

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ КОНВЕЙЕРА

А.А. Реутов

В.И. Аверченков

М.Ю. Рытов

В.П. Федоров

bgtu2012@yandex.ru

aver@tu-bryansk.ru

rmy@tu-bryansk.ru

vfp@tu-bryansk.ru

Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены возможности релейных систем регулирования скорости конвейера. Разработаны вычислительные процедуры имитационного моделирования релейного регулирования скорости конвейера с загрузочным бункером и без него при дискретном представлении поступающего грузопотока. Получены оценки времени дискретизации поступающего грузопотока. Сформированы требования к имитационным моделям регулирования скорости конвейера. Приведены примеры имитационного моделирования с использованием программы MathCAD. В качестве критериев эффективности регулирования приняты среднее значение скорости, емкость бункера и интенсивность переключений скорости. Показано, что средняя скорость наиболее заметно уменьшается при двух- и трехступенчатом регулировании. Дальнейшее увеличение числа ступеней регулирования незначительно уменьшает среднюю скорость, но заметно увеличивает интенсивность переключений скорости. Установка загрузочного бункера позволяет заметно уменьшить номинальную производительность конвейера и среднюю скорость. Результаты работы могут использоваться при проектировании приводов конвейеров с релейной системой регулирования скорости

Ключевые слова

Грузопоток, конвейер, дискретное регулирование скорости, релейная система регулирования, имитационное моделирование

Поступила 13.12.2018

© Автор(ы), 2019

Введение. Грузопотокам горных и других промышленных предприятий присуща неравномерность вследствие технологии добычи полезных ископаемых и переработки насыпных грузов. Работа конвейеров с неполной загрузкой сильно снижает их коэффициент полезного действия и

эффективность в целом. Уменьшение загрузки конвейера ведет к гиперболическому увеличению удельных энергетических затрат. Так, работа конвейера с 25%-ной загрузкой увеличивает удельные энергозатраты на транспортировку на 160 % по сравнению с номинальной загрузкой [1].

В большинстве случаев грузопотоки промышленных предприятий являются нестационарными случайными процессами с плохо идентифицируемыми законами распределения. Аналитические модели релейных систем регулирования сложны и не обеспечивают достаточной точности выбора параметров регулирования из-за погрешностей оценок статистических характеристик входных сигналов [2].

Для горных предприятий с учетом технологии добычи необходимо использовать значения фактического грузопотока за рабочую смену или за сутки. Результаты замеров грузопотока и мощности привода магистрального ленточного конвейера 2ЛУ120 в течение четырех суток на шахте «Должанская-Капитальная» приведены в [3].

Для повышения эффективности работы конвейеров широко используют регулирование их скорости в соответствии с фактическим грузопотоком [4].

Следящие системы регулирования непрерывно изменяют скорость конвейера в соответствии с изменением грузопотока и конвейер постоянно работает в переходном динамическом режиме с повышенным износом и энергозатратами. При этом изменение скорости протяженных и мощных конвейеров может занимать больше времени, чем соответствующее изменение грузопотока [5].

Дискретное регулирование скорости сокращает число и время переходных динамических процессов, повышает эффективность работы конвейера за счет обеспечения полной загрузки, уменьшения потерь энергии и износа узлов [6].

В качестве критериев эффективности релейных систем регулирования используют интенсивность и запаздывание переключений, среднее или средневзвешенное значение выходного сигнала и др.

Для выбора оптимального числа ступеней и соответствующих им значений скорости необходимо рассчитать энергопотребление конвейера или приведенную стоимость транспортировки. Более простым эквивалентом этих критериев является среднее значение скорости конвейера $V_{\text{ср}}$ за установленное время.

Для дискретного регулирования скорости привод конвейера должен иметь релейную систему управления, плавно переключающую скорость при достижении входным сигналом соответствующего значения.

В [7] в качестве входного сигнала рассмотрен грузопоток, поступающий непосредственно на конвейер, в [8] — уровень заполнения загрузочного бункера. Первый случай является аналогом пропорционального регулирования (П-регулятора), второй — аналогом интегрального регулирования (И-регулятора). Дифференциальную составляющую входного сигнала, т. е. скорость изменения грузопотока, в системах автоматического регулирования скорости конвейеров не используют, так как повышение точности и быстроты регулирования не актуально.

