp. 60–62. [In Russ].
15. Dmitrieva V. V. *Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskoy stabilizatsii pogonnoy nagruzki magistral'nogo konveyera* [Development and research of the system of automatic stabilization of the linear load of the main conveyor], Candidate's thesis, Moscow, 2005.

16. Xi Pingyuan, Song Yandong Dynamic simulation on the belt conveyor on emergency braking. *Intelligent Computation Technology and Automation, International Conference*, 2009. DOI: 10.1109/ICICTA.2009.245.

17. Qixun Zhou, Hao Gong, Wenhao Sun, Qi Yan, Keke Shi, Guanghui Du Active speed control of belt conveyor with variable speed interval based on Fuzzy Algorithm. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2023 vol. 19, no. 6. DOI: 10.1007/s42835-023-01647-0.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Дмитриева Валерия Валерьевна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

*Собянин Алексей Андреевич*<sup>1</sup> — аспирант,  
e-mail: sobyanin99@yandex.ru,

*Сизин Павел Евгеньевич* — канд. физ.-мат. наук,  
доцент, e-mail: mstranger@list.ru, НИТУ МИСИС,

<sup>1</sup> Российский университет нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина, Москва, Россия.

**Для контактов:** Сизин П.Е., e-mail: mstranger@list.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.V. Dmitrieva*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant Professor, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

*A.A. Sobyenin*<sup>1</sup>, Graduate Student,  
e-mail: sobyanin99@yandex.ru,

*P.E. Sizin*, Cand. Sci. (Phys. Mathem.),  
Assistant Professor, e-mail: mstranger@list.ru,  
NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia,

<sup>1</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas  
(National Research University), 119991, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** P.E. Sizin, e-mail: mstranger@list.ru.

Получена редакцией 30.11.2023; получена после рецензии 12.09.2024; принята к печати 10.02.2025.

Received by the editors 30.11.2023; received after the review 12.09.2024; accepted for printing 10.02.2025.

