

УДК 629.4.066

ЖУКОВИЦКИЙ И.В., д.т.н., профессор,
ЕГОРОВ О.И., старший преподаватель (ДНУЗТ)

Автоматизированная идентификация подвижных единиц и поезда в целом

Вступление и постановка задачи

Идентификация подвижных единиц может включать определение различных параметров, таких как: количество осей; количество подвижных единиц и их оснсть; тип подвижных единиц.

В данной работе рассматривается идентификация типа подвижных единиц с помощью определения межосевых расстояний.

Существующие методы чаще всего реализованы на контрольных участках, включающих в себя три контрольные точки, установленные на рельсе железнодорожного пути на определенном расстоянии друг от друга. Контрольными точками являются точечные путевые датчики, фиксирующие проход колеса подвижной единицы над своим центром. По мере продвижения подвижных единиц по контрольному участку происходит наезд колесных пар на контрольные точки, по сигналам от которых происходит фиксация временных интервалов. По замеренным временным интервалам вычисляются межосевые расстояния подвижной единицы, которые определяют в дальнейшем ее тип. Один из таких методов описан в [1]. Однако таким системам присущ недостаток: не учитывается ускорение движения и погрешность работы датчика, которые влияют на результат идентификации.

В работе [2] приведено математическое описание процесса определения межосевых расстояний с учетом ускорения, а в [3] дан анализ воздействия различных параметров на погрешность определения межосевых расстояний. Цель данной работы заключается в разработке методики, с помощью которой было бы возможно оценить ошибку определения межосевых расстояний подвижных единиц для используемых средств железнодорожной автоматики и конструкции контрольного участка, и, как следствие, определить тип подвижной единицы, что, в свою очередь, даст возможность определить несколько цифр ее номера. По определенным цифрам номеров вагонов возможно

выполнить идентификацию поезда в целом.

Значение допустимой ошибки определения межосевого расстояния

Основываясь на математическом описании процесса определения межосевых расстояний [2], была разработана имитационная модель. Данная модель позволяет получить значение ошибки определения межосевого расстояния в зависимости от следующих исходных данных:

- начальная скорость наезда колесной пары на измерительный участок, а именно на первую контрольную точку;
- ускорение движения на измерительном участке;
- расстояние между датчиками;
- величина измеряемого межосевого расстояния;
- точность работы точечных путевых датчиков (среднее квадратическое отклонение расстояния фиксации колеса подвижной единицы от центра датчика).

Для получения зависимости погрешности идентификации подвижной единицы от ряда факторов был выбран метод планирования эксперимента [4]. При помощи данного метода возможно получение функциональной зависимости величины ошибки определения межосевых расстояний от вышеперечисленных исходных данных. Это, в свою очередь, позволит решить следующие задачи:

вычислить предельно возможные ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц на заданном контрольном участке; определить параметры контрольного участка при известных допустимых значениях ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц.

При использовании метода планирования эксперимента был выбран трехфакторный многоуровневый план ПФЭ $2 \times 3 \times 4$. В качестве воздействий на процесс идентификации были выбраны следующие факторы: расстояние между датчиками (L); величина измеряемого межосевого расстояния (S); точность работы точечных путевых датчиков (σ_d).

Значение скорости и ускорения подвижной единицы были исключены из рассмотрения как наименее значимые по результатам проведенных предварительных исследований. Под откликом в нашем случае следует принимать значение среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния $\sigma_{\Delta S}$.

Варьирование факторов было принято следующим: расстояние между датчиками варьировалось на двух уровнях (диапазон 3-6 м), значения уровней - 3 и 6; точность работы датчика варьировалась на трех уровнях (диапазон 0.001-0.008 м), значения уровней 0.002, 0.004 и 0.006; межосевое расстояние – на четырех уровнях (диапазон 1.5-15 м), значения уровней 2, 5, 8 и 11.

