

# Повышение эффективности регулирования скорости в системах АРС на промышленном ж.д. транспорте

ОСТАПЕЦ Д.А., к.т.н., доц. (ДНУЖТ)

Розглянуті принципи побудови та ефективність роботи регулятора швидкості в автоматизованій системі управління скочуванням на промисловому залізничному транспорті.

Рассмотрены принципы построения и эффективность работы регулятора скорости в автоматизированной системе управления скатыванием на промышленном железнодорожном транспорте.

The principles of build and efficiency of work of speed regulator in the automated rolling down control system on industrial railway transport are described.

## Общие принципы организации объекта управления

Распространенным способом уборки разгруженных с помощью вагоноопрокидывателей (в/о) ж.д. вагонов на предприятиях горно-металлургического комплекса является скатывание их на пути накопления под действием силы тяжести. Кафедрой ЭВМ ДИИТа для автоматизации управления таким процессом с 70-х гг. было разработано и многократно совершенствовалось семейство систем АУСВ [1] (АУСВ-2 [2], АУСВ-У [3], АУСВ-МК [4]). Данная система успешно внедрена на ст. Рудная Мариупольского металлургического комбината им. Ильича.

В процессе разработки системы АУСВ учтен ряд особенностей технологического процесса скатывания отцепов с горки грузовой станции промышленного ж.д. транспорта: случайный характер параметров объекта и органов управления, повышенная загрязненность путей скатывания и накопления остатками перевозимого груза (руда и т.п.), в том числе и токопроводящими, небольшая (до нескольких сотен метров) длина путей накопления, малое число путей накопления (3 – 4 шт.), сортировке подлежат только одиночные порожние 4-осные полувагоны, отсутствие необходимости в интервальном регулировании (интервалы времени между скатыванием вагонов достаточно велики).

На сортировочных горках магистрального железнодорожного транспорта малой мощности, а также на сортировочных горках промышленного железнодорожного транспорта, перерабатывающая способность которых невелика, применение

дорогостоящих и требующих тщательной настройки РЛС нецелесообразно. При автоматизации таких сортировочных горок как отечественные, так и зарубежные специалисты считают оправданным использование управляющих систем с точечными измерителями скорости.

В качестве таких измерителей обычно используются специальные точечные путевые датчики (путевые педали), попарно установленные перед тормозной позицией или во всей зоне торможения. К данному классу измерителей принадлежит специально разработанный для использования в системах АРС промышленного ж.д. транспорта (в первую очередь АУСВ) датчик скорости ДС-2. Датчик разработан коллективом кафедры ЭВМ ДИИТа в рамках работ над системой АУСВ.

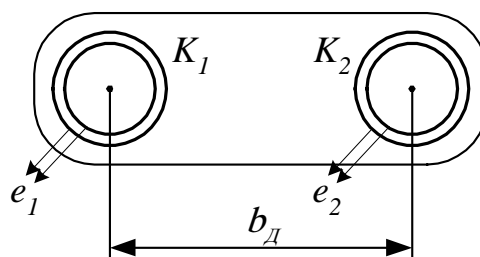


Рис. 1. Датчик скорости ДС-2

Датчик ДС-2 представляет собой две катушки индуктивности, расположенные в одном корпусе на расстоянии (по магнитным центрам)  $b_D$  равном 200мм. Корпус датчика закрепляется на рельсе (см. рис. 1).

При прохождении реборды колеса, в катушках индуктивности  $K_1$ ,  $K_2$  наводятся ЭДС  $e_1$ ,  $e_2$  соответственно (см. рис. 2). Причем, ЭДС  $e_2$  во второй катушке возникает через время  $t_V$  после ЭДС  $e_1$ . Точка перехода ЭДС  $e_i$  через ось  $t$  соответствует положению

реборды колеса над магнитным центром катушки  $K_i$ . Время  $t_v$  является временем, за которое колесо проходит расстояние  $b_d$ . Тогда, с учетом того, что расстояние  $b_d$  мало, мгновенная скорость вагона рассчитывается по формуле:

