

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 629.4.066:656.259.13

О. И. ЕГОРОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта egoroffoleg@ukr.net, ORCID 0000-0002-8260-9463

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ

Цель. Идентификация подвижного состава на железных дорогах, как поездов в целом, так и вагонов в отдельности, занимает неотъемлемую часть многих систем автоматизации. Различные информационно-управляющие системы на сортировочных станциях, выполняя технологические операции, нуждаются в оперативной информации об объектах управления. Повышение точности определения различных параметров, характеризующих подвижной состав, приводит к непосредственному улучшению качества управления вагонопотоками. Цель работы заключается в разработке способа оценки ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц на контрольном участке с использованием точечных путевых датчиков для проведения последующей идентификации вагонов и локомотивов. **Методика.** Для достижения поставленной цели были использованы имитационное моделирование и метод планирования эксперимента. Была разработана имитационная модель, позволяющая определять временные интервалы между наездом колесных пар подвижных единиц на точечные путевые датчики, расположенные на контрольном участке с варьируемыми характеристиками устройств идентификации. Полученные с использованием имитационной модели значения временных интервалов были применены в методе планирования эксперимента для достижения конечной цели. **Результаты.** Вычисленные аналитически значения погрешностей определения межосевых расстояний не имеют значимых отличий от значений, полученных с использованием имитационной модели. Это в полной мере позволяет использовать полученную функциональную зависимость для оценки возможных погрешностей идентификации подвижного состава. Результаты данной работы могут быть использованы как для идентификации отдельных подвижных единиц, так и для всего поезда в целом. **Научная новизна.** Используя предварительно проведенные исследования факторов, влияющих на погрешность определения межосевых расстояний подвижных единиц, и разработанную имитационную модель для вычисления межосевых расстояний, была выведена функциональная зависимость погрешности определения межосевых расстояний от ошибки фиксации колеса точечным путевым датчиком, расстояния между датчиками и измеряемого расстояния. **Практическая значимость.** Данная функциональная зависимость позволяет решить следующие задачи: вычисление предельно возможных ошибок определения межосевых расстояний подвижных единиц при известных параметрах контрольного участка и вычисление параметров контрольного участка, при известных возможно допустимых ошибках определения межосевых расстояний подвижных единиц.

Ключевые слова: метод планирования эксперимента; идентификация подвижного состава; контрольный участок; межосевые расстояния; точечный путевой датчик

Введение

Идентификация подвижного состава на железных дорогах как поездов в целом, так и вагонов в отдельности, занимает неотъемлемую часть многих систем автоматизации. Различные информационно-управляющие системы на сортировочных станциях, выполняя технологические операции, нуждаются в оперативной информации об объектах управления [8–11,16,17]. Повышение точности определения различных параметров, характеризующих подвижной состав, приводит к непосредственному улучшению качества управления вагонопотоками. При этом повышение достоверности информации, автоматический сбор и обработка сигналов повышают пропускную способность станции за счет выигрыша во времени при выполнении определенных технологических операций, которые поддаются автоматизации. А это в свою очередь отражается на уменьшении себестоимости грузоперевозок, увеличении рациональности использования вагонов, освобождении людских ресурсов, повышении безопасности движения на железных дорогах и т.д.

К ряду задач таких систем относится определение следующих статических характеристик подвижного состава, прошедшего контрольный участок: количество осей, количество и осности подвижных единиц, тип подвижных единиц (имеется в виду платформа, крытый вагон и др.) и т.д. При этом, каждая из систем представлена в виде реализованного метода идентификации подвижных единиц, состоящего из алгоритмов сбора, обработки и анализа данных, а также конструктивных особенностей измерительного участка и используемых средств железнодорожной автоматики [1–3, 7, 14].

В работе рассматривается метод определения межосевых расстояний подвижных единиц, точнее производится анализ возможной ошибки определения данного параметра идентификации. Определение межосевых расстояний подвижной единицы наиболее часто используется для последующего определения ее типа, что в ряде систем позволит определить несколько цифр ее номенклатурного номера. Одна из подобных систем описана в работе [7].

