

УДК 629.4.016.12

ИВАНОВ А. П., ассистент (ДНУЖТ)

## Усовершенствование нечеткой модели управления режимами тяги поездов

*Представил д.т.н., профессор Скалозуб В. В.*

### Введение

Сокращение эксплуатационных расходов – важнейшее направление повышения эффективности работы железных дорог Украины. Задача выбора рациональных режимов ведения поездов остается одной из основных для железнодорожного транспорта. Ее решение опирается на все более полный учет факторов, определяющих режим ведения поезда. Разрабатываемые для этого статистические модели предполагают наличие значительных объемов аналитической информации.

### Постановка задачи оптимизации режимов тяги поездов с использованием нечеткой модели управления движением

В моделях расчетов режимов тяги поездов [3] использовано множество величин, значения которых сложно точно получить, или же их измерение требует больших затрат. На практике надежной основой для оценки и расчетов рациональных режимов ведения поездов являются опытные поездки, представляющие фактически выполненные режимы тяги. Рассмотрим задачу выбора рациональных режимов тяги локомотива на основе построения базы нечетких правил экспертных систем по данным опытных поездок и организации нечеткого вывода. Такие правила управления учитывают отклонения фактических состояний от оптимальной режимной карты для эталонного случая, рассчитанного для поезда заданной массы на заданном перегоне (эталонный режим). Эталонными режимами служат данные о фактических поездках или же расчеты согласно моделям в работах [2, 3]. Для моделирования опытных поездок использовались расчеты режимов тяги поездов с разными массами, разным напряжением на токоприемнике, при различных ограниче-

ниях по скорости и с изменением других параметров.

При формировании правил установлены такие параметры:

$\Delta t_i$  – разница по времени движения на участке « $i$ », для характеристики которого введены значения нечетких величин  $Tr$ : «отставание (сильное, слабое, отсутствует)» и «опережение (отсутствует, слабое, сильное)»;  $\Delta v_i$  – отклонение скорости для участка « $i$ », введена величина  $V_p$  со значениями: «сильное, отсутствует, слабое»;  $\Delta m$  – разница массы поезда опытной траектории и поезда из эталонной поездки, введена величина  $M_p$ .  $S_i$  – участок пути, или номера пикетов, введена величина  $S_p$ , где  $i = 0, 1.. n$  – количество точек опытной траектории для одного перегона.

Нечеткие правила имеют вид, подобный описанному [4]:

ЕСЛИ  $S_i \square$  есть  $S_p$  И  $\Delta m$  есть  $M_p$  И  $\Delta t_i$  есть  $Tr$  И  $\Delta v_i$  есть  $V_p$  ТО  $\Delta U_i$  – количество позиций контроллера относительно текущего положения, которые обеспечивают управление, близкое к оптимальному на некотором  $i$ -том участке пути. При построении модели управления в виде нечетких правил использована работа [4], где каждая нечеткая характеристика аппроксимируется  $N$  нечеткими величинами с треугольными функциями принадлежности. Для нечеткой характеристики заданы минимальное и максимальное значение интервала, в котором находятся её допустимые значения. Аппроксимирующие величины имели «треугольную» степень принадлежности: вершина лежит в центре, ей соответствует степень принадлежности 1, а две другие вершины по сторонам от нее со степенями принадлежности 0. Нечеткий вывод основывается на правиле нечеткой импликации, построенном на правиле Мамдани [4].

© А. П. Иванов, 2010

Таблиця 1 – Фрагмент таблиці характеристик нечеткой величины  $M_p$  (масса поезда)

| №  | Название значения | $\alpha=0$ | $\alpha=1$ | $\alpha=0$ |
|----|-------------------|------------|------------|------------|
| 1  | Л1                | -420       | -320       | -220       |
| 2  | Л2                | -358       | -258       | -158       |
| 3  | Л3                | -300       | -200       | -100       |
| 4  | СрЛ1              | -250       | -150       | -50        |
| 5  | СрЛ2              | -200       | -100       | 0          |
| 6  | Н2                | -150       | -50        | 50         |
| 7  | Н                 | -100       | 0          | 100        |
| 8  | Н1                | -50        | 50         | 150        |
| 9  | СрТ1              | 0          | 100        | 200        |
| 10 | СрТ2              | 50         | 150        | 250        |

Рассмотрим величину  $M_p$  (разница масс поездов по отношению к эталонному поезду). Минимальное значение разницы масс равнялось 320 т, а максимальное 300т. Разбив этот интервал на 13 частей, имеем значения нечеткой величины, показанные в табл. 1. Названия каждого значения даны таким образом: значения около 0 называются «Н» (нет отклонения), максимальные значения «Т» (тяжелее), минимальные значения «Л» (легче); между ними «СрЛ» (средне легче) и «СрТ» (средне тяжелее). Изображение этой величины в виде графиков функции принадлежности показано на рис. 1.