$$v = b_d / t_v. \quad (1)$$

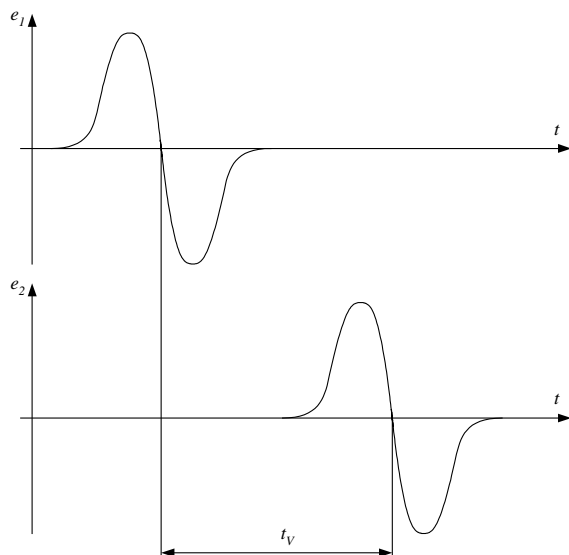


Рис. 2. Временная диаграмма возникновения ЭДС в катушках датчика ДС-2

### Известные принципы регулирования скорости

Наиболее прогрессивным на данный момент является принцип регулирования скорости скатывания, при котором закон изменения желательной скорости представляет собой кривую  $v(S)$  движения вагона в замедлителе, заканчивающуюся в некоторой точке, называемой скоростью прицеливания [5]. Согласно этому принципу, при наезде первой оси вагона на датчик скорости, регулятор сравнивает измеренное значение скорости с набором настроенных граничных скоростей и выбирает соответствующую ступень торможения. Известно, что между наездами на датчики, процесс торможения неуправляем. При этом, расстояние между датчиками достаточно велико («длинные» участки), поэтому время нахождения в неуправляемом состоянии тоже может быть значительным. Это отрицательно сказывается на качестве регулирования.

Существующий регулятор [5], настроен исходя из прогноза переключения на соседние ступени торможения. При проведении натурных экспериментов, аналитических расчетов и моделировании работы регулятора скорости [5] оказалось, что в связи с недетерминированностью процесса торможения, в ряде случаев происходит переключение с любой ступени торможения на любую

(как правило, через одну ступень). Кроме того, было установлено, что в некоторых случаях (при достаточно больших скоростях входа в тормозную позицию и достаточно малых заданных скоростях выхода из нее, т.е. при включении максимально возможной 4-й ступени торможения) вагон выходит за границу участка торможения раньше, чем заканчивается переходной процесс переключения замедлителя (время переходных процессов значительно). В результате, в этих случаях торможение становится малоэффективным. Кроме того, отказ хотя бы одного датчика приводит к увеличению длины участка торможения. При этом возможно перетормаживание, вплоть до остановки вагона.

В данной работе предлагается принцип работы регулятора скорости, схожий с [5], но при этом используется в несколько раз большее число участков торможения [6]. Кроме того, участки более короткие при том же числе дискретных измерителей скорости (например, датчиков скорости ДС-2).

Увеличение числа участков торможения достигается за счет того, что измерители скорости «реагируют» не только на первую ось тормозимого вагона, как это делалось в [5], но также и на все оставшиеся три оси (предполагается, что все вагоны, подлежащие торможению, однотипные четырехосные). Так, при 6-ти датчиках скорости, т.е. 6-ти «длинных» участках торможения (для условий системы АУСВ-У), число «коротких» участков составляет 19.

При входе на участок торможения, по фактической скорости выбирается ступень торможения. Замедлители тормозной позиции устанавливаются на необходимую ступень торможения с определенным запаздыванием – это время переходного процесса. Для переключения с каждой ступени торможения на любую другую, известно время переходного процесса в замедлителях.

Алгоритм управления таков, что после переключения замедлителя на нужную ступень торможения только по истечении времени переходного процесса и при вхождении на очередной «короткий» участок, система может выдавать следующее управляющее воздействие. Т.е., как правило, торможение осуществляется на нескольких смежных «коротких» участках. Другими словами, если длина участка такова, что при движении по нему вагона, переходные процессы в замедлителе не завершатся, то на данном участке управление невозможно и к нему добавляется следующий и т.д. (из нескольких коротких участков образуется один более длинный).

## Структура устройства управления

Описанный выше принцип управления разработан и исследован в рамках работ по созданию системы АУСВ–МК [4]. В данной системе применено оригинальное устройство управления замедлителями

(см. рис. 3), защищенное патентом на полезную модель [7].

Основное отличие данного устройства от известных – наличие группы счетчиков осей вагона, прошедших над каждым датчиком скорости, группового шифратора/ мультиплексора номеров участков и программируемой схемы задержки.

