

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

## ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

### Научная статья

УДК 62-531.6

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-3-11

Котин Денис Алексеевич, Сухинин Степан Евгеньевич

Новосибирский государственный технический университет

\*E-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru

### РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА НА ОСНОВЕ ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ



#### Информация о статье

Поступила:

11 октября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

22 ноября 2024 г.

Опубликована:

11 декабря 2024 г.

#### Ключевые слова:

ленточный конвейер, асинхронный электропривод, преобразователь частоты, математическое моделирование, натяжение ленты, приводной барабан, сосредоточенные параметры, SimInTech

#### Аннотация.

В работе рассматривается работа ленточного конвейера с двумя приводными барабанами. Для создания математической модели конвейера вся трасса была разбита на восемь сосредоточенных масс. Электропривод приводных барабанов состоит из асинхронного двигателя и преобразователя частоты на каждый барабан. Регулятор скорости расположен в канале задания первого приводного барабана. Для получения обратной связи по скорости датчик скорости устанавливается на груженой части ленты в центре сосредоточенной массы, первой после приводного барабана. Рассмотрено несколько способов расчета регулятора скорости конвейера. Первым вариантом является расчет по упрощенной передаточной функции конвейера, для синтеза регулятора используется передаточная функция восьмой сосредоточенной массы, упрощенная до второй степени в знаменателе. Вторым вариантом является расчет по полученной аналитической зависимости параметров передаточной функции сосредоточенной массы конвейера от параметров ленты (жесткость, вязкость, масса), позволяющей синтезировать систему управления без создания математической модели. Для проверки работы регулятора с коэффициентами, рассчитанными по второму методу, был рассмотрен пуск как полностью, так и частично загруженного конвейера. Было исследовано качество переходного процесса при обоих вариантах коэффициентов регулятора. Моделирование выполнено в среде математического моделирования SimInTech. Результаты моделирования показывают применимость обоих рассмотренных способов для синтеза регулятора скорости конвейера.

**Для цитирования:** Котин Д.А., Сухинин С.Е. Расчет коэффициентов регулятора скорости ленточного конвейера на основе его физических параметров // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 5 (175). С. 3-11. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-3-11, EDN: SHATIT

#### Введение

При пуске, торможении или изменении скорости ленты конвейера возникают колебания участков ленты, негативно сказывающиеся на его работе, при этом чем длиннее конвейер, тем сильнее влияние колебаний. Основным негативным влиянием колебаний является изменение натяжений участков ленты на приводном барабане, вызывающее проскальзывание ленты на барабане [1, 2]. Помимо этого, колебания создают избыточный динамиче-

ский момент в ленте, приводя к ее растяжению [3, 4]. Все это приводит к увеличенному износу ленты [5, 6].

Для ограничения колебаний используются различные методы [7, 8, 9], наиболее эффективным из которых является пуск двигателя от преобразователя частоты. Чем больше время пуска, тем меньше колебания ленты, но не всегда возможно увеличение времени пуска из-за ограничений технологиче-

ского процесса. Минимальное время пуска ограничено максимально возможным ускорением [10].

Уменьшить колебания при пуске, сохранив минимальное время пуска, возможно за счет использования датчика скорости на груженом участке ленты. Датчик устанавливается на участке, близком к главному приводному барабану. Система управления на основании показаний с датчика изменяет скорость приводного барабана. Это позволяет обеспечить пуск конвейера с минимальными колебаниями. На Рис. 1 представлена схема двухдвигательного ленточного конвейера.

#### Способы получения коэффициентов регулятора

Для создания системы управления скоростью конвейерной ленты необходимо получить передаточную функцию объекта управления. Это позволит определить структуру регулятора и значения его коэффициентов. Конвейер представляет собой сложную систему с распределенными параметрами, но для упрощения математической модели конвейер можно представить в виде конечного числа сосредоточенных масс, в каждую из которых будет входить масса всех движущихся частей конвейера [11, 12, 13].

Все массы связаны между собой вязкоупругой связью. Для дальнейшего описания методики получения математического модели конвейера будет использоваться конвейер, представленный на Рис. 1. Вся длина конвейера разбивается на восемь сосредоточенных масс. Увеличение числа масс позволяет увеличить точность математической модели, но значительно повысит степень передаточной функции [14]. Сосредоточенные массы, расположенные на груженом участке конвейера, включают в себя массу ленты, роликоопор, барабанов и груза. Массы, расположенные на порожнем участке ленты, роликоопор и барабанов. Схема конвейера, разбитого на восемь сосредоточенных масс, представлена на Рис. 2.

Систему с сосредоточенными параметрами можно представить в виде системы пространства состояний [15] либо в виде матрицы передаточных функций каждого выходного параметра от каждого входного воздействия [16].

В работе [17] рассматривается способ получения передаточных функций для каждой сосредоточенной массы и их дальнейшего упрощения до

второй степени в знаменателе путем сокращения близкорасположенных нулей и полюсов. Это позволяет использовать классические методы синтеза регулятора скорости конвейерной ленты. В результате упрощения передаточной функции конвейера регулятор имеет структуру классического ПИД-регулятора с настройкой на модульный оптимум.