Опорные точки, используемые при построении системы ортогональных полиномов, варьируются с постоянным шагом, поэтому данные полиномы можно получить по рекуррентной формуле:

$$P_{r+1}(X) = P_1(X) \cdot P_r(X) - \frac{r^2 \cdot (N^2 - 1)}{4 \cdot (4 \cdot r^2 - 1)} \cdot P_{r-1}(X), \quad (1)$$

где X - некоторая физическая независимая переменная или фактор;

N – число опытных точек;

r – степень соответствующего полинома, $r = -1, 0, 1, \dots, N-1$.

Для выбранного плана максимальная степень используемых полиномов равна 3. Поэтому полиномы будем вычислять по следующим формулам:

$$P_0(X) = 1$$

$$P_1(X) = \lambda_1 \cdot \frac{X - \bar{X}}{d}$$

$$P_2(X) = \lambda_2 \cdot \left[\left(\frac{X - \bar{X}}{d} \right)^2 - \frac{N^2 - 1}{12} \right]$$

$$P_3(X) = \lambda_3 \cdot \left[\left(\frac{X - \bar{X}}{d} \right)^3 - \left(\frac{X - \bar{X}}{d} \right) \cdot \left(\frac{3 \cdot N^2 - 7}{20} \right) \right], \quad (2)$$

где λ_r – множители, которые зависят от числа уровней варьирования N и степени полинома r ;

$\bar{X}$ – среднее значение фактора;

d – шаг варьирования.

В результате, значения полиномов для каждой из переменных будут следующими (при этом указан переход от физических к кодированным переменным): переменная L варьируется на двух уровнях, ей будет соответствовать один полином первой степени:

$$P_1(X_1) = \lambda_1 \cdot \frac{X_1 - \bar{X}_1}{d_1} = 2 \cdot \frac{L - 4.5}{3} = x_1 = P_1(x_1) \quad \{-1, 1\} \quad (3)$$

переменная σ_d , варьируется на трех уровнях, ей будет соответствовать полиномы первой и второй степени:

$$P_1(X_2) = \lambda_2 \cdot \frac{X_2 - \bar{X}_2}{d_2} = \frac{\sigma_d - 0.004}{0.002} = x_2 = P_1(x_2)$$

$$P_2(X_2) = 3 \cdot x_2^2 - 2 = P_2(x_2) \quad \{-1, 0, 1\} \quad (4)$$

переменная S , варьируется на четырех уровнях, ей будет соответствовать полиномы первой, второй и третий степени:

$$P_1(X_3) = \lambda_3 \cdot \frac{X_3 - \bar{X}_3}{d_3} = 2 \cdot \frac{S - 6.5}{3} = x_3 = P_1(x_3)$$

$$P_2(X_3) = \frac{1}{4} \cdot x_3^2 - \frac{5}{4} = P_2(x_3)$$

$$P_3(X_3) = \frac{5}{12} \cdot x_3^3 - \frac{41}{12} \cdot x_3 = P_3(x_3) \quad \{-3, -1, 1, 3\}. \quad (5)$$

В результате проведенных экспериментов и обработки полученных данных стало возможным определить аналитическую зависимость:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta S}(S, L, \sigma_d) = & -0.0593 \cdot L \cdot \sigma_d \cdot S^2 - 0.0054 - 0.0000132 \cdot L \cdot S^3 + \\ & 0.000277 \cdot L \cdot S^2 - 0.6181 \cdot L \cdot \sigma_d + 0.00004 \cdot S^3 + 0.1344 \cdot \sigma_d \cdot S^2 - \\ & 1.5811 \cdot \sigma_d \cdot S + 0.0111 \cdot \sigma_d \cdot S^3 + 0.4659 \cdot L \cdot \sigma_d \cdot S - 0.0015 \cdot L \cdot S + \\ & 0.00548 \cdot S + 0.00151 \cdot L - 0.001 \cdot S^2 + 3.4956 \cdot \sigma_d \end{aligned} \quad (6)$$

При этом модель полностью отвечает критериям однородности и адекватности.