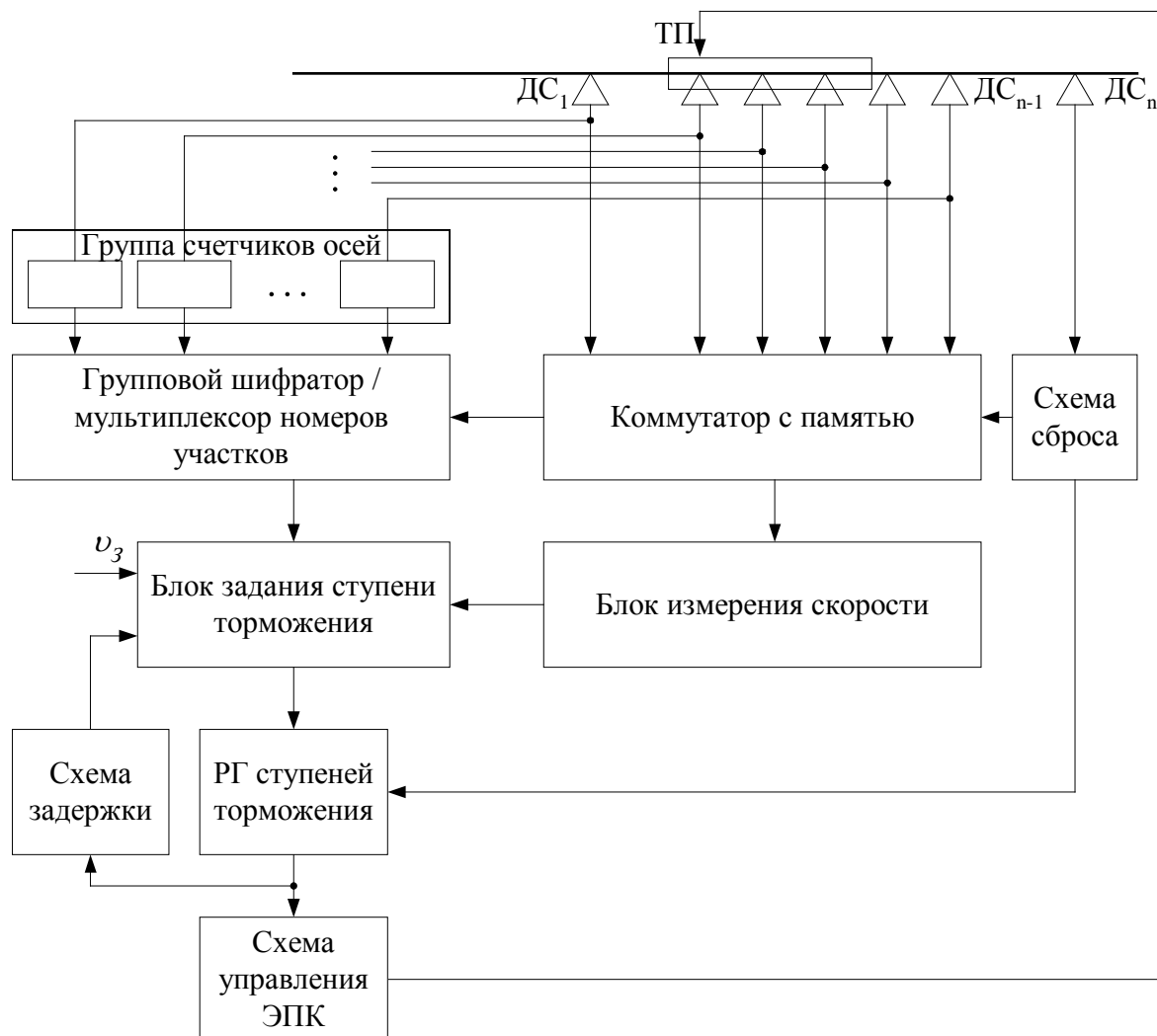


Рис. 3. Укрупненная структурная схема устройства управления замедлителями для регулирования скорости скатывания вагонов

Устройство работает следующим образом. После выхода вагона из вагоноопрокидывателя подсистема задания скорости выхода вагона (на рис. 3 не показана) вычисляет известным способом заданную скорость выхода вагона из тормозной позиции  $v_3$  и посылает соответствующий сигнал в программируемый блок задания ступени торможения. На второй вход блока задания ступени торможения поступает сигнал номера участка торможения.

