

Список литературы

- 1 Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.01-321-2018. – Введ. 2018-10-01. – Минск : Минстройархитектуры, 2018. – 86 с.
- 2 СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Введ. 2019-10-31. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 80 с.
- 3 СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения : Актуализированная редакция. СП 32.13330.2012. – Введ. 2013-01-01. – М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2013. – 129 с.

УДК 621.38

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОВЕДЕНИЯ (ТЕПЛОВОЗНАЯ ТЯГА) И УЧАСТИИ ЕДИНОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА

А. П. КЕЙЗЕР, И. Л. ГРОМЫКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

К. М. ШКУРИН

Белорусская железная дорога, г. Минск

Идея создания ЕДЦУ принадлежит П. С. Грунтову, ректору БелГУТа, доктору технических наук, академику транспорта РФ и Украины. Впервые центр управления был апробирован на Донецкой ж. д. с активным участием БелГУТа. Затем ЕДЦУ был внедрен на других железных дорогах СССР.

На Белорусской железной дороге начал работу центр управления перевозками (ЦУП). Все диспетчерские службы БЖД теперь расположены в едином комплексе,

В ближайшем будущем на БЖД планируется внедрение автоматизированной системы «Автодиспетчер», которая будет формировать маршруты, контролировать приём и отправление поездов.

Говоря об АСУЖТ, будем констатировать, что любая автоматизированная система управления всегда будет стремиться к автоматической – на железнодорожном транспорте это система «Автодиспетчер – автомашинист».

В БелИИЖТе, ныне БелГУТе, под руководством кандидата технических наук А. М. Костромина (1970–1980 годы) проводились интенсивные разработки по апробации САВГ (систем автovedения грузовых поездов – тепловозная тяга) на участках Гомельского отделения Белорусской ж. д., в которых активное участие принимали инженеры А. П. Кейзер, С. Я. Френкель, С. И. Сухопаров, которые затем стали кандидатами технических наук и продолжили разработки своего первого учителя. Основная задача САВ – это точное выполнение графика движения поездов (ГДП) при минимальном потреблении топлива (тепловозная тяга), энергии (электрическая тяга).

Существует 2 варианта САВ.

1 Расчет оптимальных (по расходу топлива) рецептов ведения $NKO(j)$ – режимы ведения, $\Delta T(j)$ – времена движения поезда по каждому режиму $NKO(j)$ выполняет СУПЕРЭВМ ЕДЦУ, которые затем по каналам радиосвязи передаются на борт локомотива.

2 Расчет оптимальных $NKO(j)$ выполняет бортовая ПЭВМ локомотива.

Авторы данной работы ориентируются на 1-й вариант САВ.

Математический и программный аппарат САВ:

1 Математические методы теории оптимального управления:

– метод динамического программирования (МДП) – программа реализована на языке ФОРТРАН ЕС-ЭВМ;

– принцип максимума Понтрягина;

– с двумя ψ функциями (ПМП_2) – программа реализована на языке ПЛ-1 ЕС-ЭВМ;

– с одной ψ функцией ($\psi = \text{const}$) ПМП_1 – программа реализована на языках программирования АКИ (ЭВМ Минск 22) ПЛ-1, ФОРТРАН ЕС-ЭВМ. В настоящее время программа переведена на язык PASCAL ПЭВМ;

– метод блуждающей трубки, сочетание ПМП_1 и МДП [3, 4].

2 Математический аппарат решения системы дифференциальных уравнений движения поезда [3, 4]:

– метод Эйлера;

– метод Рунге Кутты;

– метод линейной аппроксимации производной, разработанный в БелИИЖТе под руководством кандидата технических наук А. М. Костромина [4]. Данный метод инженер А. П. Кейзер запрограммировал вначале в машинных кодах ЭВМ МИНСК-22, затем на языках программирования АКИ, ФОРТРАН, ПЛ-1, PASCAL.

