

Таким образом, использование многомерных матриц позволяет, не ухудшая кодового расстояния между командами, увеличить количество реализуемых ответственных команд на станции.

Список литературы

- 1 ГОСТ 33896-2016. Системы диспетчерской централизации и диспетчерского контроля движения поездов. Требования безопасности и методы контроля. – Введ. 01.11.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 15 с.
- 2 СТО РЖД 1.19.003-2010. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением поездов. – Введ. 01.06.2010. – М. : РЖД, 2010. – 48 с.
- 3 Система диспетчерского контроля и управления движением поездов «ДЦ-ЮГ с РКП» : монография / И. Д. Долгий, А. Г. Кулькин, Ю. Э. Пономарев [и др.] ; под общ. ред. проф. И. Д. Долгого и канд. техн. наук А. Г. Кулькина. – Ростов н/Д : РГУПС, 2010. – 468 с.

УДК 621.38

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПО РАСХОДУ ТОПЛИВА РЕЖИМОВ ВЕДЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В САВ

А. П. КЕЙЗЕР, Т. А. ГОЛДОБИНА, А. Е. КОЗЛОВСКИЙ, С. Н. ДОЛГОМЫСЛОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Система автоведения поездов (САВ) – это будущее железнодорожного транспорта. САВ охватывает три основных подразделения транспортного конвейера:

- 1) локомотив (рассматривается тепловоз);
- 2) система автоматики;
- 3) система связи.

В предлагаемой САВ [1] предусмотрена обратная связь. Если поезд прибыл в контрольную точку чуть раньше или позже заданного времени хода, дальше он должен двигаться по другой оптимальной кривой скорости.

В Московском государственном университете путей сообщения (МГУПС, МИИТ) системами автоведения (метрополитен, электропоезда) занималась и занимается кафедра автоматики. Большой научный вклад в САВ внесли доктора технических наук Е. В. Ерофеев, Л. А. Баранов, Я. М. Головичер.

В БелИИЖТе (ныне БелГУТе) системами автоведения грузовых поездов (тепловозная тяга) под руководством кандидата технических наук А. М. Костромина занимался авторский коллектив в составе А. П. Кейзера, С. Я. Френкеля, С. И. Сухопарова, которые впоследствии стали кандидатами технических наук. Впервые САВ (тепловоз ТЭЗ) в конце семидесятых годов прошлого столетия была апробирована на участках Гомельского отделения Белорусской железной дороги.

Под руководством старшего инженера А. П. Кейзера была написана и отлажена программа расчета оптимальных (по расходу топлива) режимов ведения поездов $НКО_j$ на языке Автокод «Инженер» (АКИ) для ЭВМ Минск-22.

С помощью математического метода принцип максимума Понтрягина (ПМП) с одной ψ -функцией в [1] доказано, что ПМП ($\psi = \text{const}$) целесообразно применять на участках большой протяженностью.

Программа состоит из следующих частей:

1 Разгон поезда. Режимы ведения поезда при разгоне $НКR_k$ и временные выдержки ΔtR_k не оптимизируются, а выбираются из матрицы экспериментальных рецептов, содержащих $НК$, Δt для различных масс поезда Q . Процесс разгона заканчивается, когда хвостовой вагон поезда проезжает выходную стрелку станции.

2 Оптимальное ведение. Начинается небольшой участок оптимального ведения поезда до пробы тормозов.

3 Торможение. После пробы тормозов компьютер для каждого шага варьирования ΔSB_j рассчитывает оптимальные рецепты ведения поезда $НКО_j$, ΔtO_j до тех пор, пока на определенном шаге варьирования ΔSB_M не произойдет пересечение оптимальной кривой скорости $VOPT_M$ с кривой торможения VT . Кривая торможения VT строится в обращенном времени от конечной скорости $VT = 0$ по шагам интегрирования ΔSU_L .

Модификация математического аппарата и программного обеспечения тяговых оптимизационных расчетов.

1 В своей монографии [2] и докторской диссертации А. М. Костромин предлагает тяговые F_k (NK, Re, V) и расходные G_m (NK, Re, V) характеристики описывать полиномом пятой степени. В [1] и последующих публикациях доказано, что тяговые и расходные характеристики тепловоза достаточно описывать тремя уравнениями регрессии:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2; \quad (1)$$

$$y = a_0 x^{a_1}; \quad (2)$$

$$y = a_0 x^{a_1} e^{a_2 x} \quad (3)$$

основного критерием качества процесса сглаживания KF.

Результаты аппроксимации показали, что даже для уравнения регрессии (2) получается великолепная корреляционная зависимость. Расчетный критерий Фишера получается больше 100, а в некоторых случаях – больше 1000, что значительно превышает $KF_{ТАБЛ}$ (табличные значения критерия Фишера).

2 При расчете NKO_j в большинстве случаев усредняют тяговые и расходные характеристики тепловоза. Для каждой позиции контроллера НК три кривых ($Re = 0$ – режим полного поля ПП, $Re = 1$ – режим ОП1, $Re = 2$ – режим ослабления поля ОП2 тяговых электродвигателей) аппроксимируют одной математической формулой, что значительно увеличивает средний процент погрешности сглаживания $\%_{СРЕДЛН}$ и уменьшает критерий Фишера.

В докладе приводится алгоритм определения режима ослабления поля Re ТЭД (тяговых электродвигателей) как в начале, так и конце каждого шага варьирования ΔSB_j при построении оптимальной кривой скорости [1].

3 Предлагается методика математического построения кривой торможения от конца $V = 0$ ($V = 0,1$) по шагам интегрирования ΔSU_k и оригинальный вариант слияния кривых $VOPT$ и VT с использованием двух парабол. Парабола 1 $VOPT$ и парабола 2 VT строятся по трем точкам.

4 Проанализированы численные методы решения системы дифференциальных уравнений движения поезда при расчете $VOPT$ и VT :

- 1) метод Эйлера;
- 2) метод линейной аппроксимации производной;
- 3) метод Рунге Кутты.

Показана эффективность разработанного в БелИИЖТе метода линейной аппроксимации производной [2].

5 Разработана оригинальная методика и эффективный математический аппарат подбора параметра ψ (принцип максимума Понтрягина), чтобы за 3–4 итерации расчетное время хода TR совпало с заданным $TZAD$.

Для того чтобы апробировать предлагаемую систему автоведения в современных условиях (математический аппарат и программное обеспечение на языке Pascal), необходимо:

1) выбрать участок большой протяженности. При апробации предлагаемой САВ процессы разгона и торможения не оптимизируются;

2) наладить новое сотрудничество с Коломенским тепловозостроительным заводом, получив реальные тяговые и расходные характеристики распространенных на Белорусской железной дороге тепловозов 2ТЭ10М, 2ТЭ10У. При апробации САВ под руководством А. М. Костромина существовало тесное сотрудничество Коломенского тепловозостроительного завода и кафедры «Тепловозы и тепловозное хозяйство» БелИИЖТа.

Список литературы

- 1 Кейзер, А. П. Совершенствование режимов вождения поездов и повышение эксплуатационной надежности графика движения (в условиях тепловозной тяги) : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / А. П. Кейзер. – Гомель : БелГУТ, 1995. – 227 с.
- 2 Костромин, А. М. Оптимизация управления локомотивом / А. М. Костромин. – М. : Транспорт, 1977. – 119 с.
- 3 Ерофеев, Е. В. Исследование оптимальных программ автоматического ведения поезда при вариациях исходных параметров : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Ерофеев. – М. : МИИТ, 1969. – 24 с.