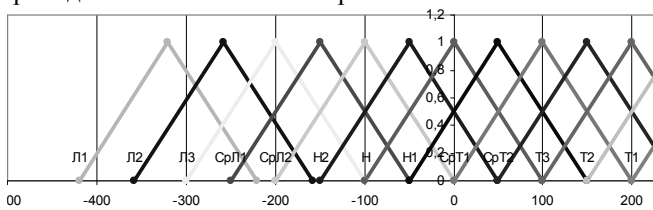


Рисунок 1 – Функции принадлежности при аппроксимации нечеткой величины  $M_p$

Разбиение каждой величины следовало откорректировать так, чтобы добиться наибольшего соответствия значениям, которые подаются на вход нечеткой модели.

На следующем шаге выполнено формирование базы правил. При этом каждое значение из обучающей выборки эталонных режимов тяги сопоставляется со значениями нечеткой характеристики и заменяется той, значения которой имеют максимальную степень принадлежности среди всех заданных в области. Например, для значений отклонений  $\Delta m = 80$ ,  $\Delta t_i = -5$  и  $\Delta v_i = 30$ , а  $\Delta U_i = 3$  получим такое правило:

ЕСЛИ  $\Delta m$  есть «Н» И  $\Delta t$  есть «Опер.сред2» И  $\Delta v$  есть «Быс4» ТО  $\Delta U = 3$ .

Для каждой точки опытной траектории получается несколько правил и возникает проблема их противоречивости: правила с одинаковыми посылками будут подтверждать разные выводы. Проблема решается приписыванием каждому правилу степени истинности. При появлении противоречивых правил проверяется их степень истинности и остается правило с наибольшей

степенью истинности. Такой способ уменьшает общее количество правил в базе и полностью устраняет противоречивость. Степень истинности вычисляем как произведение степени принадлежности всех величин, участвующих в правиле [4]. Построенная база правил имеет вид таблицы, в которой есть столбцы посылок, столбец вывод и степень истинности правила.

Использование базы нечетких правил заключается в определении отображения входных посылок  $f(S_i, \Delta m, \Delta t_i, \Delta v_i) \Rightarrow \Delta U_i$ , где  $\Delta U_i$  –нечеткая величина, для определения количественного значения которой необходимо выполнять операцию дефазификации [4]. В представленных результатах был использован метод дефазификации по правилу среднего центра.

### Использование зависимостей расхода топлива от механической работы для оценки расхода и стоимости электроэнергии

Для экономической оценки проектных решений необходимо определять эксплуатационные расходы на тягу поездов. Необходимые для расчетов показатели определяются с помощью тяговых расчетов. Для выполнения расчета расхода электроэнергии математические модели требуют хранения и предварительного ввода тяговых характеристик локомотивов [1]. Алгоритмы расчета учитывают изменения силы тока, ограничения по тяге и на основании подробной токовой и тяговой характеристики получают значения расхода топлива или электроэнергии на расчетном участке пути.

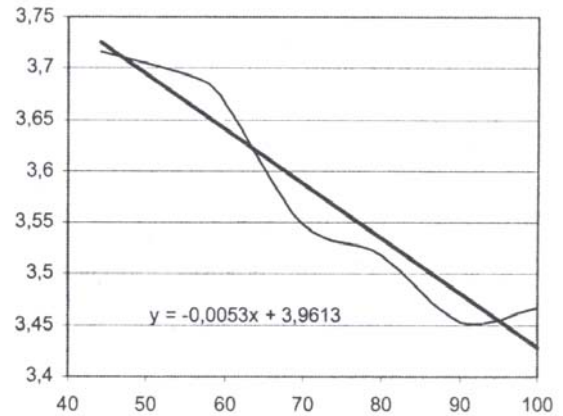


Рисунок 2 – Зависимости коэффициента расхода электроэнергии от скорости для локомотива ВЛ-80

В работе [1] приведены аппроксимирующие зависимости для разных типов локомотивов, которые с достаточной точностью позволяют получать значения расхода топлива по изменению механической работы. При пошаговом выполнении расчета для каждого шага при задействованной тяге необходимо знать среднюю скорость движения, по которой рассчитывается значение коэффициента перехода, а по изменению механической работы определяется прирост расхода электроэнергии.

На рисунок 2 – представлена аппроксимирующая зави-

симось для локомотива ВЛ-80, которая позволила рассчитать расход электроэнергии при движении локомотива по величинам, полученным в результате работы нечеткой модели.