3 Статистическая обработка тяговых и расходных характеристик тепловоза. Если проанализировать тяговые $F_k = (NK, Re, V)$ [1] и расходные характеристики тепловоза, (NK – позиция контроллера машиниста, Re – режим ослабления поля ТЭД), можно выделить 2 варианта математической модели тепловоза, 1 – с учетом режимов ослабления поля ТЭД (режимы полного поля ПП, ослабленного поля ОП1 и ослабленного поля ОП2, 2 – без учета режимов ослабления поля ТЭД, когда три кривых (ПП, ОП1, ОП2) описываются одним уравнением регрессии. Авторами данной публикации разработано уникальное программное обеспечение статистической обработки тяговых и расходных характеристик тепловоза (2ТЭ10М). Результаты расчета приведены на рисунке 1 (позиция контроллера NK = 7, Re = 2 – режим ОП2).

i	x[i]	y[i]	YR[i]	ПОГРЕШНОСТЬ	% ПОГРЕШНОСТИ
1	40.00	3.45	3.465934	0.01593	0.461857
2	45.00	3.50	3.486813	0.01319	0.376766
3	50.00	3.50	3.492358	0.00764	0.218353
.
12	95.00	2.85	2.852198	0.00220	0.077116
13	100.00	2.70	2.704396	0.00440	0.162800

NF-ФОРМУЛА 2 (Уравнение параболы)
 $a_2[0]=2.74685$ $a_2[1]=0.03024$ $a_2[2]=-0.000301$ Коэффициенты параболы
 СУММА КВАДР ОТКЛОН= 0.00163 СРЕДН ПРОЦ ПОГРЕШН= 0.29438
 КРИТЕРИЙ ФИШЕРА [5] =391.358
 Табличное значение критерия Фишера $KF_TABL=8.84$

Рисунок 1 – Результаты расчета

Так как $KF_РАСЧЕТНЫЙ$ значительно больше KF_TABL , между экспериментальными данными $x[i] - V$ и $y[i] G_m$ существует великолепная корреляционная связь. Статистическая обработка тяговых и расходных характеристик тепловоза, а также спортивных результатов $Y(i)$ от даты соревнований $X(i)$ [3, 5] имеет один и тот же математический и программный аппарат.

Построение кривых торможения в обращенном времени от конца к началу для тех станций, на которых поезд будет делать остановки. В презентации продемонстрированы результаты построения кривых торможения на станциях остановки поезда.

Соединение основной оптимальной кривой скорости на станциях остановки поезда с кривой торможения.

Подбор параметра ψ (ПМП), χ (метод блуждающей трубки), чтобы заданное время хода поезда $T_{зад}$ совпало с расчетным T_p . Вначале задаемся значением ψ , исходя из статистики, чтобы T_p было близко к значению $T_{зад}$. Если $T_p - T_{зад} > 0$, незначительно изменяем значение ψ_1 ($\psi = \psi_1 + \Delta\psi$). Если $T_p - T_{зад} < 0$, то $\psi = \psi_1 - \Delta\psi$.

Зная значения ψ_1 и $\psi_2 = \psi$, находим среднее значение $\psi = (\psi_1 + \psi_2) / 2$. Выполнив расчеты НКО при новом значении ψ , получаем новое значение T_p . Через три точки (T_{p1} , которое соответствует ψ_1 ; T_{p2} , соответствующее значению ψ_2 ; T_p , соответствующему значению ψ) проводим параболу и находим значение ψ , при котором $|T_p - T_{зад}| < \varepsilon$ – точность выполнения расчетов. Как показала программа расчета оптимальных режимов ведения НКО, составленная на языке АКИ, достаточно трех-четырёх итераций, чтобы подобрать такое значение ψ , чтобы $T_p = T_{зад}$.

Аналогичным образом происходит подбор значения χ (метод динамического программирования).

Рассмотрим универсальную микропроцессорную САВ (рисунок 2). На данном рисунке приведены результаты расчета оптимальных рецептов $NKO(j)$, $\Delta TV(j)$ ведения поезда с помощью принципа максимума Понтрягина ($\psi = const$), а также показано, как в контрольных точках скорректировать матрицу оптимальных рецептов $NKO(j)$, $\Delta TV(j)$, если поезд будет двигаться чуть быстрее или чуть медленнее расчетных оптимальных рецептов.