Релейные системы регулирования являются разновидностью дискретных систем. Система регулирования скорости конвейера, в которой дискретно изменяется только выходной сигнал, относится к замкнутым релейным системам регулирования, поскольку сопоставляются значения грузопотока и скорости. Система устойчива, так как скорость изменяется в пределах от нуля до номинальной. Система может быть неробастной, если на малые изменения грузопотока реагирует конечными изменениями скорости.

В [7] показано, что при неравном числе контрольных значений увеличения и снижения скорости происходит необоснованное занижение или завышение выходного сигнала. Например, интервал изменения грузопотока включает три контрольных значения, на превышение которых система увеличивает скорость конвейера, а также два контрольных значения, когда система уменьшает скорость конвейера.

Система может быть практически неработоспособной (нереализуемой), если время реакции (время изменения скорости) превышает время соответствующего изменения грузопотока.

Известны различные алгоритмы регулирования скорости конвейера. Так, в [7] показано, что скорость конвейера изменяется ступенчато, чтобы приемная способность конвейера была больше или равна поступающему грузопотоку.

Стратегия управления ленточным конвейером с использованием теории нейронных сетей для оптимизации параметров ПИД-регулятора скорости, позволяющая устранить неравномерности движения ленты, предложена в [9].

В [10] приведен метод нечеткого управления ленточными конвейерами для повышения их энергоэффективности. Отмечено, что дискретное управление предпочтительно при регулировании скорости ленты, а нечеткая логика применяется для изменения скорости загрузки. В [11] приведены результаты экспериментальных исследований ленточного конвейера с электроприводом постоянного тока и двумя разными регуляторами ско-

рости. Эксперимент показал, что нечеткий ПИД-регулятор быстрее реагирует на изменения нагрузки, чем обычный ПИД-регулятор.

В [12] разработана система управления транспортной системой угольной шахты, включающей в себя угольный комбайн, участковый конвейер и магистральный конвейер с загрузочным бункером без оптимизации параметров транспортной системы.

В [13] предложен способ ступенчатого регулирования скорости ленты конвейера без бункера, в котором число ступеней регулирования скорости принимает разные значения при увеличении и уменьшении грузопотока. Скорость ленты увеличивают на величину q_1 / γ в течение времени Δt_1 , если поступающий грузопоток Q_c превышает текущую приемную способность конвейера q_{out} , или скорость ленты уменьшают на величину q_2 / γ в течение времени Δt_2 , если поступающий грузопоток Q_c меньше текущей приемной способности конвейера q_{out} на q_2 ; или скорость ленты оставляют без изменения, если величина поступающего грузопотока Q_c находится в диапазоне значений от $q_{out} - q_2$ до q_{out} ; или прекращают загрузку конвейера без изменения скорости ленты, если поступающий грузопоток Q_c превышает максимальную приемную способность конвейера Q_{max} . Здесь q_1 , q_2 — отношение номинальной производительности конвейера Q_n к выбранному числу ступеней регулирования при увеличении и уменьшении скорости ленты; γ — номинальная погонная нагрузка. Интервалы времени Δt_1 и Δt_2 , необходимые для плавного изменения скорости. Если a_1 и a_2 — допустимые ускорение и замедление ленты, то $\Delta t_1 \geq q_1 / \gamma a_1$, $\Delta t_2 \geq q_2 / \gamma a_2$.

В [14] предложен способ регулирования скорости конвейера с загрузочным бункером, согласно которому бункер загружают независимо от работы конвейера, если уровень заполнения бункера ψ не превышает предельного значения Ψ_N . Конвейер включают, если уровень заполнения ψ бункера больше начального значения Ψ_0 . Автоматизированный питатель непрерывно подает груз из бункера на конвейер в соответствии с текущей приемной способностью конвейера. Затем скорость конвейера V изменяют до значения V_i , если значение уровня заполнения ψ соответствует условиям:

$$\Psi_{i-1} < \psi \leq \Psi_i, V \neq V_i, i = 1, \dots, N,$$

где Ψ_i — значение i -го уровня заполнения бункера; V_i — значение i -й ступени скорости ленты; N — число ступеней регулирования скорости кон-

вейера. Если $\psi > \Psi_N$, то полагают $V = V_n$ (V_n — номинальная скорость конвейера).