Цель

Целью данной работы является разработка способа оценки ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц на контрольном участке с использованием точечных путевых датчиков для проведения последующей идентификации вагонов и локомотивов.

Методика

Для достижения поставленной цели были использованы имитационное моделирование и метод планирования эксперимента.

Имитационная модель определения межосевых расстояний подвижных единиц. Определение межосевых расстояний подвижных единиц применяется в различных системах автоматизированного управления на сортировочных станциях и прилегающих к ним железнодорожных путях. Наиболее актуально это в задачах определения типа подвижных единиц, базы вагона или отцепы, системах счета осей и т.д. При этом применяются различные методы идентификации, использующие специальные контрольные участки, включающие в себя точечные путевые датчики, рельсовые цепи, фотоэлементы и другое напольное оборудование, применяемое на железнодорожном транспорте. В данной работе рассматривается метод определения типа подвижных единиц по вычисленным межосевым расстояниям. В данном методе используется контрольный участок, который состоит из трех контрольных точек (точечных путевых датчиков). Погрешности определения межосевых расстояний, возникающие при использовании таких методов, связаны с несовпадением момента срабатывания путевого точечного датчика с моментом прохождения колеса вагона над геометрическим центром датчика. Такое несовпадение в работе датчика принято как случайная величина, распределенная по нормальному закону (рис. 1). Принятые на рисунке 1 обозначения величин: δ – ошибка датчика, ΔL – зона действия датчика, S – межосевое расстояние подвижной единицы, L – расстояние между контрольными точками КТ1, КТ2, КТ3, которые включают в себя один или два спаренных точечных путевых датчика.

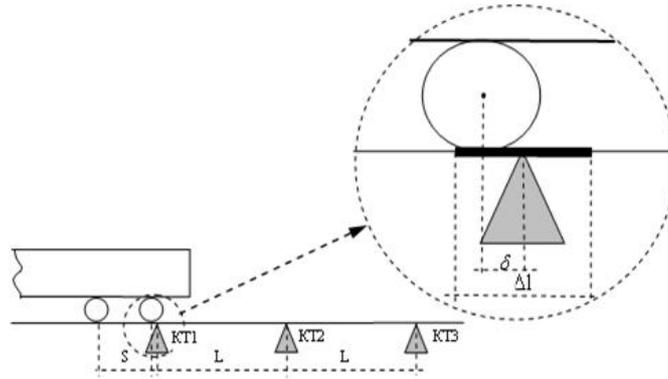


Рис. 1. Структура участка идентификации подвижного участка, реализованного в имитационной модели

Для изучения влияния различных факторов, влияющих на процесс идентификации, было выбрано имитационное моделирование. Описание имитационной модели представлено в работе [6]. Было высказано предположение, что на ошибку идентификации наиболее существенно влияют следующие факторы:

- начальная скорость наезда колесной пары на измерительный участок;
- ускорение движения на измерительном участке;
- расстояние между датчиками;
- величина измеряемого межосевого расстояния;
- точность работы точечного путевого датчика (среднеквадратическое отклонение расстояния фиксации колеса подвижной единицы от центра датчика, распределенное по нормальному закону распределения [15]).

Проведенные исследования показали, что скорость и ускорение движения подвижных единиц существенного влияния на ошибку определения межосевых расстояний, по сравнению с другими факторами, не оказывают.

Применение метода планирования эксперимента. Полученные с использованием имитационной модели результаты дают возможность количественно и качественно проанализировать возможные погрешности идентификации подвижных единиц, а также их зависимость от ряда факторов, влияющих на процесс идентификации. Однако данное исследование не позволяет в конечном итоге однозначно вычислить предположительную ошибку идентификации. Для полного завершения поставленной задачи был выбран метод планирования эксперимента.

При помощи данного метода необходимо определить формулу, используя которую возможно однозначно определить ожидаемую ошибку для выбранного контрольного участка, средств железнодорожной автоматики и идентифицируемого подвижного состава.