Упрощенная передаточная функция сосредоточенной массы имеет вид:

$$W_{ij} = \frac{k}{a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0} \quad (1)$$

где,  $k$  – коэффициент усиления передаточной функции,  $a_i$  – коэффициенты полинома знаменателя,  $p$  – оператор Лапласа.

Передаточную функцию можно преобразовать к виду классического колебательного звена:

$$W_{ij} = \frac{k}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} \quad (2)$$

Тогда коэффициенты ПИД-регулятора рассчитываются по формулам:

$$K_P = \frac{2 \cdot \xi \cdot T}{a \cdot T_{ed} \cdot k} \quad (3)$$

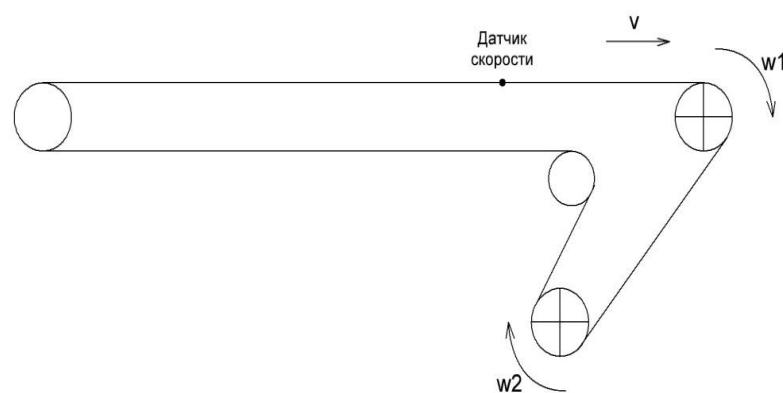


Рис. 1. Схема ленточного конвейера:  $w1$  – частота вращения первого приводного барабана;  $w2$  – частота вращения второго приводного барабана;  $v$  – скорость движения ленты

Fig. 1. The diagram of the conveyor belt:  $w1$  – the speed of rotation of the first drive drum;  $w2$  – the speed of rotation of the second drive drum;  $v$  – the speed of the belts

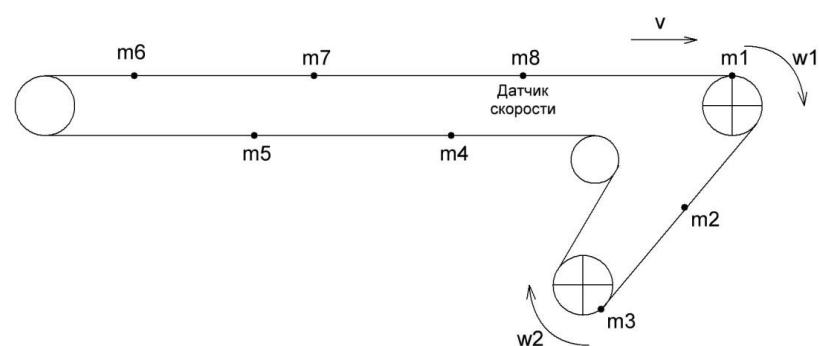


Рис. 2. Схема конвейера, разбитого на 8 сосредоточенных масс:  $m1-m8$  – сосредоточенные массы конвейера

Fig. 2. Diagram of the conveyor divided into 8 concentrated masses:  $m1-m8$  – concentrated conveyor masses

Таблица 1. Параметры конвейера

Table1. Conveyor parameters

Параметр	Значение	Параметр	Значение
M6г	21975, кг	M6х	6225, кг
M7г	21975, кг	M7х	6225, кг
M8г	21975, кг	M8х	6225, кг
Kс	21760, Н/м	Dс	15232, Н*с/м

$$K_I = \frac{1}{a \cdot T_{ed} \cdot k} \quad (4)$$

$$K_D = \frac{T^2}{a \cdot T_{ed} \cdot k} \quad (5)$$

где, а – настроочный коэффициент, Ted – некомпенсируемая постоянная времени электропривода.

Постоянная времени электропривода рассчитывается также на модульный оптимум. При этом система электропривода представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования [18, 19].

Из формул (3-5) видно, что коэффициент Д-составляющей зависит только от значения постоянной времени, коэффициент П-составляющей зависит от постоянной времени и коэффициента демпфирования, а коэффициент И-составляющей зависит только от значений в знаменателе.

Нахождение передаточной функции объекта является трудоемким процессом, даже с учетом использования средств компьютерного моделирования. Исследование математической модели позволило установить зависимость значения постоянной времени передаточной функции конвейера от основных физических параметров конвейерной ленты: массы, жесткости, вязкости. Эта зависимость представлена формулой:

$$T = \frac{\sum m_i + i \cdot D_c}{i \cdot K_c} \quad (6)$$

Где,  $m_i$  – сосредоточенные массы конвейера, распо-

ложенные на груженой части ленты конвейера, кг,  $i$  – число сосредоточенных масс,  $K_c$  – жесткость конвейерной ленты, Н/м,  $D_c$  – вязкость конвейерной ленты, Н\*с/м.