Конвейер останавливают, если уровень заполнения ψ бункера меньше начального значения Ψ_0 , или скорость V не принимает значения V_i в течение времени регулирования, или система управления подала команду остановки конвейера.

Альтернативой аналитическим моделям релейных систем регулирования являются имитационные модели, разработанные с использованием различных средств программирования, в том числе MathCAD, MATLAB, Simulink и др. [7, 8].

Методика имитационного моделирования релейной системы регулирования скорости конвейера. Целью имитационного моделирования процесса регулирования скорости конвейера является проверка работоспособности алгоритма, определение оптимальных параметров регулирования, соответствующих характеристикам поступающего грузопотока Q_c , например определение оптимального числа ступеней регулирования и соответствующих им значений грузопотока.

Исходными данными для имитационного моделирования являются эмпирические данные замеров грузопотока Q_c за рабочую смену или за сутки. Программная обработка таких больших массивов данных возможна с использованием универсальных математических программ MathCAD, MATLAB или специальных программ, написанных для данной задачи на одном из алгоритмических языков. Так, пакет Nonlinear Control Design, являющийся расширением Simulink Blockset, позволяет моделировать нелинейные системы управления и определять их оптимальные параметры с учетом заданных ограничений [15].

Независимо от используемых средств программирования имитационная модель должна осуществлять:

- фиксацию моментов времени или фактов равенства величин входных сигналов установленным дискретным значениям;
- вычисление производных, интегралов и других функций входных сигналов, используемых в алгоритме регулирования;
- дискретное изменение выходного сигнала с учетом инерционности и других свойств системы регулирования;
- вычисление критериев эффективности регулирования.

Важным аспектом формирования дискретных сигналов является выбор интервала дискретизации t_Q или частоты дискретизации $\Omega_d = 2\pi/t_Q$. Слишком большое значение t_Q может привести к неудовлетворительной дина-

мике системы автоматического управления вплоть до неустойчивости; слишком малое значение t_Q — к неоправданным затратам на быстродействующие аппаратные средства при незначительном выигрыше в качестве управления.

Многие исследователи, например [16], рассматривали эмпирические значения минутного грузопотока Q_M , т. е. массы груза, поступающего на конвейер за одну минуту. Так, в [17] показано, что возможно изменение Q_M от 2 до 5 т/мин в течение 9 мин.

Характеристики минутных грузопотоков пригодны для расчетов конвейеров с большим загрузочным бункером, оборудованным питателем. Для оценки загруженности конвейера без бункера и отсутствия просьпей необходимо использовать более короткий промежуток времени.

Теоретическим основанием для выбора t_Q является теорема Котельникова (теорема Найквиста): аналоговый сигнал с финитным спектром, ограниченным частотой Ω_{cp} , может быть без потерь информации представлен отсчетами, взятыми с частотой дискретизации Ω_d , если выполняются условия [18]

$$\Omega_d \geq 2\Omega_{cp}$$

или

$$t_Q \leq \pi / \Omega_{cp}.$$

Теорема Котельникова сформулирована для сигнала бесконечной протяженности. Тем не менее она широко применяется на практике к сигналам, спектральная плотность которых убывает, начиная с некоторой частоты. В этом случае роль частоты среза Ω_{cp} спектра играет некоторая частота, условно принимаемая за верхнюю граничную частоту спектра. В практических задачах частоту дискретизации, как правило, выбирают с запасом, т. е. в несколько раз больше Ω_{cp} .

Рассмотрим пример реализации грузопотока, содержащий 130 значений Q_c с математическим ожиданием 73 кг/с и средним квадратичным отклонением 41,5 кг/с. Максимальные значения Q_c достигают 130,5 кг/с, что соответствует теоретической производительности 470 т/ч. Для данного примера грузопотока его спектральная плотность вычисляется с использованием MathCAD (рис. 1).

Если частоту среза Ω_{cp} спектра (см. рис. 1) принять равной 0,2, что соответствует уменьшению амплитуды спектра в 32 раза ($7,09 / 0,222$), то $\Omega_d \geq 0,4$. Тогда $t_Q \leq 15,7$ с.