Все последующие вычисления в этой главе были проведены согласно описанию метода планирования эксперимента, представленного в работах [5, 13].

Объектом исследования был выбран контрольный участок, на котором непосредственно происходило определение межосевых расстояний движущихся подвижных единиц. В качестве воздействий на процесс идентификации были выбраны факторы, влияющие на этот процесс и описанные выше, а именно:

- начальная скорость наезда колесной пары на измерительный участок, а именно на первую контрольную точку КТ1 (V_n);
- ускорение движения на измерительном участке (a);
- расстояние между датчиками (L);
- величина измеряемого межосевого расстояния (S);
- точность работы точечных путевых датчиков (σ_d).

Под откликом в нашем случае следует принимать значение среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния $\sigma_{\Delta S}$.

В результате выбранный объект исследования описывается пятью воздействиями и одним откликом, изучение которого и является нашей задачей. Полученная модель эксперимента со-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ответствует многофакторному эксперименту с одним откликом.

В первоначальный эксперимент входило пять факторов. При этом использовался план ПФЭ 2^5 (пятифакторный двухуровневый полнофакторный эксперимент). В качестве уровней принимались следующие значения факторов:

- начальная скорость V_n – 3 и 15 м/с;
- ускорение a – 0,1 и 0,5 м/с²;
- расстояние между датчиками L – 3 и 6 м;
- величина измеряемого межосевого расстояния S – 2 и 14 м;
- точность работы точечных путевых датчиков σ_d – 0,002 и 0,01 м.

В результате обработки проведенных экспериментов были получены следующие результаты:

- при вышеописанных уровнях факторов моделирования модель не отвечала требованиям однородности и адекватности;
- достигнуть однородности и адекватности модели возможно только при уменьшении интервалов варьирования уровней факторов, что в свою очередь является неприемлемым для описания данного процесса идентификации;
- как и при анализе результатов моделирования, так и при обработке результатов применения метода планирования эксперимента, значения скорости и ускорения не являлись значимыми по сравнению с другими факторами.

Проанализировав результаты предыдущего эксперимента, было принято решение о проведении трехфакторного многоуровневого эксперимента. В качестве факторов были выбраны следующие независимые переменные:

- расстояние между датчиками L ;
- величина измеряемого межосевого расстояния S ;
- точность работы точечных путевых датчиков σ_d .

Варьирование факторов было принято следующим: расстояние между датчиками варьировалось на двух уровнях (диапазон 3–6 м), значения уровней – 3 и 6; точность работы датчика 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. Значения уровней фактора межосевых расстояний были приняты согласно проведенному анализу вагонов и локомотивов колеи 1 520 мм [4, 12].

Целью исследования является, как это отмечалось выше, получение аналитической зависимости среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния $\sigma_{\Delta S}$ как функции трех переменных – L , S и σ_d . Предварительный анализ показал, что данную зависимость нельзя описать ни линейной, ни квадратической зависимостью. Для определения искомой зависимости был принят аппарат ортогональных полиномов и планирования многоуровневых экспериментов.

Опорные точки, используемые при построении системы ортогональных полиномов, будем варьировать с постоянным шагом, поэтому полиномы можно получить по рекуррентной формуле [5]:

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

где X – некоторая физическая независимая переменная или фактор; N – число опытных точек; r – степень соответствующего полинома, $r = -1, 0, 1, \dots, N-1$.

В нашем случае максимальная степень используемых полиномов равна 3. Поэтому полиномы будем вычислять по следующим формулам:

$$P_0(X) = 1,$$

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

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

$$P_3(X) = \lambda_3 \times$$

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

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

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

\bar{X} – среднее значение фактора; d – шаг варьирования.