Путь торможения вагона в тормозной позиции разбит на ряд участков торможения. Датчики скорости

$ДС_1 - ДС_n$  срабатывают при проходе над ними каждой оси вагона. Порядковый номер оси, проходящей в текущий момент над датчиком, однозначно определяет номер текущего, так называемого "короткого", участка. Как правило, торможение на "коротком" участке неэффективно из-за достаточно длительного переходного процесса при переключении замедлителя с одной ступени торможения на другую. Поэтому торможение осуществляется на нескольких смежных участках, пока не истечет время переходного процесса.

Значения времени переходного процесса всех ступеней торможения заложены в программируемую схему задержки. Регистр ступеней торможения изначально сброшен; его состояние поступает в схему задержки и разрешающий сигнал с выхода последней поступает в блок задания ступени торможения.

Команды на управление тормозной позицией (выбор ступени торможения) вырабатываются на основании скорости вагона, измеренной точечными датчиками скорости  $ДС_1 - ДС_n$ , номеру участка и заданной скорости выхода вагона из замедлителя.

Для каждой заданной скорости выхода вагона для каждого участка торможения заранее рассчитаны  $N$  граничных скоростей ( $N$  – число ступеней торможения замедлителя), сравнивая которые с действительным значением скорости вагона на данном участке, при заданной скорости выхода, можно определить нужную ступень торможения замедлителя.

Значения граничных скоростей для всех участков всех заданных скоростей выхода вагона из замедлителя заложены в программируемый блок задания ступени торможения.

Перед входом в тормозную позицию, вагон наезжает первой осью на датчик скорости  $ДС_1$ , который расположен на таком расстоянии от тормозной позиции, чтобы замедлители последней успели включиться в нужную ступень торможения до момента входа на нее вагона.

Сигнал от датчика  $ДС_1$  поступает на вход соответствующего счетчика осей и состояние последнего увеличивается на 1. Вместе с тем, коммутатор с памятью выдает сигнал "Датчик №1", на вход группового шифратора/мультиплексора номеров участков. По этому сигналу, а также по состоянию соответствующего счетчика осей, групповой шифратор/ мультиплексор вырабатывает сигнал номера участка, который поступает в блок задания ступени торможения.

При этом блок измерения скорости выдает на свой выход текущую измеренную скорость вагона, а блок задания ступени торможения считает количество предельных скоростей  $K$ , которые выше измеренной скорости вагона.

Сигнал с выхода блока задания ступени торможения, соответствующий  $(N-K)$ -й ступени торможения, по окончании измерения скорости вагона, записывается в регистр ступеней торможения, и замедлители тормозной позиции схемой управления включаются на  $(N-K)$ -ю ступень торможения.

Сигнал номера установленной ступени торможения поступает на вход программируемой схемы задержки, которая блокирует (на время переходного процесса переключения замедлителя на данную ступень) работу блока задания ступени торможения.

Далее коммутатор с памятью блокирует канал датчика скорости  $ДС_1$  и выдает на вход группового шифратора/мультиплексора сигнал "Датчик № 2".

При проходе любой оси вагона над каждым из датчиков скорости  $ДС_1 - ДС_n$ , работа системы происходит так же, как и при проходе первой оси вагона над датчиком скорости  $ДС_1$ .

После выхода вагона из зоны торможения, он наезжает на датчик  $ДС_n$ , сигналом от которого сбрасывается в исходное состояние коммутатор с памятью и регистр ступеней торможения. После этого система готова к торможению следующего вагона.

---

### Эффективность предложенного устройства

---

Для исследования указанных принципов регулирования автором разработана стохастическая имитационная модель регулятора тормозной позиции с дискретным измерителем скорости для "длинных" и "коротких" участков торможения. Моделирование производилось при одинаковых исходных данных (тип и вес вагона, набор заданных скоростей выхода из тормозной позиции, количество реализаций, количество и расположение датчиков скорости и замедлителей тормозной позиции, параметры скорости входа в тормозную позицию, параметры суммарного удельного сопротивления движению и тормозной характеристики замедлителей). Основным показателем качества процесса торможения является дисперсия

$D_{v_\phi}$  или среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{v_\phi}$  фактической скорости выхода вагона из тормозной позиции. При этом, необходимо отметить, что математическое ожидание  $m_{v_\phi}$  фактической скорости выхода должно быть равным заданной скорости выхода  $v_3$ . В том случае, если последнее не выполняется, то обычно применяют коррекцию, например, по методике описанной в [5].