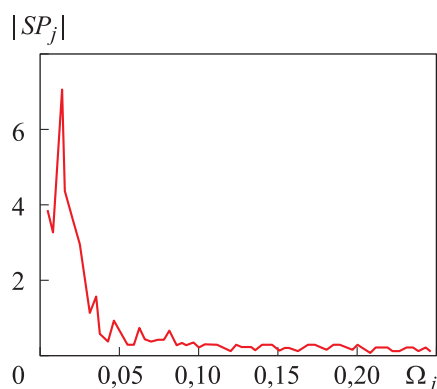


Рис. 1. График спектральной плотности примера грузопотока с 130 значениями Q_c и $t_Q = 2$ с ($|SP_j|$ — величина спектральной плотности, соответствующая частоте Ω_j)

При моделировании систем регулирования скорости конвейера некоторые потери информации о поступающем грузопотоке допустимы. Главным условием является соответствие времени дискретизации поступающего на конвейер грузопотока t_Q приемной способности конвейера.

При поступлении грузопотока в загрузочный бункер максимально возможная масса груза M_t , поступающая за время t_Q , не должна превышать части α вместимости бункера E_6 :

$$M_t < \alpha E_6 \rightarrow t_Q < \alpha E_6 / Q_n,$$

где $\alpha = 0,25 \dots 0,35$. Так, при $Q_n = 130,5$ кг/с и $E_6 = 2000$ кг имеет место следующая оценка: $t_Q < 3,8 \dots 5,4$ с.

При безбункерной загрузке конвейера масса M_t не должна превышать массы груза, размещаемого на длине загрузки конвейера l_{in} :

$$M_t < \gamma l_{in} \rightarrow t_Q < l_{in} / V_n.$$

Так, для конвейера 1Л100 ($l_{in} = 2$ м, $V_n = 1,6$ м/с) справедлива оценка $t_Q < 1,25$ с.

В большинстве случаев для анализа безбункерной загрузки конвейеров необходимо время $t_Q = 1 \dots 2$ с. При анализе загрузки конвейера с бункером необходимое время t_Q возрастает с увеличением емкости бункера.

Вычислительный эксперимент. Рассмотрим пример имитационного моделирования процесса регулирования скорости конвейера без загрузочного бункера с использованием программы MathCAD.

Вычислим критерии эффективности регулирования V_{cp} и N_n (N_n — число переключений скорости за время моделирования) для ряда значений V_i ($i = 0, \dots, N$) и $N = 2 \dots 4$ с использованием уже рассмотренной реализации грузопотока с 130 значениями Q_c .

Имитационное моделирование представляет собой пошаговую процедуру, число шагов которой равно числу значений Q_c . На каждом шаге моделирования проводится сравнение текущего значения Q_c со значениями грузопотока Q_i , соответствующими ступеням регулирования, и определяется величина текущей скорости V согласно алгоритму регулирования. Затем вычисляются значения $V_{ср}$ и N_n .

В таблице приведены оптимальные значения отношений V_i / V_n ($i = 0, \dots, N$) и соответствующие им значения $V_{ср}$, N_n , рассчитанные по результатам моделирования для двух-, трех- и четырехступенчатых режимов регулирования при $V_n = 2,5$ м/с.

Результаты моделирования

Режим регулирования	V_i / V_n	$V_{ср}$, м/с	N_n
Двухступенчатый	0,125; 0,6; 1	1,88	11
Трехступенчатый	0,125; 0,24; 0,6; 1	1,71	16
Четырехступенчатый	0,125, 0,24; 0,6; 0,75, 1	1,64	24

На рис. 2 приведены графики рассмотренного примера изменения поступающего грузопотока Q_c и скорости конвейера во времени. Величины V_3 , V_4 — скорости конвейера при трех- и четырехступенчатом регулировании соответственно; $t_Q = 2$ с.