Данная зависимость позволяет находить передаточную функцию сосредоточенной массы конвейера, на которой установлен датчик скорости, без построения математической модели конвейера. Таким образом, синтез системы управления сводится к определению физических параметров конвейерной ленты на основе паспортных данных или экспериментальных значений.

Для рассматриваемого конвейера формула имеет вид:

$$T = \frac{m_6 + m_7 + m_8 + 3 \cdot D_c}{3 \cdot K_c} \quad (7)$$

В Таблице 1 представлены значения параметров конвейера при полностью загруженной ленте (Mig) и при холостом пуске конвейера (Mix).

#### Исследование расчета постоянной времени

Рассмотрим случай, когда массы груженой части конвейера изменяются одинаково и равномерно от 0 (незагруженный конвейер, учитываются только массы ленты и роликоопор) до 1,2 (конвейер, перегруженный на 20% от номинального). Математическое моделирование производилось в программе математического моделирования SimInTech. Результат моделирования представлен на Рис. 3.

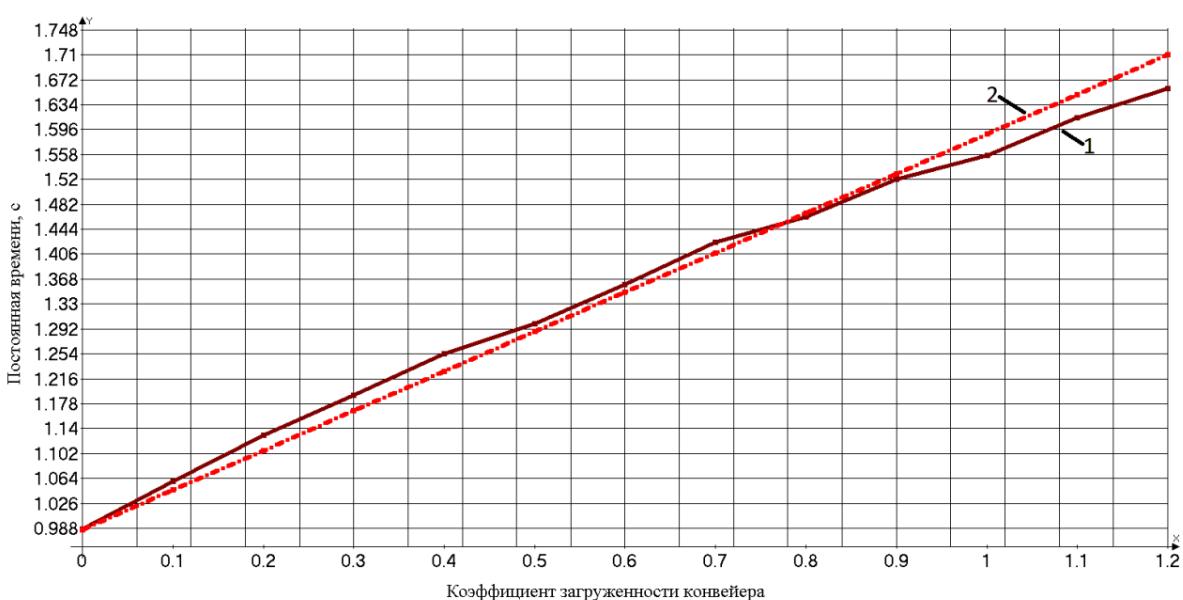


Рис. 3. Изменение постоянной времени от изменения массы груза: 1 – значение постоянной времени, полученное из математической модели; 2 – значение постоянной времени, рассчитанное по формуле (7)

Fig. 3. The change in the time constant from the change in the weight of the load: 1 – the value of the time constant obtained from the mathematical model; 2 – the value of the time constant calculated by the formula (7)

Таблица 2. Качество переходного процесса при различной настройке регулятора  
Table2. The quality of the transient process with different settings of the regulator

	Постоянные коэффициенты		Коэффициенты зависят от Тэксп		Коэффициенты зависят от формулы (7)	
	Тпп, с	Δmax	Тпп, с	Δmax	Тпп, с	Δmax
M6,M7,M8=1	10.738	6.93	10.738	6.93	10.791	6.933
M6=0,M7,M8=1	10.65	6.886	10.3	6.84	10.327	6.845
M7=0,M6,M8=1	10.743	6.886	10.333	6.84	10.35	6.84
M8=0,M6,M7=1	10.973	6.946	10.915	6.94	10.777	6.95

Красной сплошной линией показано изменение постоянной времени, полученное на основании математической модели. Из графика видно, что при увеличении массы груза значение постоянной времени происходит нелинейно. Пунктирной линией обозначено изменение постоянной времени, рассчитанное на основе формулы (7). Максимальная погрешность при таких условиях составляет 3%. Это позволяет сделать вывод о возможности применения формулы для синтеза системы управления.

При реальных условиях эксплуатации масса груза не будет равномерно распределена по всей длине груженой части, поэтому необходимо еще рассмотреть граничные условия, при которых изменяется только одна из масс конвейера, остальные остаются полностью загруженные.

