

УДК 656.212.5:681.3

ЖУКОВИЦКИЙ И. В., д.т.н., профессор (ДНУЖТ))

Цифровая система управления торможением отцепа замедлителями тормозной позиции с дискретным измерителем скорости

Вступление и постановка задачи

В серии статей [1,2,3,4] рассматривался принцип построения цифровой системы управления замедлителями тормозной позиции с непрерывным (доплеровским) измерителем скорости отцепа. Такие системы используются на ряде сортировочных станций магистрального железнодорожного транспорта.

Во многих случаях процесс сортировки железнодорожных вагонов промышленного транспорта ничем не отличается от процесса сортировки вагонов на магистральном железнодорожном транспорте. Однако на ряде предприятий горно-металлургической промышленности, в портах, на грузовых станциях, где выгрузка грузовых вагонов производится на вагонопрокидывателях, сортировочный процесс при уборке порожних вагонов от вагонопрокидывателей отличается от сортировочного процесса на магистральном железнодорожном транспорте. Детальное исследование особенностей сортировочной работы на промышленном железнодорожном транспорте при уборке порожних вагонов от вагонопрокидывателей на металлургических заводах позволяет отметить следующие особенности сортировочной работы на промышленном транспорте:

- повышенная засоренность путей скатывания и накопления; причем, засоряющий материал (руда, агломерат и т.п.) содержит до 75% железа;
- сравнительно небольшая (300...400 м) длина путей накопления;
- тормозные шины замедлителей и головки рельсов, как правило, густо залиты смазкой, вытекающей из букс вагонов после их разгрузки на вагонопрокидывателе;
- сортировке подлежат только одиночные порожние 4-х или 6-тиосные вагоны, как на подшипниках скольжения, так и на подшипни-

ках качения;

- вследствие больших интервалов времени между скатывающимися вагонами отпадает необходимость в интервальном регулировании.

Учитывая сравнительно небольшое количество вагонов, разгружаемое в сутки на вагонопрокидывателе (несколько сот), а значит экономическую нецелесообразность применения дорогостоящих систем, то, что торможению подвергаются только одиночные порожние вагоны, что облегчает задачу управления замедлителями тормозной позиции. Так как пути накопления относительно короткие, в качестве принципа для построения системы автоматического управления скоростью скатывания вагонов от вагонопрокидывателя можно рекомендовать принцип прицельного торможения.

С другой стороны, указанные особенности не позволяют оборудовать устройства уборки порожних вагонов от вагонопрокидывателей системами АРС, применяемыми на магистральных сортировочных горках.

Очевидно, что для устройств уборки порожних вагонов от вагонопрокидывателей требуется создание специальных систем АРС.

Основные принципы построения системы

Опыт разработки подобных систем показал, что здесь возможно применение дискретных измерителей скорости типа точечных датчиков скорости ДС-2, разработанных на кафедре ЭВМ ДИИТа.

Точечный датчик скорости представляет собой две катушки индуктивности, расположенные в одном корпусе на расстоянии (по магнитным центрам) S_B равном 200мм. Корпус датчика закрепляется на рельсе и при прохождении реборды колеса возникает временной интервал t_V между э.д.с. e_1 и e_2 , наводимыми в катушках индуктивности (рис. 1).

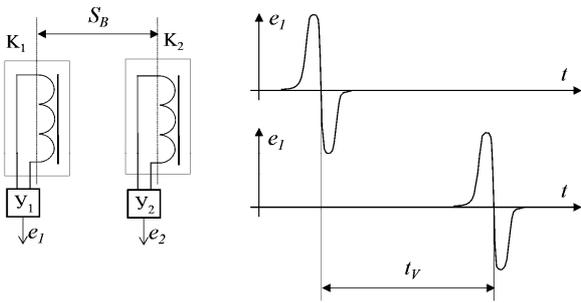


Рисунок 1 – Принцип измерения скорости точечным датчиком.

Здесь K_1, K_2 – катушки индуктивности; Y_1, Y_2 – усилители.

При этом скорость вагона рассчитывается по элементарной формуле:

$$V = \frac{SB}{t_v} \quad (1)$$

Техническая структура системы управления с точечными датчиками скорости (система АУСВ – автоматического управления скатывания вагонов [5]) представлена на рис. 2. В отличие от структуры системы с непрерывным измерителем скорости в данной системе весь путь торможения вагона в замедлителе разбит на ряд участков торможения (в общем случае разной длины), на границах которых установлены точечные датчики скорости $ДС_1 \dots ДС_k$.