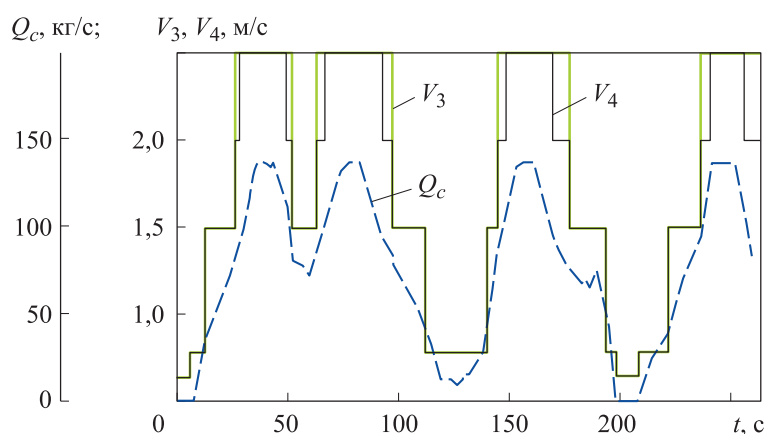


Рис. 2. Графики изменения грузопотока Q_c и скорости конвейера во времени t при трех- и четырехступенчатом регулировании

Для использованных в примере исходных данных наиболее заметно $V_{ср}$ снижается при двух- и трехступенчатом регулировании. Четырехсту-

пенчатый режим уменьшает $V_{\text{ср}}$ лишь на 4,3 % по сравнению с трехступенчатым при увеличении N_n на 50 %.

Проведем имитационное моделирование процесса регулирования скорости конвейера с загрузочным бункером для той же реализации грузопотока с 130 значениями Q_c . Рассмотрим три конвейера с $Q_n = \{470, 420, 330\}$ [т/ч] и $V_n = \{1,6; 2,0; 1,6\}$ [м/с] соответственно. В процессе моделирования варьировались параметры N, Q_n, V_n, V_i, Ψ_i ($i = 0, \dots, N$).

На каждом шаге моделирования вычисляем текущие значения уровня заполнения бункера ψ и скорости конвейера V :

$$\psi_k = \psi_{k-1} + Q_k - \gamma V_{k-1} t_Q,$$

где ψ_k и ψ_{k-1} — текущий уровень заполнения бункера на k -м и $(k-1)$ -м шагах; Q_k — масса груза, поступившего в бункер за время t_Q на k -м шаге; V_{k-1} — скорость конвейера на $(k-1)$ -м шаге.

Большинство результатов моделирования оказалось Парето-доминирующими по критериям $E_6, V_{\text{ср}}, N_n$, так что выбор оптимальных значений параметров требует дополнительного рассмотрения. Наибольшую экономическую эффективность (с учетом амортизационных отчислений от капитальных затрат на приобретение и монтаж конвейера и загрузочного бункера, а также с учетом годовых затрат на электроэнергию) обеспечит конвейер с параметрами $Q_n = 330$ т/ч, $V_n = 1,6$ м/с, $N = 3, E_6 = 2,17$ т.

На рис. 3 приведены графики поступающего в бункер грузопотока Q_c , текущего уровня заполнения бункера ψ и скорости конвейера V при трехступенчатом регулировании скорости и $t_Q = 2$ с, $V_n = 1,6$ м/с, $Q_n = 330$ т/ч.

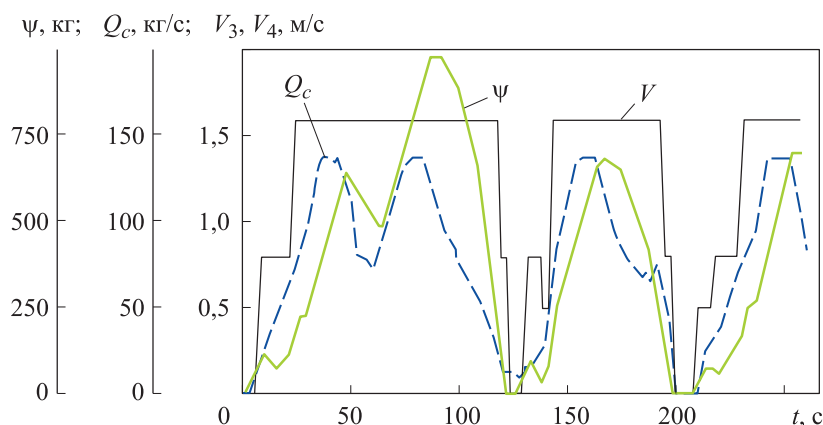


Рис. 3. Графики изменения поступающего грузопотока Q_c , текущего уровня заполнения бункера ψ и скорости V конвейера во времени t

Результаты моделирования показали, что установка загрузочного бункера позволяет заметно уменьшить номинальную производительность конвейера и его среднюю скорость. С увеличением емкости бункера средняя скорость конвейера уменьшается до своего нижнего предела, однако при этом возрастает N_n .