### Примеры расчета режимов ведения поездов

Для оценки расхода электроэнергии и вычисления ее стоимости использованы коэффициенты перехода от механической работы к расходу, зависящие от скорости на каждом шаге движения [1]. Расчеты можно выполнять при отсутствии тяговых характеристик локомотива.

Результаты проведенного моделирования проиллюстрированы примером на рис. 3. Режим движения эталонного поезда был рассчитан согласно традиционным моделям [2, 3] и представляет собой идеализированную оптимальную траекторию. Исходными данными для построения базы правил являлись значения отклонений в

скорости, времени хода, массе поезда от эталонной поездки. Также выбрана контрольная расчетная поездка, информация о которой не попадала в обучающую выборку, режимы этой поездки нужно приблизить к эталонной на основе базы нечетких правил.

На рис. 3 показано, как система, основанная на выводе из базы нечетких правил, производила корректировку управления в контрольной поездке. Пунктирная линия представляет рекомендуемое управление, которое нужно задать машинисту локомотива, чтобы движение поезда приблизилось к показателям заданного эталонного управления. Из графика видно, что рекомендуемое системой управление стремится увеличить номер позиции контроллера, а вместе с ним и скорость, чтобы ускорить движение. Это связано с тем, что в качестве контрольной была взята поездка с опозданием, поэтому повышение скорости приближает ее к оптимальному управлению.

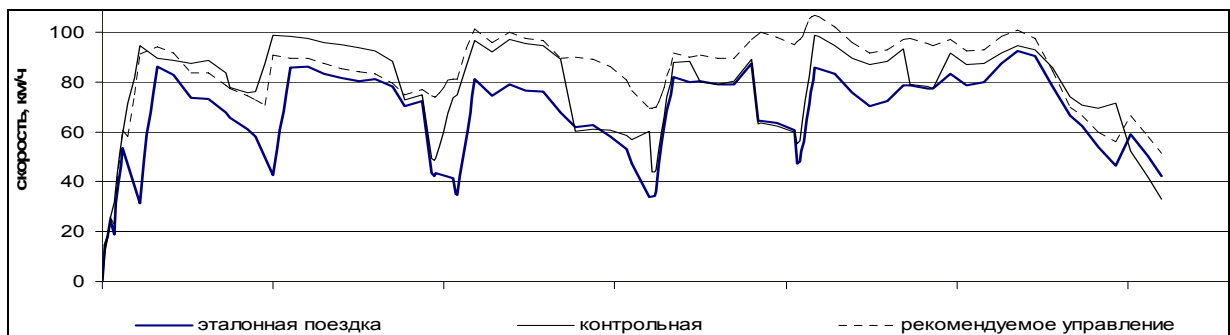


Рисунок 3 – График скорости движения поезда

### Выводы

Разработан уточненный метод расчета режимов тяги поездов с использованием моделей нечеткого управления. Предложены способы оценки расхода электроэнергии, основанные на зависимостях расхода топлива от механической работы.

Проведенные расчеты показали достаточную точность результатов моделирования задачи выбора режимов управления локомотивом. С помощью примененных оценок расхода топлива локомотивом удалось упростить проблему получения показателей расхода электроэнергии без громоздкой обработки тяговых и токовых характеристик локомотива. Оценка расхода электроэнергии выполнялась для локомотива типа ВЛ-80. Полученную базу правил, по сути заменяющую собой модель движения поезда, можно использовать в форме «советчика машиниста» для выбора управления на очередном участке пути с учетом условий неопределенности.

### Литература

1. Корженевич И.П. Оценка расхода топлива или электроэнергии через механическую работу локомотива // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29.
2. Скалозуб В.В., Иванов А.П. Модели управления движением поездов на основе данных опытных поездок. Локомотив информ, – Харьков: «Тезностандарт», май 2007
3. Блохин Е.П., Пишинько А. Н., Скалозуб В. В., Землянов В. Б. Выбор энергетически оптимальных режимов ведения поездов //Залізничний транспорт України. – 2001. –№6. – С.19-22.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. // М. Горячая линия – Телеком, 2004.

### **Резюме**

**Ключові слова:** режим тяги, нечеткая модель движения поезда, метод расчета режимов тяги

Разработан метод расчета режимов вождения поездов с использованием нечеткой модели управления. Для оценки расхода электроэнергии предложено использование аппроксимирующих зависимостей от механической работы

*Поступила 01.07.2010 г.*

Розроблено метод розрахунку режимів ведіння поїздів з використанням нечітких моделей управління. Для оцінки витрат електроенергії використані залежності витрат палива від механічної роботи

A method of calculation of train traction conditions based on the control fuzzy model is developed. For estimation of electric power expense flow usage of approximating dependences on mechanical operation is proposed