Анализ возможных и допустимых ошибок определения межосевых расстояний

После определения возможных значений ошибки определения межосевых расстояний можно сделать вывод о качестве данной операции и, как результат, выполнить определение типа подвижной единицы. Разумеется, насколько бы не был точен метод определения межосевого расстояния, погрешность всегда будет присутствовать. На значение погрешности влияет множество факторов, например, таких как погрешность работы датчика, расстояние между датчиками, износ колесных пар, влияние колесных пар, порывы ветра и т.д. Задача состоит в сравнении допустимых и возможных значений ошибок.

Данные о возможных значениях ошибок характеризуются величинами среднего квадратического отклонения с нулевым математическим ожиданием, вычисленными по формуле 6. Допустимые значения ошибок представлены в виде разницы межосевых расстояний двух подвижных единиц разного типа, одинаковой осности и с наиболее близкими значениями между внутренними осями. При этом для качественного определения типа подвижной единицы необходимо, чтобы возможное значение ошибки не превышало допустимое.

Основываясь на анализе межосевых расстояний подвижных единиц, используемых на железных дорогах нашей страны, можно сделать вывод о том, что

наиболее значимым параметром подвижных единиц является расстояние между внутренними осями $L_{\text{вн}}$. Это расстояние реже повторяется для всех подвижных единиц разных типов, в отличие от расстояния между осями в тележке $L_{\text{ос}}$ и расстояния от головки автоцепки до крайней оси. $L_{\text{сц}}$. Поэтому при идентификации подвижной единицы необходимо как можно точнее определить расстояние между внутренними осями подвижной единицы и на основании его сделать вывод о типе подвижной единицы. Однако в ряде случаев $L_{\text{вн}}$ подвижных единиц разных типов имеют одинаковые значения либо их разность очень мала (20-30 мм).

На рис. 1 представлен график допустимых и возможных значений ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц. Сплошной линией отображаются значения средних квадратических отклонений допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний. Пунктирными линиями отображаются средние квадратические отклонения возможных значений ошибок. Верхняя пунктирная линия соответствует датчику со средним квадратическим отклонением равным 3 мм, а верхняя – равным 7 мм, длина контрольного участка равна 12м.