Для определения допустимой интенсивности переключений скорости конвейера необходимо исследовать ускорение и замедление конвейера. Число переключений скорости N_n за время моделирования следует рассматривать как ограничение. С учетом времени разгона и торможения конвейера, необходимого для изменения его скорости, экспертная оценка ограничения имеет вид: $N_n < 3 \text{ мин}^{-1}$ при $N = 1$; $N_n < 4 \text{ мин}^{-1}$ при $N = 2$; $N_n < 6 \text{ мин}^{-1}$ при $N = 3$ [8].

Заключение. Эффективным способом уменьшения эксплуатационных расходов конвейерного транспорта является релейное регулирование скорости конвейера в соответствии с фактическим грузопотоком.

Для проверки работоспособности алгоритмов регулирования и определения оптимальных параметров системы регулирования предложено имитационное моделирование процесса регулирования скорости конвейера. При моделировании используют данные реального грузопотока за рабочую смену или за сутки.

С учетом больших объемов эмпирических данных замеров грузопотоков имитационное моделирование регулирования скорости конвейера с использованием программ MathCAD, Simulink позволяет определить параметры и характеристики системы регулирования с приемлемой точностью и трудозатратами.

Получены оценки времени дискретизации грузопотока с учетом производительности конвейера и емкости загрузочного бункера. Показано, что для анализа безбункерной загрузки конвейеров необходимое время дискретизации грузопотока составляет 1...2 с. При анализе загрузки конвейера с бункером необходимое время дискретизации увеличивается с увеличением емкости бункера.

Рассмотренные примеры моделирования показали, что среднее значение скорости конвейера наиболее заметно уменьшается при двух- и трехступенчатом регулировании. Дальнейшее увеличение числа ступеней регулирования незначительно уменьшает среднюю скорость по сравнению с трехступенчатым, но заметно увеличивает интенсивность переключений скорости.

Установка загрузочного бункера позволяет заметно уменьшить номинальную производительность конвейера и его среднюю скорость. С увели-

чением емкости загрузочного бункера средняя скорость конвейера уменьшается, но увеличивается интенсивность переключений скорости.

Получены экспертные оценки допустимой интенсивности переключений скорости с учетом времени разгона и торможения конвейера.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Semenchenko A., Stadnik P., Belitsky D., et al. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 42–51. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75936
- [2] Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. М., Машиностроение, 1983.
- [3] Кондрахин В.П., Стадник Н.И., Белицкий П.В. Статистический анализ эксплуатационных параметров шахтного ленточного конвейера. *Наукові праці ДонТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна*, 2013, № 2, с. 140–150.
- [4] Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Лобачева А.К. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточных конвейеров. М., Моск. горный ин-т, 1972.
- [5] Gruyitch L.T. Tracking control of linear systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.
- [6] Реутов А.А. Обеспечение загрузки конвейеров с регулируемой скоростью ленты. *Вестник Брянского государственного технического университета*, 2005, № 3, с. 4–6.
- [7] Реутов А.А. Имитационное моделирование ступенчатого регулирования скорости конвейера. *Проблемы недропользования*, 2017, № 2, с. 26–32.
- [8] Реутов А.А. Оптимизация конвейера с загрузочным бункером при ступенчатом регулировании скорости. *Известия вузов. Горный журнал*, 2018, № 6, с. 109–117. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-109-117
- [9] Ma X.M., Gao X.X. Coal belt conveyor PID controller parameter regulation with neural network. *Appl. Mech. Mat.*, 2013, vol. 319, pp. 583–589. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.319.583
- [10] Pang Y., Lodewijks G., Schott D.L. Fuzzy controlled energy saving solution for large-scale belt conveying systems. *Appl. Mech. Mat.*, 2013, vol. 261-262, pp. 59–64. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.59
- [11] Chen X.-H., Rahman M.L., Zhang Y. Adaptive Fuzzy PID speed control of DC belt conveyor system. *IEEE/ACIS 17th Int. Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, 2016, pp. 487–490.
- [12] Ставицкий В.Н., Оголобченко А.С. Математическое моделирование транспортной системы добычного участка. *Наукові праці ДонТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація*, 2013, № 1, с. 53–63.