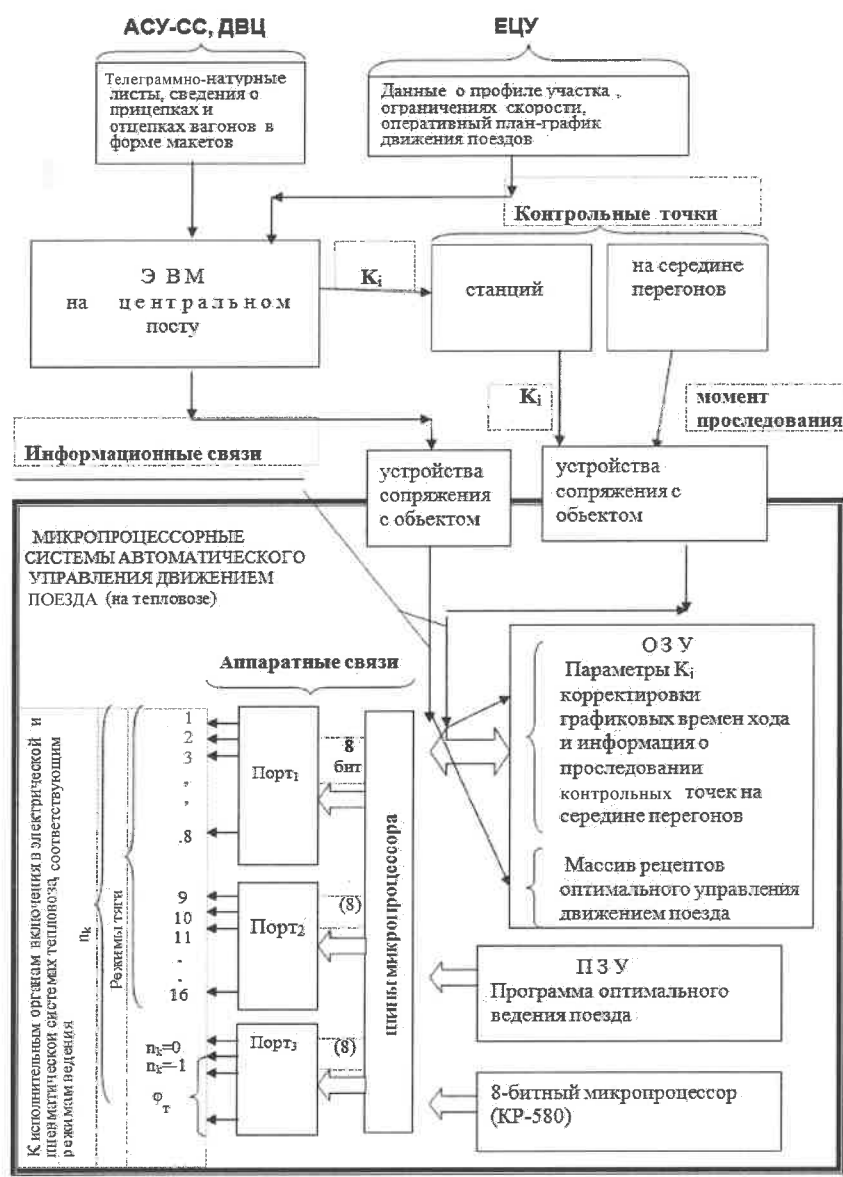


Рисунок 2 – Структурная схема универсальной микропроцессорной САВ

Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 2 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.
- 3 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.
- 4 Костромин, А. М. Оптимизация управления локомотивом / А. М. Костромин. – М. : Транспорт, 1977. – 119 с.
- 5 Статистическая обработка и прогнозирование спортивных результатов с использованием математического пакета MATHCAD / А. П. Кейзер [и др.] // Vedecke prace KSSaP 2015 : Research papers DSS and C 2015. Vedecky zbornic. – Trnava, 2015. – С. 117–132.