В результате получены три графика изменения постоянной времени, представленные на Рис. 4. Зеленая линия соответствует изменению только восьмой массы, красная линия соответствует изменению только седьмой массы, синяя – изменению только шестой массы. Синей пунктирной линией обозначается изменение постоянной времени, вычисленное по предложенной формуле.

При таком варианте изменения массы значение погрешности различно для каждого участка массы. Минимальная погрешность для всех участков со-

ставляет 1,2%, максимальная погрешность при изменении массы восьмого участка составляет 8,6%.

Таким образом, погрешность определения постоянной времени по предложенной формуле при различных вариантах изменения массы на груженой части ленты конвейера не превышает 10%.

Рассмотрим, как такая погрешность расчета постоянной времени скажется на качестве управления скоростью конвейерной ленты. Для этого рассмотрим пуск конвейера при различных массах на участках ленты с тремя различными настройками регулятора. Первый вариант – коэффициенты регулятора неизменны и настроены для полной загрузки конвейера по передаточной функции, полученной из математической модели, второй – коэффициенты регулятора изменяются в соответствии с изменением постоянной времени, вычисленной экспериментально, третий – коэффициенты регулятора изменяются в соответствии с изменением постоянной времени, вычисленной по формуле. В качестве сравниваемых параметров переходного процесса исследуется: максимальная величина ошибки рассогласования и время переходного процесса (отклонение от установившегося значения не превышает 3%). Коэффициент демпфирования для всех случаях принимается равным 0,34. Полученные данные сведены в Таблицу 2.

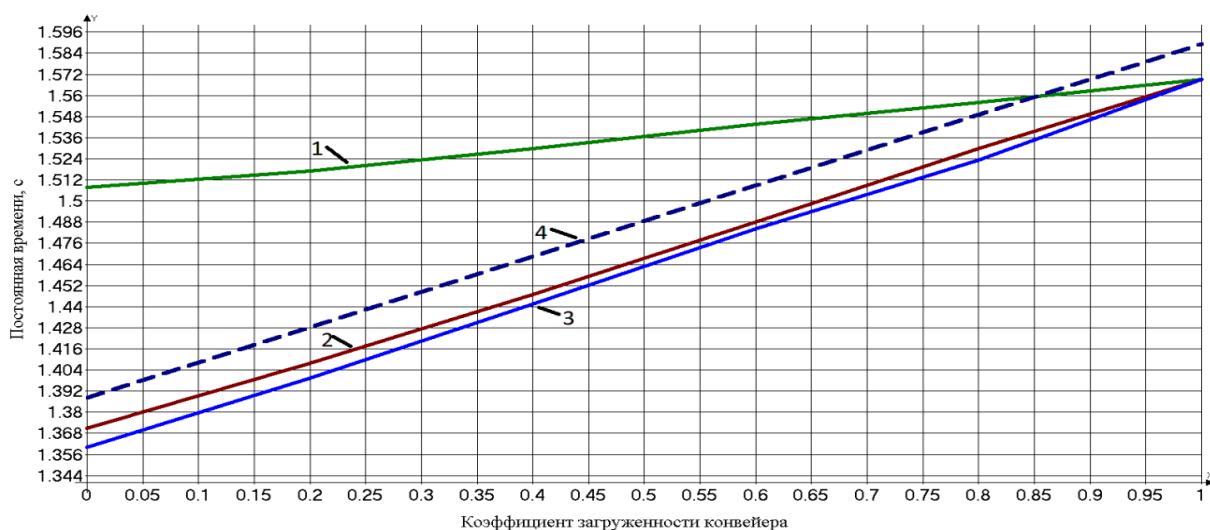


Рис.4. Изменение постоянной времени от изменения одной из сосредоточенной массы конвейера:  
1 – изменение только массы m8; 2 – изменение только массы m7; 3 – изменение только массы m6;  
4 – вычисление постоянной времени по формуле (7)

Fig. 4. The change in the time constant from a change in one of the concentrated mass of the conveyor:  
1 – a change in mass m8 only; 2 – a change in mass m7 only; 3 – a change in mass m6 only;  
4 – calculation of the time constant by formula (7)

Из данных таблицы видно, что при неизменных коэффициентах регулятора время переходного процесса в среднем больше на 3,35%, чем при изменении коэффициентов в зависимости от величины постоянной времени, полученной экспериментально. Максимальная погрешность составляет 7,57%. При изменении коэффициентов на основа-

ляющую регулятора. Рассмотрим несколько вариантов изменения коэффициента демпфирования. В первом случае изменение коэффициента происходит в соответствии с экспериментальными данными при изменении массы груза. Во втором случае рассмотрим изменение коэффициента демпфирования от 0,2 до 0,8 при полностью нагруженном кон-