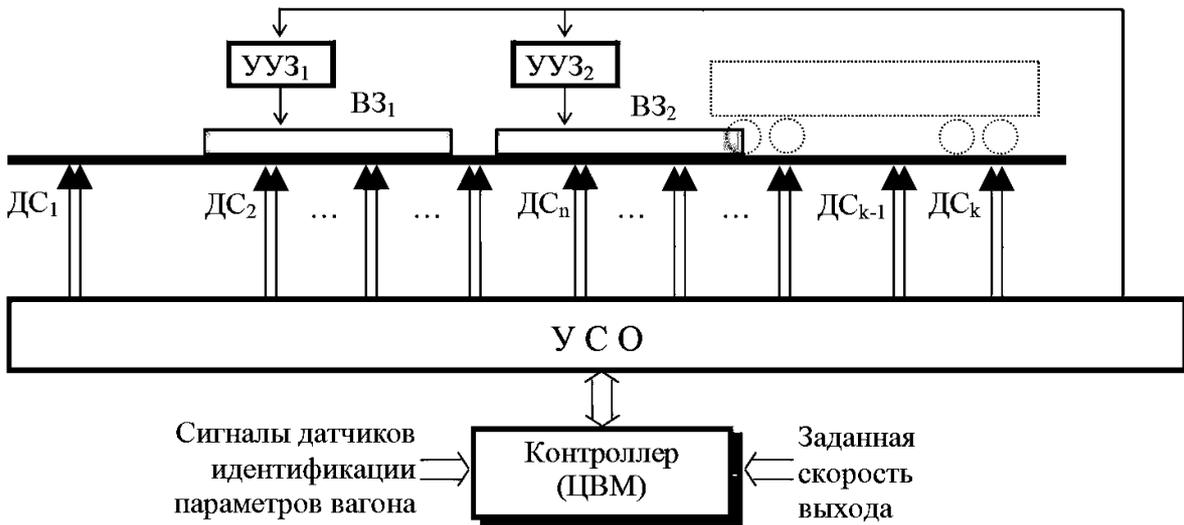


Рисунок 2 – Техническая структура системы управления с точечными датчиками скорости УСО – устройства сопряжения с объектом; $ВЗ_1, ВЗ_2$ – вагозамедлители тормозной позиции; $УУЗ_1, УУЗ_2$ – устройства управления замедлителями

Съем информации и выработка управляющего воздействия производится в моменты наезда первой оси вагона на каждый из этих датчиков. Первый из датчиков – $ДС_1$ – установлен на некотором расстоянии от входа вагона на ТП с той целью, чтобы успел завершиться переходной процесс по реализации выбранного управляющего воздействия до момента вступления вагона на первый замедлитель ТП. Последний датчик – $ДС_k$ – установлен так, чтобы вагон наехал на него после выхода с ТП. Скорость, измеренная этим датчиком, определяет то, как система реализовала задание и может служить для фиксации результатов работы, использоваться для статистической обработки и для алгоритмов адаптивного управления.

Расстояние между датчиками (длины участков

торможения) выбираются таким образом, чтобы за время движения вагона по участку успел завершиться переходной процесс, вызванный управляющим воздействием, выбранным в начале участка.

В более поздней версии системы [6,7] измерение скорости производится не только при наезде на датчик первой оси вагона, но также и при наезде на датчик каждой последующей оси. Однако выработка управляющего воздействия и в этом случае производится лишь в том случае, если завершен переходной процесс.

Общий вид функциональной схемы системы управления замедлителями ТП с дискретным измерителем скорости отличается от аналогичной системы с непрерывным измерителем скорости [1] лишь блоком измерения БИ (рис. 3).