Из данных табл. 1 видно, что точность регулирования скорости по предложенному принципу с «короткими» участками гораздо выше, чем по известному принципу с «длинными» участками.

Так, значение  $\sigma_{v_\phi}$  по предложенному принципу с «короткими» участками в среднем в 1.5 раза меньше, чем по существующему принципу с «длинными» участками. Также по данным табл. 1 видно, что точность работы регулятора по предложенному принципу, хуже точности работы регулятора по существующему принципу только в одном случае – при  $v_3 = 4.0$  м/с и точность регуляторов практически одинакова при  $v_3 = 4.5$  м/с.

Таблица 1. Статистические параметры скорости выхода вагона из тормозной позиции для различных принципов регулирования

$v_3$ , м/с	Регулятор с «длинными» участками торможения		Регулятор с «короткими» участками торможения	
	$m_{v_\phi}$ , м/с	$\sigma_{v_\phi}$ , м/с	$m_{v_\phi}$ , м/с	$\sigma_{v_\phi}$ , м/с
1.0	1.131	0.289	1.009	0.154
1.5	1.587	0.203	1.499	0.109
2.0	2.052	0.145	2.000	0.088
2.5	2.532	0.126	2.500	0.070
3.0	3.016	0.103	3.000	0.080
3.5	3.514	0.111	3.500	0.077
4.0	4.050	0.109	4.010	0.132
4.5	4.531	0.095	4.501	0.094

Примечание:  $v_3$  – заданная скорость выхода из тормозной позиции;

$m_{v_\phi}$  – математическое ожидание фактической скорости выхода из тормозной позиции;

$\sigma_{v_\phi}$  – среднеквадратическое отклонение фактической скорости выхода из тормозной позиции.

Практика эксплуатации системы АУСВ показывает, что такие значения скоростей требуется задавать крайне редко (единичные случаи), поэтому для более объективной оценки точности целесообразно усреднить погрешности реализации остальных заданных скоростей выхода. Тогда, отношение значений  $\sigma_{v_\phi}$  по предложенному и существующему принципам составит, в среднем, около 1.7, т.е. предложенный принцип на 70% точнее.

Повышение точности работы регулятора, очевидно, происходит за счет более гибкого и оптимального выбора тормозного пути для каждой ступени торможения. Необходимо заметить, что в среднем количество переключений с одной ступени торможения на другую при торможении вагона для обоих принципов регулирования одинаково. Таким образом, можно утверждать, что расход сжатого воздуха примерно одинаков.

Кроме того, моделирование показало, что в ситуациях отказов одного из датчиков скорости точность регулятора с «короткими» участками торможения ухудшается незначительно, сравнительно с регулятором с «длинными» участками. При этом, в ситуациях отказов двух датчиков скорости регулятор с «длинными» участками практически неработоспособен, а регулятор с «короткими» участками сохраняет высокую точность работы.

## Литература

1. Соловьев В.Б. Исследование автоматического регулятора скорости порожних вагонов при их скатывании от вагоноопрокидывателя // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Днепропетровск, 1973г.
2. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование и внедрение системы автоматического управления скатыванием вагонов (АУСВ-2) на станции Рудная в эксплуатационных условиях» – Инв. №Б771923, Днепропетровск, 1979
3. Моргачев В.Д., Майшмаз К.Г., Жуковицкий И.В., Бубело Н.И. Система автоматического управления скоростью скатывания вагонов // Черная металлургия. – 1989. – №11. – С.74-75.
4. Остапец Д.А., Яковенко Д.Л. Управление скатыванием одиночных вагонов с горки на станции промышленного ж.д. транспорта // Тезисы Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Днепропетровск, 2007. –С.47-48.
5. Жуковицкий И.В. Теория и практика совершенствования систем автоматического управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках // Диссертация на соискание

ученой степени доктора технических наук – Днепропетровск, 1999г., 296с.

6. Остапец Д.А. Улучшенный алгоритм работы автоматизированной системы управления скатыванием порожних вагонов от вагоноопрокидывателя при использовании дискретного измерителя скорости // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління:

Тези доповідей другої науково–практичної конференції.–К.: КУЕТТ, 2004.–С.160–161.

7. Пристрій керування уповільнювачем для регулювання швидкості скочування вагонів: Деклараційний патент на корисну модель u200512895 Україна, МПК(2006) B61L 17/00 / І.В. Жуковичський, Д.О. Остапец. – №14781; Заявлено 30.12.05; Опубл. 15.05.06, Бюл. №5. – 4с. іл.