- [13] Реутов А.А. Способ регулирования скорости ленты конвейера. Патент 2600404 РФ. Заявл. 14.10.2015, опубл. 20.10.2016.
- [14] Реутов А.А. Способ регулирования скорости конвейера с загрузочным бункером. Патент 2628830 РФ. Заявл. 07.11.2016, опубл. 22.08.2017.
- [15] Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М., СОЛОН-Пресс, 2005.
- [16] Мерцалов Р.В. Обобщение статистики о неравномерности забойных грузопотоков на угольных шахтах. *Шахтный и карьерный транспорт*. Вып. 9. М., Недра, 1984, с. 5–13.
- [17] Гудалов В.П. Выбор ленточных конвейеров для транспортирования угля из очистных забоев. *Шахтный и карьерный транспорт*. Вып. 2. М., Недра, 1975, с. 80–86.
- [18] Иванов Б.А., Недвига А.В. Элементы теории дискретных систем автоматического управления. Ухта, УГТУ, 2007.

Реутов Александр Алексеевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» Брянского государственного технического университета (Российская Федерация, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7).

Аверченков Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета (Российская Федерация, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7).

Рытов Михаил Юрьевич — канд. техн. наук, зав. кафедрой «Системы информационной безопасности» Брянского государственного технического университета (Российская Федерация, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7).

Федоров Владимир Павлович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета (Российская Федерация, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Реутов А.А., Аверченков В.И., Рытов М.Ю. и др. Имитационное моделирование релейных систем регулирования скорости конвейера. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2019, № 2, с. 76–90.

DOI: 10.18698/0236-3933-2019-2-76-90

SIMULATION OF CONVEYOR SPEED RELAY CONTROL SYSTEMS

A.A. Reutov

bgtu2012@yandex.ru

V.I. Averchenkov

aver@tu-bryansk.ru

M.Yu. Rytov

rmy@tu-bryansk.ru

V.P. Fedorov

vfp@tu-bryansk.ru

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

Abstract

The paper considers possibilities of relay systems for the conveyor speed control. Computational procedures have been developed for simulating the relay speed control of a conveyor with and without a loading hopper with discrete representation of the incoming freight flow. Estimates of the sampling time of the incoming freight flow are obtained. The requirements for conveyor speed regulator simulator are developed. Examples of simulation using MathCAD are given. The average value of the speed, the hopper capacity and the rate of speed switching are taken as the criteria for the efficiency of regulation. It is shown that the average speed decreases most distinctly with two- and three-stage regulation. A further increase in the number of regulation stages slightly reduces the average speed, but significantly increases the rate of speed switching. Installing the loading hopper allows significant reducing the nominal conveyor capacity and the average speed. The results of the work can be used in the design of conveyor drives with a relay speed control systems

Keywords

Freight flow, conveyor, discrete speed regulation, relay control system, simulation

Received 13.12.2018

© Author(s), 2019

REFERENCES

- [1] Semenchenko A., Stadnik P., Belitsky D., et al. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 42–51. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75936
- [2] Shakhmeyster L.G., Dmitriev V.G. Veroyatnostnye metody rascheta transportiruyushchikh mashin [Probabilistic calculation methods for transport vehicle]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983.
- [3] Kondrakhin V.P., Stadnik N.I., Belitskiy P.V. Statistical analysis of mine belt conveyor operating parameters. *Naukovi pratsi DonTU. Seriya: Girnichо-elektromekhanichna*, 2013, no. 2, pp. 140–150 (in Russ.).