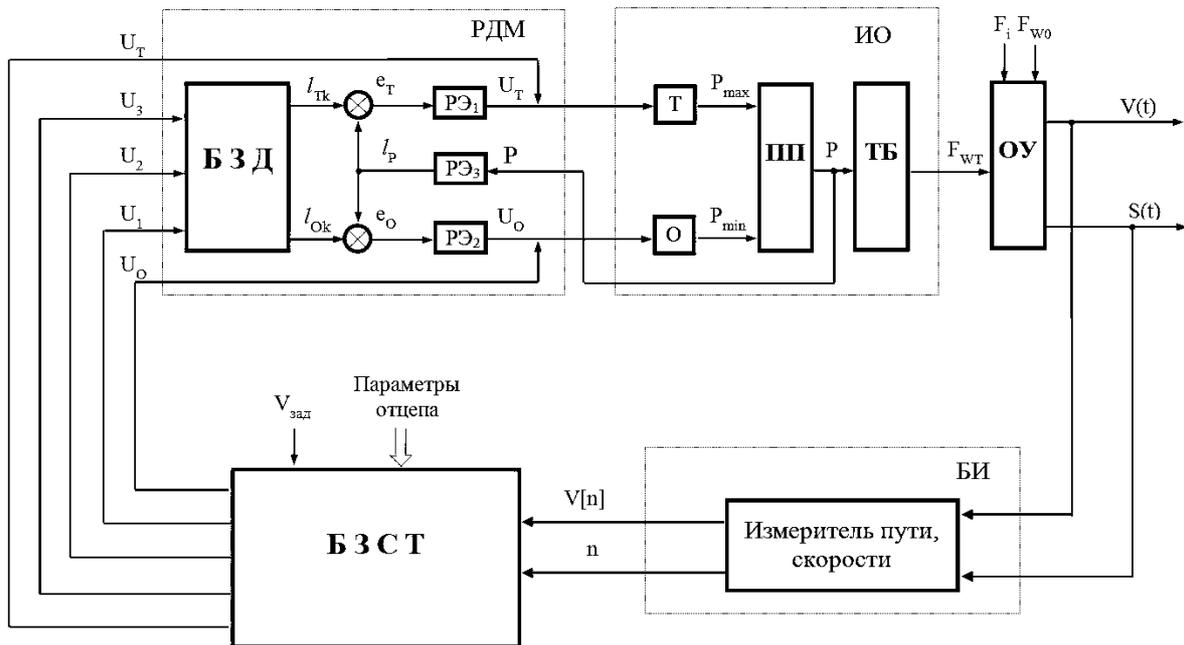


Рисунок 3 – Функциональная схема системы управления замедлителями ТП с дискретным измерителем скорости

Скорость входа вагона на n -й участок торможения $V^*[n]$ и номер n этого участка измеряются блоком измерения (БИ), реализованным в виде набора точечных датчиков скорости, установленных на определенном расстоянии друг от друга вдоль пути следования вагона в зоне торможения. В отличие от традиционных импульсных систем, где происходит квантование координаты времени, данную систему удобно представить как импульсную систему с квантованием по пути. Аналогом периода квантования T здесь является длина участка торможения L_n , которая, в общем случае, может быть непостоянной величиной, зависящей от номера участка. Так как сигнал от точечного датчика скорости идентифицирует не только координату скорости вагона, но и координату пути (номер датчика однозначно связан с его координатой пути), то в данной системе БИ включает лишь один общий блок "Измеритель пути, скорости", на выходе которого формируется значение скорости $V^*[n]$, квантованное по пути (номеру участка), и сам номер участка.

Кроме того, в отличие от ЦУС с непрерывным измерителем скорости в ЦУС с дискретным измерителем скорости объектом управления является

порожний вагон, а не отцеп. Обычно на вагоноопрокидывателе разгружаются лишь однотипные вагоны, поэтому масса и конструктивные параметры объекта управления (порожнего вагона) заранее однозначно определены, а такой параметр отцепа как ходовое сопротивление определяется отдельной подсистемой.

Математическая модель процесса торможения отцепа в замедлителях тормозной позиции подробно описана в [1]. Эта модель полностью подходит под описание процесса торможения одиночных порожних вагонов в замедлителях нажимного типа.

Структурная схема системы

Структурная схема системы управления замедлителями ТП с дискретным измерителем скорости представлена на рис. 4.

Объект управления (вагон) здесь представлен двумя интегрирующими звеньями, преобразующими суммарное воздействие сил в скорость $V=\varphi(t)$ и путь $S=F(t)$.