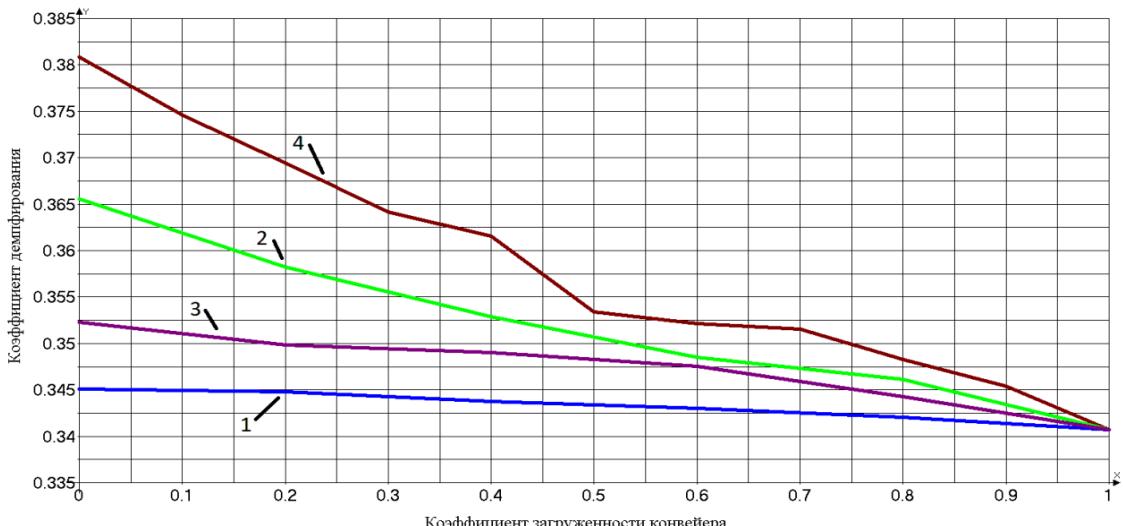


Рис. 5. График зависимости коэффициента демпфирования от массы груза: 1 – изменение коэффициента демпфирования при изменении массы только восьмого участка; 2 – только седьмого участка; 3 – только шестого участка; 4 – одновременное изменение массы на всех участках груженой ветви конвейера

Fig. 5. Graph of the dependence of the damping coefficient on the weight of the load: 1 – change in the damping coefficient when the mass changes only in the eighth section; 2 – only in the seventh section; 3 – only in the sixth section; 4 – simultaneous mass change in all sections of the loaded branch of the conveyor

нии формулы времени переходного процесса в среднем больше на 0,12%. Изменение коэффициентов регулятора позволило уменьшить величину ошибки в среднем на 1,2%.

Таким образом, использование предложенной формулы для вычисления постоянной времени участка ленты в зависимости от загруженности конвейера для последующей корректировки коэффициентов регулятора позволяет уменьшить ошибку регулирования и поддерживать минимальное время переходного процесса.

В рассматриваемых вариантах изменялась только постоянная времени, но при изменении массы меняются все характеристики переходного процесса, в том числе и коэффициент демпфирования, который оставался при исследовании постоянным и равным 0,34. На Рис. 5 представлен график изменения коэффициента демпфирования при изменении массы груженой части конвейера.

Из графика видно, что зависимость носит ярко выраженный нелинейный характер, поэтому получение формулы коэффициента демпфирования от характеристик конвейера, как это было сделано для постоянной времени, является трудной задачей.

Изменение коэффициента демпфирования вносит изменение только в пропорциональную состав-

вейере и при незагруженном. Диапазон коэффициента демпфирования выбран из соображений, что отсутствуют экспериментальные данные, но протяженный конвейер не может быть представлен ни консервативным звеном ( $\xi=0$ ), ни апериодическим ( $\xi \geq 1$ ) из-за его физических свойств.

Сравниваться будут те же параметры переходного процесса в двух вариантах: постоянная времени изменяется в соответствии с формулой при постоянном коэффициенте демпфирования; изменяется и постоянная времени, и коэффициент демпфирования. Все данные сведены в Таблицу 3.

Из полученных данных видно, что выбор коэффициента демпфирования меньше номинального приводит к уменьшению времени переходного процесса, но увеличивает максимальную ошибку. При значении коэффициента выше номинального наблюдается обратная ситуация – время переходного процесса увеличивается, а максимальная ошибка уменьшается. Максимальная разница составляет 6,24%, среднее же отклонение составляет 1,5%. Таким образом, выбор коэффициента демпфирования в широком диапазоне незначительно влияет на качество регулирования.

