

УДК 681.513.6.

В.А. Брыксин¹, С.М. Порошин²¹ Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков² Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

Предложена система автоведения с использованием модели нечеткой коррекции скорости подвижной единицы, которая может функционировать в режиме реального и ускоренного времени.

Ключевые слова: подвижная единица, система управления, нечеткая коррекция скорости, нечеткие значения.

Введение

Одним из основных требований к системам управления движением является обеспечение вывода поезда на заданную скорость при минимальном расходе энергоресурсов или за минимальное время при соблюдении ограничений, предусмотренных графиком движения, конструктивными и эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к системам управления, энергетическому оборудованию и др.

Анализ последних исследований и публикаций. Таким образом, задание рациональной скорости поезда является параметром, который является основой автоматического (без участия машиниста) ведения графика движения, который будет оказывать содействие совершенствованию эксплуатации средств железнодорожного транспорта [1 – 3]. Однако до настоящего времени такие автоматические системы реализации нелинейных кривых графика движения ПЕ в Украине не созданы.

В последние десять лет интенсивно развиваются методы синтеза автоматических систем задания входных нелинейных сигналов в контуры управления скоростью ПЕ реализующих график движения в реальном масштабе времени, на основе нечеткой логики, нейронных сетей и нейронечетких сетей [4].

Постановка проблемы. Решение задачи разработки системы управления (СУ) движением поезда с учетом обеспечения заданного критерия качества целесообразно осуществлять в виде основной системы управления, относящейся к верхнему иерархическому уровню, и внутренней (подчиненной) СУ, более низкого иерархического уровня.

На основную систему управления возлагаются функции управления движением поезда. На рис. 1 приведена кривая требуемого графика изменения скорости $V(S)$ поезда при движении на определенном участке пути.

В процессе движения поезда (дизель-поезда, электропоезда) для кривой графика движения можно выделить заданные ограничения скорости и дли-

ны участков ограничения ($0 - B$, $B - E$, $E - G$). Движение с постоянной скоростью при проезде будет на участках ($A - B$, $C - D$, $E - F$), движение с ускорением - на участках ($0 - A$ и $B - C$), а с замедлением - на участках ($D - E$, $F - G$). При этом в процессе движения должен соблюдаться график движения, который предусматривает прибытие поезда в конечный пункт в строго назначенное время при максимально допустимых значениях скорости движения, ускорения и замедления, то есть должно осуществляться требование перевода объекта управления из начального состояния в конечное за требуемое время. Эти ограничения скорости на определенном участке пути определяются, например, из условия комфортности пассажиров и других условий.

На рис. 2 приведены графики возможного прохождения пути поездом от начального положения $S(0)$ до конечного $S(t_k)$ за фиксированное время t_k .

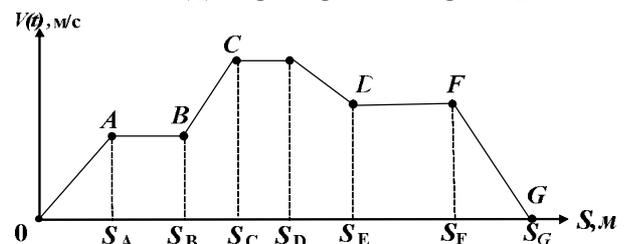


Рис. 1. График изменения скорости в процессе движения

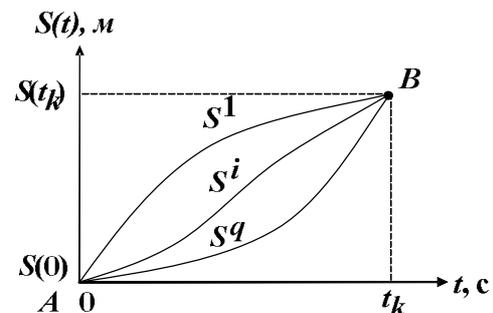


Рис. 2. Графики возможного прохождения пути поездом

Как видно из рисунка перевод объекта из начального состояния $S(0)$ в конечное $S(t_k)$ за время t_k может осуществляться по одной из кривых ($S^1, S^2, \dots, S^1, \dots, S^q$) (траекторий).