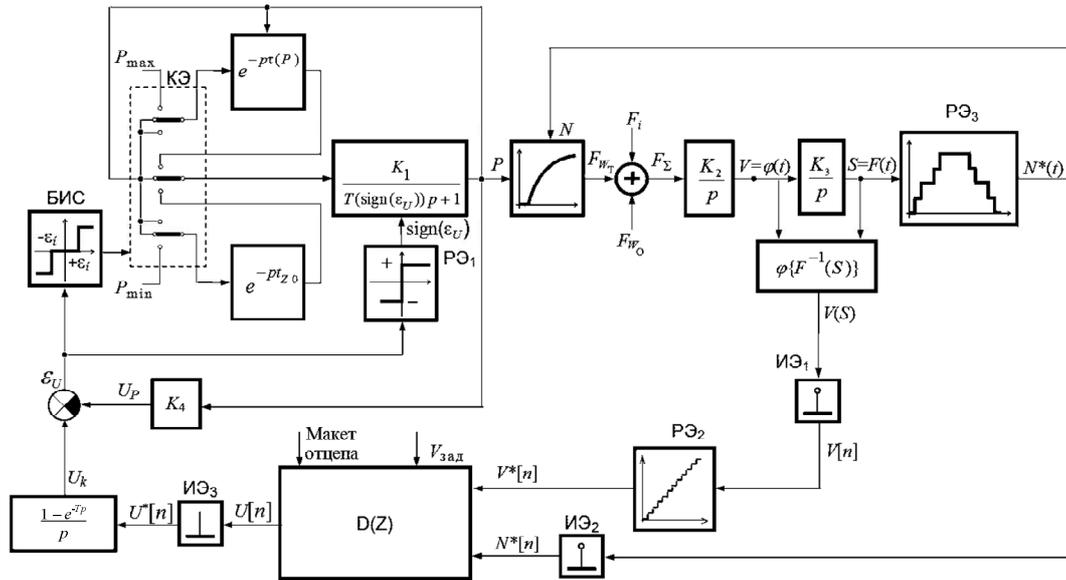


Рисунок 4 – Структурная схема системы управления замедлителями ТП с дискретным измерителем скорости

Набор датчиков скорости (дискретный измеритель) можно представить в виде алгоритмического функционального преобразователя, который по ступающие функции $V=\varphi(t)$ и $S=F(t)$ преобразует в функцию $V(S) = \varphi\{F^{-1}(S)\}$, им-пульсного элемента ИЭ₁, осуществляющего квантование функции $V(S)$ по пути, и релейного элемента РЭ₂, преобразующего мгновенное значение скорости $V[n]$ (n – номер участка торможения, который является аналогом периода квантования) в цифровой эквивалент $V^*[n]$, который и поступает на вход цифрового контроллера (ЦВМ), представленного передаточной функцией $D(Z)$. Релейный элемент РЭ₂ преобразует $V[n]$ в цифровой эквивалент $V^*[n]$, а релейный элемент РЭ₃ выполняет квантование величины $S=F(t)$.

На выходе ЦВМ с задержкой, вызванной временем обработки входных сигналов, формируется цифровой решетчатый сигнал управления $U[n]$, который поступает на вход идеального импульсного элемента ИЭ₃. Этот элемент генерирует последовательность $U^*[n]$ бесконечно коротких импульсов типа δ -функции, площадь которых пропорциональна сигналу $U(t)$ в моменты времени выдачи сигнала управления $U[]$. Далее сигнал поступает на экстраполятор нулевого порядка.

Сигнал U_k (k – заданная ступень торможения замедлителя) с выхода экстраполятора поступает на регулятор давления, который на структурной схеме показан как совокупность ряда звеньев:

- линейного преобразующего элемента K_4 , осуществляющего преобразование давления P в сигнал

U_p ;

- элемента сравнения, который сравнивает сигналы U_k и U_p и выдаёт сигнал рассогласования ϵ_U ;
- релейного элемента РЭ₁, вырабатывающего сигнал $\text{sign}(\epsilon_U)$;
- блока изменения структуры (БИС), управляющего работой ключевых элементов (КЭ).

БИС осуществляет подключение электропневмоклапанов, которые на схеме показаны, как элементы задержки, ко входу пневмопривода, который показан как аperiодическое звено с переменным параметром $T=f(\text{sign}(\epsilon_U))$. Если $\epsilon_U > +\epsilon_n$ ($\pm\epsilon_n$ – граница зоны нечувствительности БИС), то ключевой элемент подключит ко входу тормозного ЭПК давление P_{\max} , а к выходу его – пневмопривод.