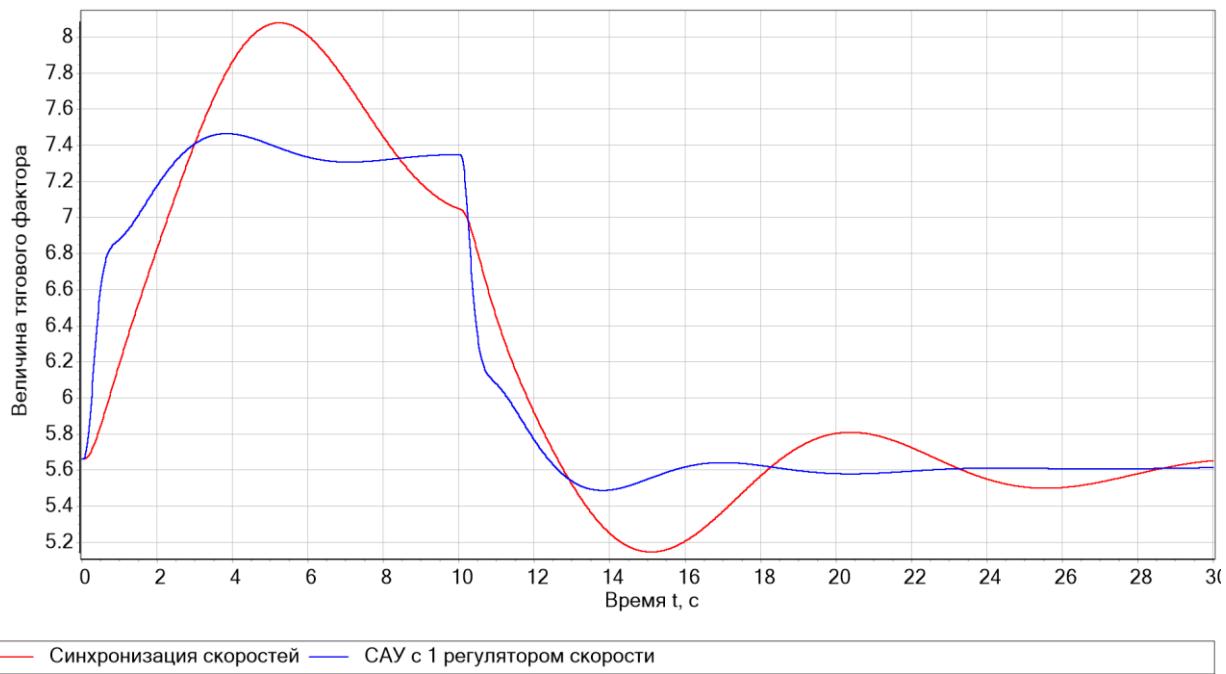


Рис. 6. График колебаний тягового фактора при пуске конвейера  
 Fig. 6. Graph of traction factor fluctuations during conveyor start-up

Полученные данные позволяют сделать вывод, что использование предложенной формулы позволяет производить настройку регулятора скорости на основе только характеристик конвейера без создания математической модели. Методика настройки регулятора зависит от наличия в системе конвейера датчика объема груза на ленте. При его наличии возможно создание системы управления с коэффициентами регулятора, зависимыми от грузопотока. При его отсутствии коэффициенты регулятора настраиваются на случай максимальной загрузки конвейера.

На Рис. 6 представлен график колебаний тягового фактора конвейера при пуске.

#### Выводы

Создание системы управления скоростью конвейерной ленты позволяет снизить колебания ленты в переходных режимах, что положительно сказывается на сроке службы механизмов конвейера, в особенности ленты. Для синтеза регулятора необходимо получить передаточную функцию объекта. Так как конвейер по своей сути является системой с распределенными параметрами, получение передаточной функции является сложной задачей, требу-

ющей наличия средств компьютерного моделирования.

Использование предложенной формулы позволяет создавать систему управления скоростью конвейера без использования математической модели, используя лишь данные, получаемые при проектировании конвейера и ежегодных испытаний конвейерной ленты. Это значительно облегчает модернизацию или проектирование конвейера.

Наличие системы управления скоростью конвейерной ленты позволяет уменьшить износ футеровки барабана и внутренней обкладки ленты за счет уменьшения колебания тягового фактора, а следовательно, уменьшения вероятности проскальзывания ленты на барабане. Снижение колебаний участков ленты также приводит к уменьшенному растяжению ленты со временем за счет снижения динамических процессов в ленте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Persson B. N. J. Conveyor belt drive physics // Tribology Letters. 2020. Т. 68. С. 1–9.
2. Harahap A. A., Handayani N. P. H. Slip handling on conveyors to extend the life of conveyors at the de-

Таблица 3. Качество переходного процесса при различной настройке регулятора  
 Table3. The quality of the transient process with different settings of the regulator

	Mi=1		Mi=0.8		Mi=0.6		Mi=0.4		Mi=0.2		Mi=0	
	Tпп, с	Δ max										
ξ=const	10.79	6.933	10.616	6.9	10.447	6.868	10.357	6.82	10.336	6.75	10.337	6.66
ξ(M)	10.79	6.933	10.626	6.9	10.46	6.86	10.375	6.8	10.356	6.728	10.364	6.63
ξ=0.2	10.626	6.9	10.45	6.92	10.33	6.92	10.281	6.91	10.27	6.86	10.28	6.77
ξ=0.3	10.75	6.95	10.57	6.92	10.4	6.89	10.33	6.85	10.315	6.78	10.315	6.69
ξ=0.4	10.855	6.9	10.683	6.865	10.52	6.825	10.413	6.77	10.38	6.7	10.38	6.62
ξ=0.5	10.953	6.82	10.78	6.78	10.64	6.74	10.54	6.68	10.455	6.62	10.46	6.56
ξ=0.6	11.045	6.72	10.88	6.68	10.75	6.64	10.65	6.59	10.558	6.54	10.55	6.55
ξ=0.7	11.12	6.61	11	6.58	10.85	6.54	10.75	6.51	10.68	6.52	10.635	6.53
ξ=0.8	11.195	6.5	11.06	6.48	10.95	6.45	10.85	6.46	10.78	6.49	10.73	6.51

partures terminal // Journal of Airport Engineering Technology (JAET). 2023. Т. 3. № 2. С. 82–88.