Для более компактной формы записи ортогональных полиномов необходимо осуществить переход от физических к кодированным переменным по формулам:

$$x_u = \frac{X_u - \bar{X}}{d} \text{ при } N - \text{нечетное число,}$$

$$x_u = \frac{X_u - \bar{X}}{d/2} \text{ при } N - \text{четное число.}$$

В результате значения полиномов для каждой из переменных будут следующими:

– переменная L варьируется на двух уровнях, ей будет соответствовать один полином первой степени:

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

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

$$\begin{aligned} P_1(X_2) &= \lambda_2 \cdot \frac{X_2 - \bar{X}_2}{d_2} = \\ &= \frac{\sigma_D - 0.004}{0.002} = x_2 = P_1(x_2), \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

Кроме перечисленных полиномов, в модель будут входить парные и тройные произведения полиномов разных переменных. При этом для

простоты обозначения полиномов применим символику, полученную следующим образом: $Pr(x_i) = Pr_i$. План эксперимента включает в себя 24 опорные точки, а следовательно и такое же количество коэффициентов. Номера опытных точек u , план и результаты полученных откликов были представлены в виде таблицы. Всего для каждого из наборов проводилось 5 параллельных опытов.

Далее были вычислены построчные средние значения и дисперсия по формулам:

$$\bar{y}_u = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ui}}{n},$$

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ui}^2 - n \cdot \bar{y}_u^2}{n-1},$$

где n – количество параллельных опытов; y_{ui} – значение i -го отклика для u -го набора.

Для проверки однородности построчных дисперсий был выбран критерий Кохрена. Согласно этого критерия, для уровня значимости $\alpha = 0,05$, из распределения Кохрена был получен коэффициент $G_{кр} = 0,192$ (для $n=5$ и $N=24$). Критерий Кохрена для проводимых экспериментов был получен по формуле

$$G_p = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}.$$

Значение G_p получилось равным 0,165, что меньше значения $G_{кр}$, а это в свою очередь говорит об однородности оценок построчных дисперсий.

Значения b -коэффициентов были вычислены по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N P_i(x_u) \cdot \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N P_i^2(x_u)}.$$

Полученные значения b -коэффициентов были занесены в результирующую таблицу расчетов. В полученной таблице учитывались столб-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

цы только тех членов модели, b -коэффициенты которых в дальнейшем оказались статистически значимыми. Статистическая значимость b -коэффициентов проверялась по формуле

$$|b_i| \leq b_{кр} = S_{b_i} \cdot t_{табл} = \sqrt{\frac{1}{N \cdot (n-1)} \sum_{u=1}^N \left(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - n \cdot \bar{y}_u^2 \right)} \cdot t_{табл}$$

Значение коэффициента $t_{табл} = 2,06$ было взято из таблиц распределения Стьюдента по уровню значимости $\alpha = 0,05$ числу степеней свободы равном 24.

Следующий шаг заключается в проверке адекватности модели, которая была выполнена по F-критерию. Согласно данному критерию критическое значение $F_{кр} = 1,94$, взятое из таблиц F-распределения для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и чисел степеней свободы $f_{ад} = 8$ и $f_y = 96$, должно быть меньше расчетного $F_{расч}$, вычисляемого по формуле

$$F_{расч} = \frac{n \cdot \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \bar{y}_u)^2}{S_y^2}$$

где \bar{y}_u – значение отклика в точке; l – количество значимых b -коэффициентов.

Значение $F_{расч}$ получилось равным 0,49, что меньше $F_{кр}$, а это говорит об адекватности модели.

В результате проведенных экспериментов и обработки полученных данных стало возможным написать адекватное уравнение модели

$$\begin{aligned} \bar{y}_u = & 0,00966 - 0,00425 \cdot P11 + 0,00496 \cdot P12 + \\ & + 0,00227 \cdot P13 + 0,00265 \cdot P23 + 0,00024 \cdot P33 - \\ & - 0,00228 \cdot P11 \cdot P12 - 0,00227 \cdot P11 \cdot P13 - \\ & - 0,00293 \cdot P11 \cdot P23 - 0,00016 \cdot P11 \cdot P33 + \\ & + 0,00123 \cdot P12 \cdot P13 + 0,00152 \cdot P12 \cdot P23 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + 0,00018 \cdot P12 \cdot P33 - 0,00124 \cdot P11 \cdot P12 \cdot P13 - \\ & - 0,0016 \cdot P11 \cdot P12 \cdot P23 - \\ & - 0,00013 \cdot P11 \cdot P12 \cdot P13. \end{aligned}$$