Для конкретного участка пути известными являются: величины уклонов j (профиль пути); начальные и конечные условия по пути и скорости движения (S_0, S_k, V_0, V_k); предельно допустимые значения ускорения и силы тяги; время движения. Здесь четыре ограничения должны выполняться строго, то есть решается краевая задача. К ним относятся начальные и конечные значения пути и скорости. Данные о предельно-допустимых значениях ускорения используются для нахождения оптимальной траектории. Так как значение предельно-допустимого ускорения находится в пределах $\pm 0.7 \text{ м/с}^2$, то имея карту (график) движения, можно синтезировать управления для отдельных участков движения. Тогда для участков разгона предельно-допустимое значение ускорения находится в пределах от 0.1 до 0.7 м/с^2 , для участков замедления – от 0.1 до -0.7 м/с^2 и для участков с постоянной скоростью – равно нулю. Поскольку известны конечные значения для скорости движения и предельно-допустимые значения для ускорения, находится первая и вторая производная от функции $S(t)$, описываемой уравнением

$$S_{i+1}(t) = S_i(t) + V_i(t)\nabla t + \omega_\tau \nabla t^2$$

Задачей траектории и перевод объекта управления из начального состояния $S(0)$ в конечное $S(t_k)$ при соблюдении заданных ограничений и критерия качества системы управления является определение:

$$V(t) = \frac{dS(t)}{dt}; \quad \omega_\tau = \frac{dV}{dt} = \frac{\nabla V}{\nabla t};$$

$$\nabla V(t) = \omega_\tau \nabla t = \omega_\tau (t_{i+1} - t_i);$$

$$[S_{i+1}(t) = S_i(t) + V_i(t)\nabla t + \omega_\tau \nabla t^2];$$

$$\nabla V^2 = 2\omega_\tau \nabla s = 2\omega_\tau (S_{i+1} - S_i);$$

$$\nabla S_i = \frac{\nabla V^2}{2\omega_\tau} = \frac{V_{i+1} - V_i}{2\omega_\tau}; \quad \omega_n = \frac{V^2}{R};$$

$$\omega = \sqrt{\omega_\tau^2 + \omega_n^2}.$$

Для кривой 1 длина участка ∇S_{0-A} при равноускоренном $\omega=0,1 \text{ м/с}^2$ движении будет равна

$$\nabla S_{0-A} = \frac{\nabla V^2}{2\omega_\tau} = \frac{(V_A - V_0)^2}{2\omega_\tau} =$$

$$= \frac{(72 - 0)^2}{2 * 0,1} * \left(\frac{1000}{3600}\right)^2 = \frac{400}{0,2} = 2000 \text{ м},$$

а при $\omega=0,7 \text{ м/с}^2$ - будет равна 285 м.

Средняя скорость на участке ∇S_{A-B} равна 72 км/час (20 м/с), а ускорение на этом участке равно $\omega=0 \text{ м/с}^2$. Время прохождения подвижной едини-

цей (ПЕ) участка и ∇S_{O-A} , пройденное поездом будет равно ∇S_{A-B}

$$t_{A-B} = \frac{\nabla S_{A-B}}{\nabla V} = \frac{(S_B - S_A)}{20} \text{ м},$$

$$\nabla S_{A-B} = \nabla S_{O-B} - \nabla S_{O-A} \text{ м},$$

где ∇S_{O-B} – длина участка с заданной скоростью V_{O-B} .

Используя приведенные формулы можно определить длины всех участков, время их прохождения и общее время движения на участке $O - G$.