3. Bortnowski P. [et al.] Types and causes of damage to the conveyor belt—Review, classification and mutual relations // Engineering Failure Analysis. 2022. Т. 140. С. 106520.

4. Hrabovský L., Nenička P., Fries J. Laboratory Machine Verification of Force Transmission Provided by Friction Acting on the Drive Drum of a Conveyor Belt // ьMachines. 2023. Т. 11. № 5. С. 544.

5. Webb C. [et al.] Developing and evaluating predictive conveyor belt wear models // Data-Centric Engineering. 2020. Т. 1. С. e3.

6. Гришин А. В., Сильванович В. К. Исследование относительного ресурса службы ленты отвального ленточного конвейера // Энергопрессосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 15–17 октября 2020 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, – 2020. С. 117–123.

7. Dmitrieva V. V., Sizin P. E., Sobyanin A. A. Application of the soft starter for the asynchronous motor of the belt conveyor // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Т. 942. № 1. С. 012003.

8. Ji J., Miao C., Li X. Cosine-trapezoidal soft-starting control strategy for a belt conveyor // Mathematical Problems in Engineering. 2019. Т. 2019. С. 1–8.

9. Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J. Identification of the operating parameters of the friction drum drive in industrial conditions // Eksplotacja i Niezawodność. 2021. Т. 23. № 1. С. 94–102.

10. Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J. Identification of the operating parameters of the friction drum drive in industrial conditions // Eksplotacja i Niezawodność. 2021. Т. 23. № 1. С. 94–102.

11. He D., Liu X., Zhong B. Sustainable belt conveyor operation by active speed control // Measurement. 2020. Т. 154. С. 107458.

12. Сухинин С. Е. Двухдвигательный электропривод ленточного конвейера // Наука и молодежь : Материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 18–22 апреля 2022 года. Том 1. Часть 1. Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова 2022. С. 345–347.

13. Yao Y., Zhang B. Influence of the elastic modulus of a conveyor belt on the power allocation of multi-drive conveyors // PLoS One. 2020. Т. 15. № 7. С. e0235768.

14. Дмитриева В. В., Сизин П. Е. Анализ моделей ленточного конвейера при различном числе аппроксимирующих масс // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 1. С. 34–46.

15. Дмитриева В. В. Моделирование пускотормозных режимов ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 3. С. 65–72.

16. Kotin D. A., Sukhinin S. E., Sidorov G. S. Minimizing the Traction Factor of a Multi-Motor Belt Conveyor // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). IEEE, 2023. С. 1700–1704.

17. Котин Д. А., Сухинин С. Е., Иванов И. А. Синтез регуляторов системы управления скоростью ленточного конвейера // Synthesis. 2023. № 10–1. С. 5–21.

18. Diab A. A. Z. [et al.] Cascade model predictive vector control of induction motor drive // 2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). IEEE, 2014. С. 669–674.

19. Кабиров В. А., Семенов В. Д. Двухконтурная система подчиненного регулирования // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. 2019. Т. 1. № 1–1. С. 173–177.

© 2024 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Котин Денис Алексеевич**, начальник научного управления, Новосибирский Государственный Технический Университет, (630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20), к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3879-3029>, e-mail: d.kotin@corp.nstu.ru

**Сухинин Степан Евгеньевич**, инженер научно-исследовательской лаборатории «Исследование электроприводов», Новосибирский Государственный Технический Университет, (630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4149-7757>, e-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Котин Денис Алексеевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, вычитка и корректировка текста.

Сухинин Степан Евгеньевич – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-3-11

Denis A. Kotin, Stepan E. Sukhinin\*

Novosibirsk State Technical University

\*E-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru

## CALCULATION OF THE COEFFICIENTS OF THE SPEED CONTROLLER OF THE CONVEYOR BELT BASED ON ITS PHYSICAL PARAMETERS



### Article info

Received:  
11 October 2024

Accepted for publication:  
15 November 2024

Accepted:  
22 November 2024

Published:  
11 December 2024

**Keywords:** conveyor belt, asynchronous electric drive, frequency converter, mathematical modeling, belt tension, drive drum, concentrated parameters, SimInTech.