Для получения искомой аналитической зависимости необходимо перейти от кодированных переменных к их физическим обозначениям. Окончательно искомое уравнение примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta S}(S, L, \sigma_D) = & -0,0593 \cdot L \cdot S^2 \cdot \sigma_D - 0,0054 - \\ & - 0,0000132 \cdot L \cdot S^3 + \\ & + 0,000277 \cdot L \cdot S^2 - 0,6181 \cdot L \cdot \sigma_D + \\ & + 0,00004 \cdot S^3 + 0,1344 \cdot S^2 \cdot \sigma_D - 1,5811 \cdot \sigma_D \cdot S + \\ & + 0,0111 \cdot S^3 \cdot \sigma_D + 0,4659 \cdot \sigma_D \times \\ & \times L \cdot S - 0,0015 \cdot L \cdot S + \\ & + 0,00548 \cdot S + 0,00151 \times \\ & \times L - 0,001 \cdot S^2 + 3,4956 \cdot \sigma_D. \end{aligned}$$

Результаты

В результате проведенных исследований и расчетов стало возможным вычисленные аналитически допустимого значения погрешностей определения межосевых расстояний подвижных единиц в зависимости от параметров контрольного участка, средств железнодорожной автоматики и объекта идентификации.

Научная новизна и практическая значимость

В работе усовершенствован механизм оценки возможной ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц, что позволяет повысить достоверность работы методов идентификации, использующих контрольный участок с установленными точечными путевыми датчиками. Используя предварительно проведенные исследования факторов, влияющих на погрешность определения межосевых расстояний подвижных единиц и разработанную имитационную модель для вычисления межосевых расстояний, была выведена функциональная зависимость погрешности определения межосевых

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

севых расстояний от ошибки фиксации колеса точечным путевым датчиком, расстояния между датчиками и измеряемого расстояния.

Данная функциональная зависимость позволяет решить следующие задачи: вычисление предельно возможных ошибок определения межосевых расстояний подвижных единиц при известных параметрах контрольного участка и вычисление параметров контрольного участка при известных возможно допустимых ошибках определения межосевых расстояний подвижных единиц.

Выводы

Обработка результатов имитационного моделирования процесса определения межосевых расстояний подвижных единиц на измерительном участке позволяет сделать следующие выводы:

- значения скорости и ускорения движения подвижных единиц не имеют существенно значения для процесса идентификации по сравнению с другими факторами;
- увеличение погрешности работы датчика ведет к увеличению погрешности определения межосевых расстояний;
- с увеличением измеряемого межосевого расстояния увеличивается и значение ошибки идентификации;
- увеличение длины измерительного участка приводит к уменьшению ошибки идентификации.

Применив метод планирования эксперимента, была получена аналитическая зависимость погрешности определения межосевых расстояний как функция от следующих величин:

- расстояния между датчиками L ;
- величины измеряемых межосевых расстояний S ;
- точности работы точечных путевых датчиков σ_d .