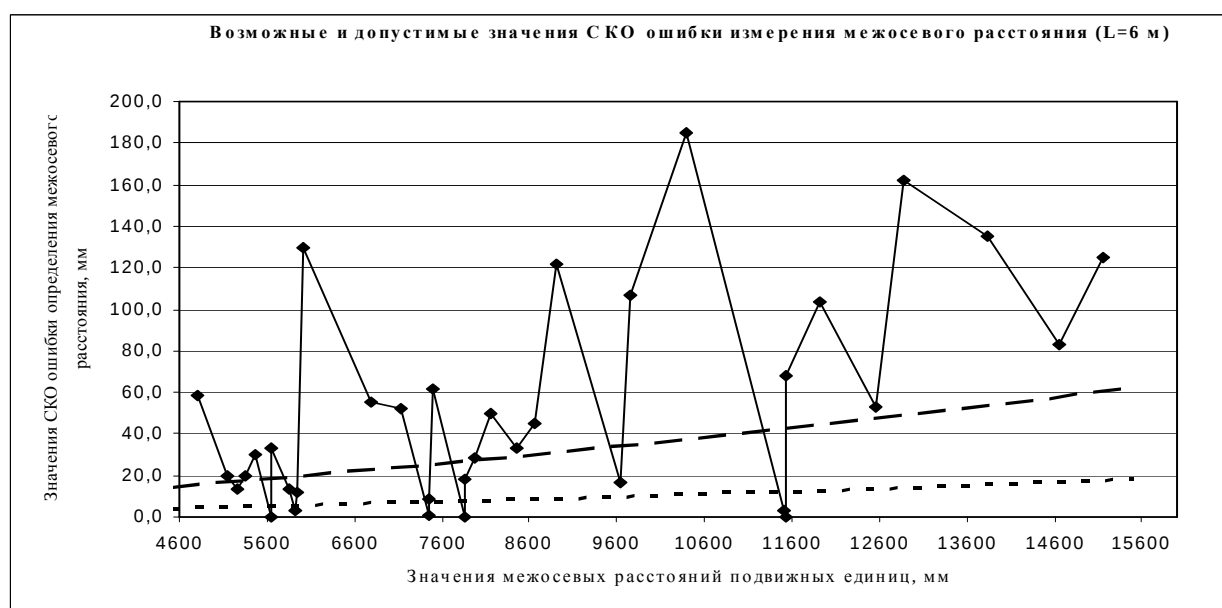


Рисунок 1 – График зависимости возможных и допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний для контрольного участка 12м

Таким образом, можно сделать следующее заключение: при длине контрольного участка 12 м достаточно высокое качество идентификации может быть получено при среднем квадратическом отклонении зоны срабатывания датчика не более 3мм. В ряде случаев это не является приемлемым как для длины контрольного участка, так и для возможных характеристик датчика. Поэтому необходимо разработать соответствующую методику, которая даст положительный результат при критических значениях исходных данных.

Определение типа подвижных единиц по межосевому расстоянию

Как отмечалось выше, определение типа подвижной единицы мы будем производить по определенному расстоянию между внутренними осями подвижных

единиц. Но в ряде случаев разница между этими расстояниями очень мала либо вообще равна 0. Поэтому при идентификации подвижных единиц возможен вариант с разделением всех подвижных единиц на группы. При делении на группы учитываются точность определения межосевых расстояний. Так, при точности определения межосевых расстояний равной 50 мм получаются одна группа из трех подвижных единиц, три из двух, а все остальные группы содержат по одной подвижной единице. То есть, в этом случае происходит идентификация подвижных единиц с точностью до определения группы. Количество групп и их состав может меняться в зависимости от точности идентификации.

В результате прохождения подвижной единицы контрольного участка вычисляются все ее межосевые расстояния. Для определения типа подвижной единицы или группы, к которой она относится, необходимо

решить следующие задачи:

определить осьность подвижной единицы;
определить, какое из замеренных расстояний является расстоянием между внутренними осями;
по замеренному расстоянию между внутренними осями подвижной единицы определить ее тип.

Для решения первых двух задач можно воспользоваться методом определения количества подвижных единиц и их осьности с использованием одной контрольной точки [5].

Для определения типа подвижной единицы ис-

пользуем вероятностный подход. Используем функциональную зависимость (6) ошибки определения межосевого расстояния от структуры участка, параметров технических средств и объекта идентификации. Используя данную формулу и применив правило 3-х сигм, определяем доверительный интервал возможных значений измеренной величины. Далее определяем, какие из подвижных единиц попадают в определенный интервал. Для этого необходимо использовать базу данных о подвижных единицах, содержащую их межосевые расстояния.