### Abstract.

The paper considers the operation of a conveyor belt with two drive drums. To create a mathematical model of the conveyor, the entire track was divided into eight concentrated masses. The electric drive of the drive drums consists of an asynchronous motor and a frequency converter for each drum. The speed controller is located in the setting channel of the first drive drum. To obtain speed feedback, the speed sensor is mounted on the loaded part of the belt in the center of the concentrated mass, the first after the drive drum. Several ways of calculating the conveyor speed controller are considered. The first option is to calculate the simplified transfer function of the conveyor, for the synthesis of the regulator, the transfer function of the eighth concentrated mass simplified to the second degree in the denominator is used. The second option is to calculate from the obtained analytical dependence of the parameters of the transfer function of the concentrated mass of the conveyor on the belt parameters (stiffness, viscosity, mass), which allows synthesizing a control system without creating a mathematical model. To check the operation of the regulator with coefficients calculated using the second method, the start-up of both a fully and partially loaded conveyor was considered. The quality of the transient process was investigated for both variants of the regulator coefficients. The simulation was performed in the SimInTech mathematical modeling environment. The simulation results show the applicability of both considered methods for the synthesis of a conveyor speed controller.

**For citation:** Kotin D.A., Sukhinin S.E. Calculation of the coefficients of the speed controller of the conveyor belt based on its physical parameters. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 5(175):3-11 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-3-11, EDN: SHATIT

### REFERENCES

1. Persson B.N.J. Conveyor belt drive physics. *Technology Letters*. 2020; 68:1–9.
2. Harahap A.A., Handayani N.P.H. Slip handling on conveyors to extend the life of conveyors at the departures terminal. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*. 2023; 3(2):82–88.
3. Bortnowski P. [et al.] Types and causes of damage to the conveyor belt—Review, classification and mutual relations. *Engineering Failure Analysis*. 2022; 140:106520.
4. Hrabovský L., Nenička P., Fries J. Laboratory Machine Verification of Force Transmission Provided

by Friction Acting on the Drive Drum of a Conveyor Belt. *Machines*. 2023; 11(5):544.

5. Webb C. [et al.] Developing and evaluating predictive conveyor belt wear models. *Data-Centric Engineering*. 2020; 1:e3.

6. Grishin A.V., Silvanovich V. K. Investigation of the relative service life of a dump conveyor belt. *Energy-resource-saving technologies and equipment in the road and construction industries. Materials of the international scientific and practical conference, Belgorod*. October 15–17, 2020. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; 2020.

7. Dmitrieva V.V., Sizin P.E., Sobyanin A.A. Application of the soft starter for the asynchronous motor of the belt conveyor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2021; 942(1):012003.
8. Ji J., Miao C., Li X. Cosine-trapezoidal soft-starting control strategy for a belt conveyor. *Mathematical Problems in Engineering*. 2019; 2019:1–8.
9. Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J. Identification of the operating parameters of the friction drum drive in industrial conditions. *Eksplotacja i Niezawodność*. 2021; 23(1):94–102.
10. Feng Y. [et al.] Dynamic characteristic analysis and startup optimization design of an intermediate drive belt conveyor with non-uniform load. *Science Progress*. 2020; 103(1):0036850419881089.
11. He D., Liu X., Zhong B. Sustainable belt conveyor operation by active speed control. *Measurement*. 2020; 154:107458.
12. Sukhinin S.E. Two-motor electric drive of a conveyor belt. *Science and Youth : Materials of the XIX All-Russian Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists*. Barnaul, April 18-22, 2022. Volume 1. Part 1. Barnaul: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov; 2022.
13. Yao Y., Zhang B. Influence of the elastic modulus of a conveyor belt on the power allocation of multi-drive conveyors. *PLoS One*. 2020; 15(7):e0235768.
14. Dmitrieva V.V., Slezin P.E. Analysis of conveyor belt models with a different number of approximating masses. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2022; 1:34–46.
15. Dmitrieva V.V. Modeling of starting and braking modes of a belt conveyor. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 3:65–72.
16. Kotin D.A., Sukhinin S.E., Sidorov G.S. Minimizing the Traction Factor of a Multi-Motor Belt Conveyor. *2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)*. IEEE, 2023.
17. Kotin D.A., Sukhinin S.E., Ivanov I.A. Synthesis of regulators of the belt conveyor speed control system. *Synthesis*. 2023; 10–1:5–21.
18. Diab A. A. Z. [et al.] Cascade model predictive vector control of induction motor drive. *2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE)*. IEEE, 2014.
19. Kabirov V.A., Semenov V.D. Two-circuit system of subordinate regulation. *Collection of selected articles of the scientific session of TUSUR*. 2019; 1(1–1):173–177.

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

#### About the author:

**Denis A. Kotin**, Head of the Scientific Department, Novosibirsk State Technical University, (630073, Russia, Novosibirsk, K. Marx Ave, 20), Ph.D., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3879-3029>, e-mail: d.kotin@corp.nstu.ru

**Stepan E. Sukhinin**, Engineer of the Scientific Research Laboratory "Electric Drive Research", Novosibirsk State Technical University, (630073, Russia, Novosibirsk, K. Marx Ave, 20), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4149-7757>, e-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru

#### Contribution of the authors:

Denis A. Kotin – formulation of a research task, scientific management, proofreading and correction of the text. Sukhinin E. Stepan – review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, writing a text.

Authors have read and approved the final manuscript.