Данные рекомендации актуальны для построения различных информационных систем, использующихся в качестве исходных данных характеристики подвижных единиц, полученные путем измерения на контрольных участках с применением точечных путевых датчиков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. с. № 1799774, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для вычисления данных для идентификации поездов в движении / В. А. Захаров, С. П. Колчук – № 4937555/11 ; заявл. 06.02.91 ; опубл. 07.03.93, Бюл. № 9. – 6 с.
2. А. с. № 1168458 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для определения длины вагонов / Ю. Г. Боровков, А. М. Дудниченко, А. Н. Перов, И. Н. Перов (СССР). – № 3678439/27–11 ; заявл. 26.12.83 ; опубл. 23.07.85, Бюл. № 27. – 4 с.
3. А. с. № 1682228, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для определения длины отцепов на сортировочной горке / О. С. Попов, А. М. Долаберидзе, В. П. Унтилов, В. А. Воронько, В. Н. Котелевец, В. И. Яценко. – № 4428794/11 ; заявл. 05.04.88 ; опубл. 07.10.91, Бюл. № 37. – 5 с.
4. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР : альбом. – Москва : Транспорт, 1989. – 173 с.
5. Егоров, А. Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А. Е. Егоров, Г. Н. Азаров, А. В. Коваль. – Харків : Вища шк., 1986. – 240 с.
6. Егоров, О. И. Исследование погрешности определения типа подвижных единиц на железнодорожном транспорте / О. И. Егоров // 36. наук. пр. / Київ. ун-т економіки і технологій трансп. – Київ, 2003. – Вип. 4. – С. 36–41.
7. Жуковицкий, И. В. Автоматизированная идентификация подвижных единиц и поезда в целом / И. В. Жуковицкий, О. И. Егоров // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2012. – № 6. – С. 77–82.
8. Информационно-коммуникационные технологии в управлении : монография / А. А. Косолапов, А. В. Кувшинов, А. П. Нырков [и др.]. – Одесса : Куприенко СВ, 2015. – 245 с.
9. Ключевая роль транспорта в современном мире : монография / А. А. Косолапов, А. Л. Блохин, К. Ф. Боряк [и др.]. – Одесса : Куприенко СВ, 2013. – 163 с.
10. Марценюк, Л. В. Совершенствование процесса грузовых перевозок и механизма управления ими / Л. В. Марценюк, А. В. Вишнякова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 41–48. doi: 10.15802/stp2014/23743.
11. Музыкин, М. И. Влияние «окон» на пропускную способность железнодорожного направления / М. И. Музыкин, Г. И. Нестеренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 24–33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
12. Раков, В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985) / В. А. Раков. – Москва : Транспорт, 1990. – 238 с.
 13. Харнтман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Харнтман, Э. Лецкий, В. Шефер. – Москва : Мир, 1977. – 552 с.
 14. Шамашов, М. А. Программно-аппаратный измеритель скорости и межосевых расстояний, счетчик вагонов и осей / М. А. Шамашов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1994. – № 8. – С. 9–10.
 15. Штанке, А. Э. Исследование и выбор путевых датчиков в системе диспетчерского контроля / А. Э. Штанке, И. Г. Красовская // Совершенствование устройств ж.-д. автоматики и телемеханики : межвуз. сб. науч. ст. – Свердловск, 1973. – Вып. 34. – С. 59–66.
 16. Research on automatic adjustment of the phase plan in railway marshalling / L. Ma, J. Guo, G. W. Chen. T wq" T0 [et al.] // J. of Transportation Engineering and Information. – 2013. – Vol. 11, № 3. – P. 18–28.
 17. Wagon-flow allocation optimization of stage plan at marshaling station in consideration of different size limitations of departure trains / H.-D. Li, S.-W. He, Y. Jing, S. Wang // J. of the China Railway Society. – 2012. – Vol. 34, № 7. – P. 10–17.

О. Й. ЕГОРОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта egoroffoleg@ukr.net, ORCID 0000-0002-8260-9463