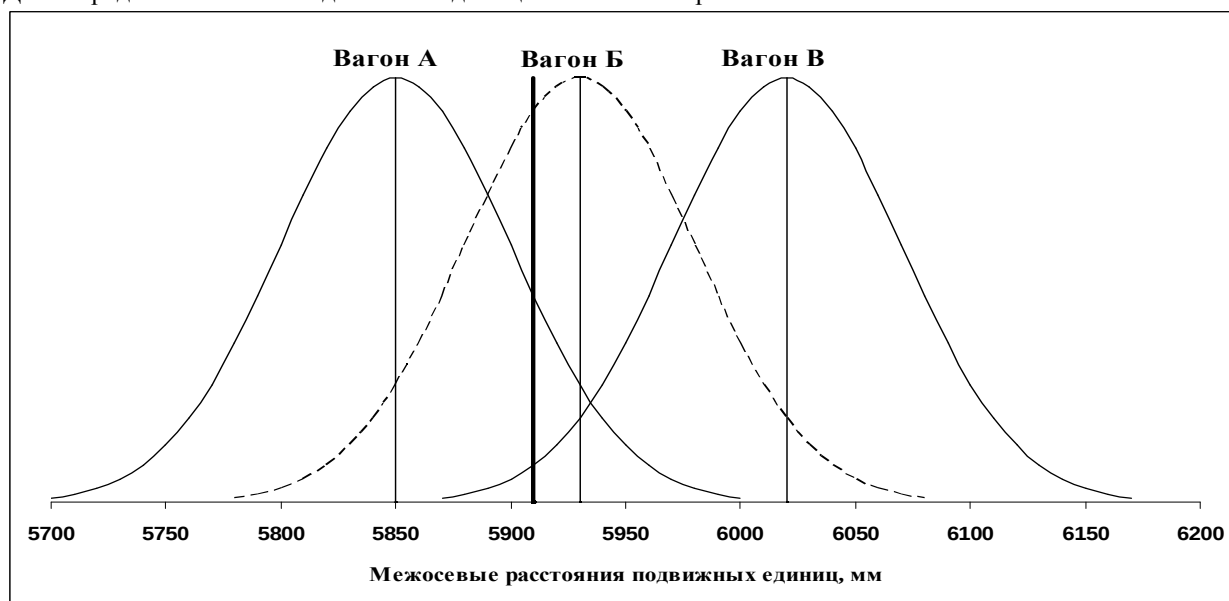


Рисунок 2 – Вероятностный подход идентификации подвижной единицы

На рис. 2 представлен пример определения группы подвижных единиц, удовлетворяющих условиям идентификации.

По результатам определения межосевого расстояния между внутренними осями было получено значение 5910 мм. Ни одному из вагонов в базе данных это значение не соответствует. Согласно правилу 3-х сигм определяем интервал допустимых значений, где значение сигмы вычислялось по (6). В данный интервал попадают 3 типа вагонов: вагон А, вагон Б, вагон В с расстояниями между внутренними осями 5850, 5930 и 6020 мм соответственно. Видно, что наибольшую вероятность правильной идентификации имеет вагон Б, наименьшую вагон А.

Результатом идентификации, с использованием данного метода, является точное определение типа подвижной единицы или ограниченной группы, к которой она относится.

Вероятностный подход идентификации поезда с

использованием ТГНЛ

Задача идентификации поезда актуальна во многих информационных системах, отображающих состояния технологических процессов на железной дороге. Одной из них является задача определения поезда прошедшего контрольный участок при некотором наборе возможных вариантов поездов. На практике – имеется несколько поездов, которые находятся на подходе к сортировочной станции, необходимо определить какой именно из них прошел контрольный участок. Информация о каждом поезде представлена в виде телеграммы натурального листа поезда (ТГНЛ), с указанием всех вагонов входящих в его состав и их номеров. На основании набора ТГНЛ поездов и идентифицированных параметров поезда необходимо определить соответствие идентифицируемого поезда и его ТГНЛ. Решение данной задачи выполнено на основании исследованной погрешности идентификации подвижных единиц и разработанных методов идентификации.

Решение данной задачи возможно несколькими способами, а именно:

по подсчитанному количеству осей в поезде;
по определенному количеству вагонов и их осности;
по рассчитанным межосевым расстояниям, с помощью которых определяется тип вагонов.

Идентификация по последнему способу имеет вероятностный характер, который зависит от точности расчета межосевых расстояний и правильности определения типа вагонов. Данный способ является наиболее информативным, позволяющий определить до 4 цифр номера каждого вагона в поезде. Поэтому именно алгоритм этого способа идентификации и был выбран в качестве главного.