Актуальность. Таким образом, актуальным является создание диспетчерских подсистем автоматического задания графика изменения в установку регулятора скорости движения поезда. Одной из главных функций таких подсистем должна быть процедура формирования управляющих воздействий. Автоматизация такой процедуры повысит эффективность управления поездом и в значительной мере устранил субъективный человеческий фактор.

Основная часть

В существующих системах управления локомотивом взаимодействуют две системы управления с интегрированным в них оператором (машинистом), который является их составной частью, рис. 3, а. Предлагаемая система управления локомотивом приведена на рис. 3, б, которая отличается от известной введением блоков автоведения, управления режимами и дополнительными связями от локомотива.

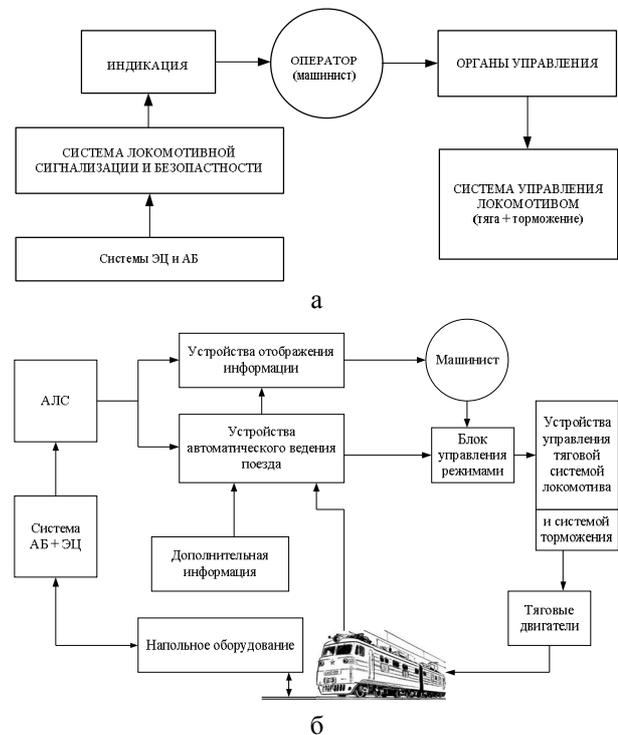


Рис. 3. Структурная схема управления локомотивом: а – существующая система управления локомотивом, б – предлагаемая система

В настоящее время автоматически осуществляется только экстренное торможение. Система локомотивной сигнализации выдаёт дискретную информацию о скорости в виде показаний локомотивного светофора (зеленый, жёлтый, желто-красный, красный, лунно-белый). В соответствии с этим машинист управляет рукояткой контролера, которая имеет 16 позиций (пассажирский, 8 позиций тепловоз маневровый, 4 –электровоз большой мощности).

Перспективные системы АЛС способны выдавать бесконечное число градаций, однако по прежнему в этой цепочке, как передаточное и крайне ненадёжное звено находится человек. Исключение человека из цепи управления путем создания автомашиниста, обеспечит непосредственное взаимодействие трех систем СЦБ, автомашинист, локомотив.

Это особенно актуально в связи с необходимостью поддержания рациональной скорости движения ПЕ при ее росте в будущем и с отсутствием ряда важнейших средств автоматического контроля (например, масса поезда, электронный номер ПЕ, достоверная и оперативная информация о дислокации ПЕ и др.), что нуждается в формировании управляющих воздействий и условиях неопределенности. Следует отметить, что перспективные системы управления железнодорожным транспортом (СУЖТ) должны выполнять автоматизированное ведение графиков движения и в отличие от существующих систем, которые только задают ограничение скорости на основе данных подсистем автоблокировки, предоставлять рекомендации относительно рациональной скорости ПЕ. Для эффективного управления скоростью ПЕ перспективные подсистемы среднего уровня СУЖТ должны иметь развитую базу данных, часть которой дублирована в бортовом компьютере ПЕ контура управления. Такая база данных должна включать:

- цифровую карту сети железных дорог;
- цифровое описание планов станций;
- цифровые данные о верхнем строении и состоянии (нечеткая информация) железнодорожного пути;

- спутниковую дислокацию подвижных единиц (приблизительная);
- дислокацию, которая определяется по электронным пикетам (точная);
- скорость, которая рекомендуется диспетчерскими подсистемами на основе распределения ПЕ в результате слежения за перевозками;
- рекомендованные графики движения поездов;
- массу (вес) поездов, которая определяется массоизмерителями подвижных объектов.