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ

Мета. Ідентифікація рухомого складу на залізницях, як поїздів у цілому, так і вагонів окремо, займає невід'ємну частину багатьох систем автоматизації. Різні інформаційно-керуючі системи на сортувальних станціях, виконуючи технологічні операції, потребують оперативної інформації про об'єкти управління. Підвищення точності визначення різних параметрів, що характеризують рухомий склад, призводить до безпосереднього поліпшення якості управління вагонопотоками. Мета роботи полягає в розробці способу оцінки помилки визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць на контрольній ділянці з використанням точкових колійних датчиків для проведення подальшої ідентифікації вагонів та локомотивів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети були використані імітаційне моделювання та метод планування експерименту. Була розроблена імітаційна модель, що дозволяє визначати тимчасові інтервали між найздом колісних пар рухомих одиниць на точкові колійні датчики, розташовані на контрольній ділянці з варійованими характеристиками пристроїв ідентифікації. Отримані з використанням імітаційної моделі значення часових інтервалів були застосовані в методі планування експерименту для досягнення кінцевої мети. **Результати.** Обчислені аналітично значення похибок визначення міжосьових відстаней не мають значущих відмінностей від значень, отриманих із використанням імітаційної моделі. Це в повній мірі дозволяє використовувати отриману функціональну залежність для оцінки можливих похибок ідентифікації рухомого складу. Результати даної роботи можуть бути використані як для ідентифікації окремих рухомих одиниць, так і для всього поїзда в цілому. **Наукова новизна.** Використовуючи попередньо проведені дослідження факторів, що впливають на похибку визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць та розроблену імітаційну модель для обчислення міжосьових відстаней, була виведена функціональна залежність похибки визначення міжосьових відстаней від помилки фіксації колеса точковим колійним датчиком, відстані між датчиками та вимірюваної відстані. **Практична значимість.** Дана функціональна залежність дозволяє вирішити наступні завдання: обчислення гранично можливих помилок визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць при відомих параметрах контрольної ділянки та обчислення параметрів контрольної ділянки при відомих можливо допустимих помилках визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць.

Ключові слова: метод планування експерименту; ідентифікація рухомого складу; контрольна ділянка; міжосьові відстані; точковий колійний датчик

O. Y. YEHOROV^{1*}

¹*Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail egoroffoleg@ukr.net, ORCID 0000-0002-8260-9463

THE USE OF THE EXPERIMENT PLANNING METHOD TO EVALUATE THE ACCURACY OF FLEXIBLE UNITS IDENTIFICATION

Purpose. The identification of rolling stock on the railroads is an integral part of many automation systems as trains in general and cars separately. Various information management systems at sorting yards require the operational information about the object while performing the manufacturing operations. The improvement of the determination accuracy of different parameters characterizing the rolling stock, leads to the immediate quality progress in the traffic volumes management. The aim of the paper is to develop a method to estimate the errors of determination the interaxle distance of the flexible units in the control section using the point path-control transducer for future identification of cars and locomotives. **Methodology.** To achieve this goal the simulation method and experiment planning were used. The simulation model allowing to determine the time intervals between the collisions of wheelset of flexible units in point path-control transducer on the control section with variable characteristics of identification devices was developed. The values of the time intervals obtained with using the simulation mode were applied in the method of experiment planning to the final target. **Findings.** The calculated analytical values of the errors of the interaxle distances do not have the significant differences from values obtained using the simulation model. It makes possible to use the received functional dependence to estimate the possible errors in the identification of rolling stock. The results of this work can be used to identify separate flexible units, and trains in general. **Originality.** The functional dependence of the error of the interaxle distance error from the fixing point of the wheel path-control transducer, the distance between the sensors and the measured distance was derived using a previously conducted research of the factors influencing the error in determining the interaxle distance of the flexible units, and developed simulation model to calculate the interaxle distance. **Practical value.** This functional dependence allows solving the following tasks: to calculate the maximum possible error of determining the interaxle distance of the flexible units at known parameters of control section and calculation of parameters of the control section, when the possible acceptable error of determining the interaxle distance of the flexible units is known.

Keywords: experiment planning method; rolling stock identification; control section; axle spacing; point track transducer