Общий алгоритм идентификации поезда в целом включает по вагонную идентификацию. На основании определенных характеристик вагона формируется набор его возможных номеров. Далее выполняется сравнение данных ТГНЛ каждого из поездов с определенным набором его возможных номеров. На основании проведенного сравнения определяется искомый поезд.

Описанный метод идентификации поезда приемлем только в случае, когда состав вагонов поезда полностью соответствует данным ТГНЛ. В некоторых случаях данные ТГНЛ не в полной мере соответствуют реальному составу поезда. Это требует корректировки алгоритма идентификации. При этом процесс идентификации необходимо рассматривать как выявление максимально правдоподобного решения из конечного числа возможных. Для этого в алгоритм идентификации поезда вводится коэффициент качества идентификации, согласно которому определяется количество возможных несоответствий состава поезда и данных ТГНЛ.

Окончательный алгоритм идентификации состоит из следующих операций:

сравнение данных ТГНЛ поездов и данных по вагонной идентификации поезда;
подсчет количества совпадений («попаданий») данных ТГНЛ поездов и данных по вагонной идентификации поезда;

процесс подсчета совпадений выполняется до окончания списка вагонов ТГНЛ или до момента, когда количество несовпадений («промахов») превысит значение коэффициента качества идентификации.

Результатом идентификации будет выбран поезд, имеющий максимальное количество «попаданий».

Разработанный метод идентификации поездов с использованием ТГНЛ показал высокую надежность и правильность работы. Данный метод не критичен к следующим факторам:

высокой погрешности работы датчика (проводились эксперименты с погрешностью датчика до 80мм);
сбою одного из трех датчиков;
количеству идентифицируемых поездов в группе;

скорости и ускорению движения поезда;

Выводы

Повышена эффективность определения типа подвижных единиц за счет определения функции погрешности определения межосевых расстояний от расстояния между датчиками, величины измеряемого межосевого расстояния, точности работы точечных путевых датчиков $\sigma_{\Delta S} = f(S, L, \sigma_d)$.

Разработан метод идентификации поездов на подходе к станции, позволяющий автоматизировать ввод информации о поездах с использованием ТГНЛ, прибывающих на сортировочную станцию, что дает возможность оперативному получению информации, повысит качество работы рабочего персонала при списывании номеров вагонов поезда.

Литература

1. А.с. №1050947 СССР, кл. В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа движущихся вагонов / Ю.В. Соболев, О.С. Попов, Г.И. Загарий, В.П. Унтийлов, А.И. Синеца, П.М. Бобров, В.И. Адонин; 1983.
2. Егоров О.И. Имитационная модель трехточечного метода определения межосевых расстояний подвижной единицы / О.И. Егоров // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – Том 1. – С. 64-68.
3. Егоров О.И. Исследование погрешности определения типа подвижных единиц на железнодорожном транспорте / О.И. Егоров // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. – 2003. – Вип. 4. – С. 36-41.
4. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматизации методом планирования эксперимента / А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Коваль. – Х.: «Вища школа», 1986. – 240с.
5. Егоров О.И. Метод определения осности и количества подвижных единиц в отцепе / О.И. Егоров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – №4. – С. 6-8.

Резюме

В статье рассматриваются вопросы идентификации подвижных единиц и поезда в целом, прибывающих на сортировочную станцию, с использованием вероятностного подхода

У статті розглядаються питання ідентифікації рухомих одиниць і поїзда в цілому, що прибувають на сортувальну станцію, з використанням імовірнісного підходу

The paper deals with the identification of mobile units and the whole train arriving at the sorting station, using a probabilistic approach

Ключевые слова: подвижные единицы, сортировочная станция, идентификация подвижных единиц

Рецензент д.т.н., профессор Бабаев М.М. (УкрГАЗТ)

Поступила 03.09.2012 г.