Давление P на выходе пневмопривода с задержкой времени $\tau(P)$ (причём $\tau(P) = t_{z2}$, если $P > P_0$ и $\tau(P) = t_{z2}+t_{00}$, если $P \leq P_0$) начинает увеличиваться [1], ликвидируя рассогласование ϵ_U . Когда ϵ_U достигнет величины $+\epsilon_n$, ключевой элемент подключит входы ЭПК и пневмопривода к давлению P на выходе последнего. Пневмопривод оказывается замкнутым положительной ОС и преобразуется в интегрирующее звено. Поскольку на вход этого интегрирующего звена ничего не поступает, то выходной сигнал его P остаётся постоянным. Если же $\epsilon_U > -\epsilon_n$, то ключевой элемент подключит пневмопривод к выходу оттормаживающего ЭПК, а на вход последнего подключит давление P_{\min} . С за-

держкой t_{z0} давление P на выходе пневмопривода начнёт уменьшаться по закону, описанному в [1], до тех пор, пока рассогласование ϵ_U не станет по абсолютной величине меньше ϵ_n .

С выхода пневмопривода давление P поступает на тормозные балки замедлителя, которые показаны на схеме как нелинейный преобразователь с зоной нечувствительности, крутизна характеристики которого случайна, а её математическое ожидание зависит от числа N тормозимых пар колёс отцепа.

Передаточная функция ЦВМ $D(Z)$ определяется выбранным алгоритмом управления. В алгоритме управления присутствуют ряд существенных нелинейностей, вызванных, например, дискретным характером управляющего воздействия (конечным набором ступеней торможения). В этом случае целесообразно ЦВМ представить в виде импульсно-релейного регулятора (ИРР), варианты структурных схем которого будут представлены в последующих работах автора.

Выводы

Разработаны техническая, функциональная и структурная схемы цифровой системы управления торможением отцепа замедлителями тормозной позиции с дискретным измерителем скорости. Анализ структурной схемы показывает, что в целом данная цифровая система управления является стохастической, существенно нелинейной импульсно-релейной системой с переменной структурой, переменными параметрами и запаздыванием. Исследование таких систем аналитическими методами встречает ряд затруднений и невозможно без существенных упрощений и линеаризаций. Для исследований рекомендуется использовать также различные методы моделирования.

Литература

1. Жуковицкий И.В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 1. Модель системы / И.В. Жуковицкий, Г.И. Загарий, Н.И. Луханин // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – № 5. – С.10-15.
2. Жуковицкий И.В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 2 / И.В. Жуковицкий // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 4,5. – С.17-20.
3. Жуковицкий И.В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 3. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 4. – С.32-37.
4. Жуковицкий И.В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 4. Оптимальная настройка регулятора для неоднородной последовательности отцепов / И.В. Жуковицкий // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – № 6. – С.9-12.
5. Жуковицкий И.В. Автоматизированная система управления скоростью скатывания порожних вагонов от вагонопрокидывателей / И.В. Жуковицкий, Д.А. Остапец, О.И. Егоров, Д.Л. Яковенко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2007. – С. 62-67.
6. Жуковицкий И.В. Совершенствование алгоритмов работы регулятора тормозной позиции / И.В. Жуковицкий, Д.А. Остапец // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – № 2. – С.3-7.
7. Жуковицкий И.В. Остапец Д.О. Пристрій керування уповільнювачем для регулювання швидкості скочування вагонів // Декларацийний патент № 14781 на корисну модель u200512895 Україна, МПК(2006) B61L 17/00. Заявлено 30.12.05. Опубл. 15.05.06, Бюл. №5. 4с.

Резюме

В статье рассматриваются техническая, функциональная и структурная схемы цифровой системы управления торможением отцепа замедлителями тормозной позиции с дискретным измерителем скорости и с ЭВМ в контуре управления

У статті розглядаються технічна, функціональна й структурна схеми цифрової системи керування гальмуванням відцепу уповільнювачами гальмової позиції з дискретним вимірником швидкості та з ЕОМ у контурі керування

The paper considers the technical, functional and structural schemes of brake control system of uncoupled cars by moderator of brake position with the discrete measuring device of speed and with computer in the contour of management

Ключові слова: торможение отцепа, цифровая система управления

Рецензент д.т.н., профессор Бабаев М. М. (УкрГАЗТ)

Поступила 20.06.2012 г.