Наличие указанной базы данных, позволит прогнозировать такие преимущества перспективных СУЖТ:

- на основе использования повышенной скорости ПЕ сократить парк вагонов и локомотивов;
- повысить стабильность графиков движения, например пассажирских перевозок с 92 до 95 %;
- за счет повышения стабильности поддержания графиков движения уменьшается количество непредусмотренных остановок, нерациональных задержек поездов всех категорий на участках железных дорог;
- при увеличении участковой скорости поездов на 10 %, например, на направлении Купянск - Одесса, сократить парк локомотивов и вагонов на 3-4 % от существующего общего парка вагонов и локомотивов.

Типичная структура модели системы нечеткого задания скорости приведена на рис. 4. Структура компьютерной модели нечеткой системы управления, соответствующая [4], с нечеткой коррекцией заданной скорости ПЕ приведена на рис. 5. Структура вычислительной модели нечеткого задания скорости ПЕ приведена на рис. 6.

Информация с объекта управления в виде четких значений фазовых координат объекта управления $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$ поступает на блок фазификации, который на основе четких значений входных переменных формируют нечеткие значения $\tilde{X} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$ соответствующих лингвистических переменных.

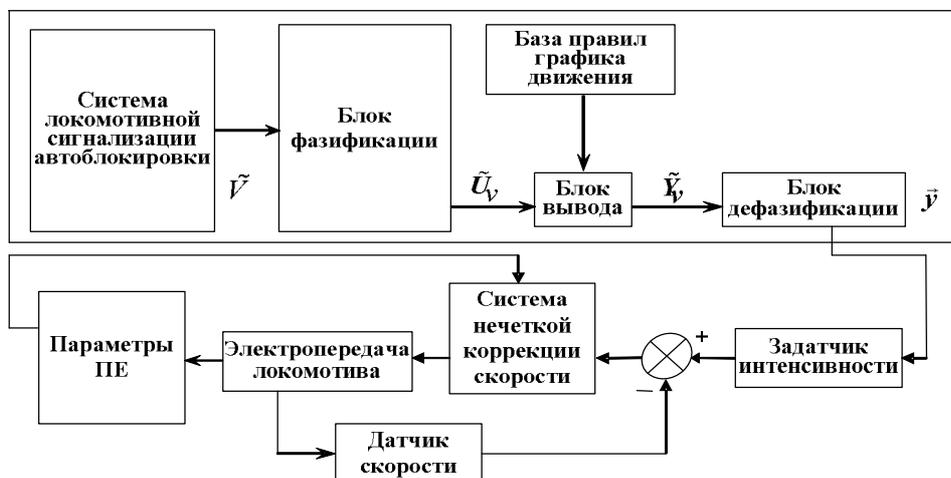


Рис. 4. Система нечеткого задания скорости V_3

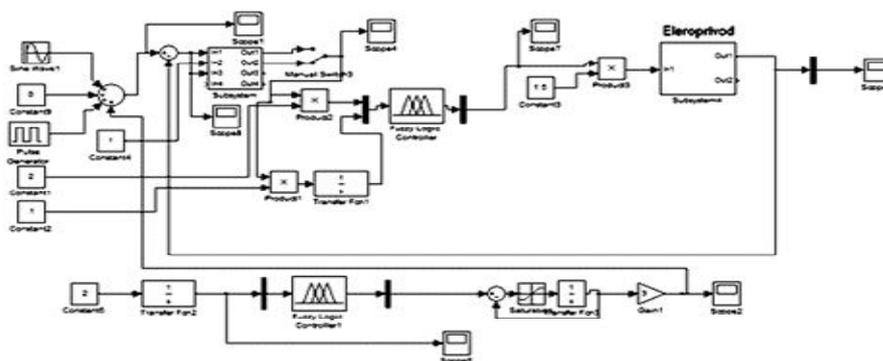


Рис. 5. Структура моделі нечеткої системи управління з нечеткою коррекцією швидкості ПЕ