REFERENCES

1. Zakharov V.A., Kolchuk S.P. *Ustroystvo dlya vychisleniya dannykh dlya identifikatsii poyezdov v dvizhenii* [The device for calculation the data for the identification of trains in motion], no. 4937555/11. 1993.
2. Borovkov Yu.G., Dudnichenko A.M., Perov A.N., Perov I.N. *Ustroystvo dlya opredeleniya dliny vagonov* [A device for determining the length of cars]. no. 3678439/27–11. 1985.
3. Popov O.S., Dolaberidze A.M., Untilov V.P., Voronko V.A., Kotelevets V.N., Yatsenko V.I. *Ustroystvo dlya opredeleniya dliny ottsepov na sortirovochnoy gorke* [A device for determining the length of cuts on the sorting yard], no.4428794/11.1991.
4. *Gruzovyye vagonny kolei 1520 mm zheleznykh dorog SSSR: albom* [Freight cars of 1520 mm gauge of the USSR railways: the album]. Moscow, Transport Publ., 1989. 173 p.
5. Yegorov A.Ye., Azarov G.N., Koval A.V. *Issledovaniye ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta* [Study of devices and systems of automation by means of experiment planning]. Kharkiv, Vyshcha shkola Publ., 1986. 240 p.
6. Yegorov O.I. *Issledovaniye pogreshnosti opredeleniya tipa podviznykh edinits na zheleznodorozhnom transporte* [Research of the error to determine the type of flexible units for railway transport]. *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohii transport* [Proc. of Kyiv University of Economy and Transport Technologies]. Kyiv, 2003, vol. 4, pp. 36-41.
7. Zhukovitskiy I.V., Yegorov O.I. *Avtomatizirovannaya identifikatsiya podviznykh edinits i poyezda v tselom* [Automated identification of flexible units and trains in general]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information Management Systems in Railway Transport*, 2012, no. 6, pp. 77-82.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

8. Kosolapov A.A., Kuvshinov A.V., Nyrkov A.P. *Informatsionno-kommunikatsionnyye tekhnologii v upravlenii* [Information and communication technology in management]. Odessa, Kupriyenko SV Publ., 2015. 245 p.
9. Kosolapov A.A., Blokhin A.L., Boryak K.F. *Klyuchevaya rol transporta v sovremennom mire* [The key role of transport in the modern world]. Odessa, Kupriyenko SV Publ., 2013. 163 p.
10. Martsenyuk L.V., Vishnyakova A.V. *Sovershenstvovaniye protsessa gruzovykh perevozk i mekhanizma upravleniya imi* [Improvement of freight transportation process and their management mechanism]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 41-48. doi: 10.15802/stp2014/23743.
11. Muzykin M.I., Nesterenko G.I. *Vliyaniye «okon» na propusknyuyu sposobnost zheleznodorozhnogo napravleniya* [Influence of maintenance windows on the working capacity of railway route]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 24-33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
12. Rakov V.A. *Lokomotivy i motorvagonnyy podvizhnoy sostav zheleznykh dorog Sovetskogo Soyuz (1976-1985)* [The locomotive and railcar rolling stock of the Soviet Union railways (1976-1985)]. Moscow, Transport Publ., 1990. 238 p.
13. Khartman K., Letskiy E., Shefer V. *Planirovaniye eksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh protsessov* [Planning of experiment in investigation of technological processes]. Moscow, Mir Publ., 1977. 552 p.
14. Shamashov M.A. *Programmno-apparatnyy izmeritel skorosti i mezhosevykh rasstoyaniy, schetchik vagonov i osey* [Hardware-software measuring device of the velocity and interaxle distances, the count of cars and axles]. *Avtomatika, telemekhanika i svyaz – Automation, Telemechanics and Communications*, 1994, no. 8, pp. 9-10.
15. Shtanke A.E., Krasovskaya I.G. *Issledovaniye i vybor putevykh datchikov v sisteme dispetcherskogo kontrolya* [Research and selection of the travel sensors in the system of dispatcher control]. *Sovershenstvovaniye ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [The improvement of devices of railway automatics and telemechanics]. Sverdlovsk, 1973, vol. 34, pp. 59-66.
16. Ma L., Guo J., Chen G.W., Guo R. *Research on automatic adjustment of the phase plan in railway marshaling*. *Journal of Transportation Engineering and Information*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 18-28.
17. Li H.-D., He S.-W., Jing Y., Wang S. *Wagon-flow allocation optimization of stage plan at marshaling station in consideration of different size limitations of departure trains*. *Journal of the China Railway Society*, 2012, vol. 34, no. 7, pp. 10-17.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. В. Жуковицким (Украина); д.т.н., проф. В. В. Ткачевым (Украина)

Поступила в редколлегию 14.08.2015

Принята к печати 13.10.2015