- [4] Shakhmeyster L.G., Dmitriev V.G., Lobacheva A.K. Dinamika gruzopotokov i regulirovanie skorosti lentochnykh konveyerov [Traffic flow dynamics and speed regulation of belt loaders]. Moscow, Mosk. gornyy in-t Publ., 1972.
- [5] Gruyitch L.T. Tracking control of linear systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.
- [6] Reutov A.A. Providing load of conveyer with adjustable belt speed. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [The Bryansk State University Herald], 2005, no. 3, pp. 4–6 (in Russ.).
- [7] Reutov A.A. Simulation of the conveyer speed step control. *Problemy nedropol'zovaniya*, 2017, no. 2, pp. 26–32 (in Russ.).
- [8] Reutov A.A. Optimization of a conveyor with a loading bunker under discontinuous speed variation. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], 2018, no. 6, pp. 109–117 (in Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-109-117
- [9] Ma X.M., Gao X.X. Coal belt conveyor PID controller parameter regulation with neural network. *Appl. Mech. Mat.*, 2013, vol. 319, pp. 583–589. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.319.583
- [10] Pang Y., Lodewijks G., Schott D.L. Fuzzy controlled energy saving solution for large-scale belt conveying systems. *Appl. Mech. Mat.*, 2013, vol. 261–262, pp. 59–64. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.59
- [11] Chen X.-H., Rahman M.L., Zhang Y. Adaptive Fuzzy PID speed control of DC belt conveyor system. *IEEE/ACIS 17th Int. Conf. Software Eng., Artificial Intel., Network. Parallel/Distr. Comp.*, 2016, pp. 487–490.
- [12] Stavitskiy V.N., Oglobchenko A.S. Mathematical modeling of a mining area's transport system. *Naukovi pratsi DonTU. Seriya: Obchislyval'na tekhnika ta avtomatizatsiya*, 2013, no. 1, pp. 53–63 (in Russ.).
- [13] Reutov A.A. Sposob regulirovaniya skorosti lenty konveyera [Regulation method of conveyer belt speed]. Patent 2600404 RF. Appl. 14.10.2015, publ. 20.10.2016 (in Russ.).
- [14] Reutov A.A. Sposob regulirovaniya skorosti konveyera s zagruzochnym bunkerom [Regulation method of belt speed for conveyer with feeding box]. Patent 2628830 RF. Appl. 07.11.2016, publ. 22.08.2017 (in Russ.).
- [15] D'yakonov V.P. MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6 v matematike i modelirovanii [MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 in Math and simulation]. Moscow, SOLON-Press, 2005.
- [16] Mertsalov R.V. Obobshchenie statistiki o neravnomernosti zaboynykh gruzopotokov na ugol'nykh shakhtakh. Shakhtnyy i kar'yernyy transport. Vyp. 9 [Statistics generalization on traffic flow non-uniformity in coal mines. In: Mine and open-cut transport. Vol. 9]. Moscow, Nedra Publ., 1984, pp. 5–13.
- [17] Gudalov V.P. Vybor lentochnykh konveyerov dlya transportirovaniya uglya iz ochistnykh zaboiev. Shakhtnyy i kar'yernyy transport. Vyp. 2 [Choosing belt loader for coal transportation from working face. In: Mine and open-cut transport. Vol. 2]. Moscow, Nedra Publ., 1975, pp. 80–86.

[18] Ivanov B.A., Nedviga A.V. *Elementy teorii diskretnykh sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Theory elements of discrete automatic control systems]. Ukhta, UGTU Publ., 2007.

Reutov A.A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Mechanical-Handling Machines and Equipment, Bryansk State Technical University (50 let Oktyabrya bulvar 7, Bryansk, 241035 Russian Federation).

Averchenkov V.I. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Computer Technologies and Systems, Bryansk State Technical University (50 let Oktyabrya bulvar 7, Bryansk, 241035 Russian Federation).

Rytov M.Yu. — Cand. Sc. (Eng.), Head of the Department of Information Security Systems, Bryansk State Technical University (50 let Oktyabrya bulvar 7, Bryansk, 241035 Russian Federation).

Fedorov V.P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Bryansk State Technical University (50 let Oktyabrya bulvar 7, Bryansk, 241035 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Reutov A.A., Averchenkov V.I., Rytov M.Yu., et al. Simulation of conveyor speed relay control systems. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2019, no. 2, pp. 76–90 (in Russ.).

DOI: 10.18698/0236-3933-2019-2-76-90