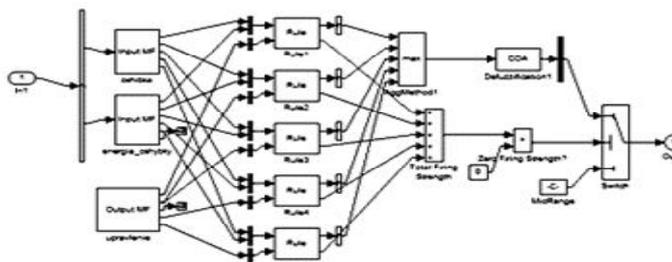


Рис. 6. Структура вичислительної моделі нечеткого задання швидкості ПЕ

Блок вывода на основе правил $R_k (k = \overline{1, N})$

вида:

R^k : Если $(\tilde{x}_1$ это A_1^k и \tilde{x}_2 это A_2^k ... и \tilde{x}_n это A_n^k)

то $(\tilde{y}_1$ это B_1^k и \tilde{y}_2 это B_2^k ... и \tilde{y}_m это B_m^k),

где $A_1^k, \dots, A_n^k, B_1^k, \dots, B_m^k$ – соответственно нечеткие значения входных переменных и управлений, определяет нечеткие управления $\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_m$, которые с помощью блока дефазификации преобразуются в вектор четких управлений $\bar{y} = (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_m)$, воздействующий на исполнительные устройства объекта управления с целью компенсации внешних возмущений M_v .

Обычно нечеткие системы управления применяются в тех случаях, когда модель объекта неизвестна или описана приближенно.

Сказанное может быть реализовано при внедрении в перспективе необходимых средств автоматизации, методов нечеткого формирования управляющих воздействий, новых методов адаптивного управления.

Вывод

Исходя из изложенного важное значение имеет создание моделей, которые функционируют в режиме реального и ускоренного времени и должны обеспечить оперативность прогнозирования ситуаций.

Список литературы

1. Баленко А.И. Математическая модель электропередачи дизель-поезда в режиме тяги / А.И. Баленко, Н.И. Заполовский, В.А. Пуїденко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998. – Вып. 27. – С. 67-71.
2. Басов Г.Г. Развитие электричного рухомого моторвагонного рухомого складу. Ч.2. / Г.Г. Басов, С.І. Яцько. – Х.: Алекс+, 2005. – 248 с.
3. Руденко В.Ф. Аналитический синтез системы автоведения поезда / В.Ф. Руденко // Совершенствование конструкции локомотивов и системы их обслуживания. – 2004. – С. 110-116.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А.Пегат. - М.: Бинум, 2009. – 798 с.

Поступила в редакцию 25.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Можаяев, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ

В.А. Бриксин, С.М. Порошин

Запропоновано систему автоведення з використанням моделі нечіткої корекції швидкості рухомої одиниці, яка може функціонувати у режимі реального і прискореного часу.

Ключові слова: рухома одиниця, система управління, нечітка корекція швидкості, нечіткі значення.

RAISING OF SYNTHESIS TASK OF CONTROL THE SYSTEM BY TRAINS MOTION

V.A. Bryksin, S.M. Poroshin

The automated driving system with usage of the model of fuzzy correction of speed of the movable units proposed, which could operate in real-time mode and in accelerated-time mode.

Keywords: movable unit, control the system, fuzzy correction of speed, fuzzy values.