

УДК 629.017

А. С. ПОЛЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф. ХНАДУ, Харьков;

Д. М. КЛЕЦ, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ;

Е. А. ДУБИНИН, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ;

В. В. ЗАДОРЖНЯЯ, ассистент ХНТУСХ им. П. Василенко, Харьков

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ РЕГИСТРАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Разработан алгоритм и программное обеспечение для обработки данных, полученных с помощью акселерометров в автоматическом режиме. Предложена методика обработки сигналов датчиков ускорений для снижения случайных и систематических погрешностей. Разработано программное обеспечение "Approximate", позволяющее выполнять аппроксимацию экспериментальных зависимостей в автоматическом режиме с использованием метода наименьших квадратов.

Ключевые слова: мобильная машина, дорожные испытания, точность, акселерометр, измерительный комплекс.

Введение. Динамические испытания - важнейший этап исследования мобильных машин при оценке их эксплуатационных свойств. За последние годы широкое применение получило использование датчиков ускорений при проведении дорожных испытаний. С их помощью оценивают показатели надежности, управляемости, устойчивости, активной безопасности колесных и гусеничных машин, влияющие на безопасность дорожного движения.

Проведение дорожных испытаний с помощью акселерометров затрудняется тем, что на их показания существенно влияют погрешности установки, температурные условия, вибрация и неровности дорожного покрытия. Таким образом, актуальными являются вопросы разработки методики обработки полученного сигнала и устранения случайных и систематических погрешностей.

Анализ последних достижений и публикаций. Принципам работы мобильных измерительных комплексов на основе акселерометров посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных ученых [1-9].

В работах [3, 4] исследована динамика изменения параметров в процессе градуировки датчиков линейных ускорений для быстрой проверки чувствительности разработанного регистрационно-измерительного комплекса перед началом дорожных испытаний колесных машин. Автором работы [5] разработана методика определения угла продольного наклона автомобиля, а также уклона дороги при проведении динамических испытаний. Данная методика значительно снижает погрешность при записи траектории колесной машины, а также испытаниях на дороге с неровностями или неравномерным уклоном. В работе [6] сформулированы основы формирования бортовой контрольно-измерительной системы для проведения динамических испытаний мобильных машин, что позволило разработать программное обеспечение для обработки полученных с датчиков сигналов.

В работе [7] предложена система для определения параметров движения машин при динамических испытаниях, которая состоит из элементов измерения, устройств обработки и визуализации информации.

© А. С. Полянский, Д. М. Клещ, Е. А. Дубинин, В. В. Задоржняя, 2014

Однако вопросы разработки методик обработки полученного сигнала и устранения случайных и систематических погрешностей требуют дальнейшего исследования.

Цель исследования, постановка задачи. Целью исследования является разработка методики и программного обеспечения для повышения точности обработки снятого сигнала с помощью регистрационно-измерительного комплекса при проведении дорожных испытаний мобильных машин.

Для достижения указанной цели необходимо разработать алгоритм и программное обеспечение для обработки данных, полученных с помощью акселерометров в автоматическом режиме.

Материалы исследований. Метод наименьших квадратов – один из базовых методов регрессионного анализа для оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным [10]. Метод основан на минимизации суммы квадратов остатков регрессии.

Повышение точности обработки экспериментальных зависимостей можно достичь построением аппроксимирующей кривой, которая отражает исследуемую зависимость и сглаживает погрешности эксперимента, возникшие в результате случайных и систематических ошибок. Для решения поставленной задачи возможно применение программных средств Microsoft Excel, MathCAD и MatLAB, либо создание собственного программного обеспечения.

Предлагаемый алгоритм обработки данных, получаемых с помощью регистрационно-измерительного комплекса методом наименьших квадратов, приведен на рис. 1.

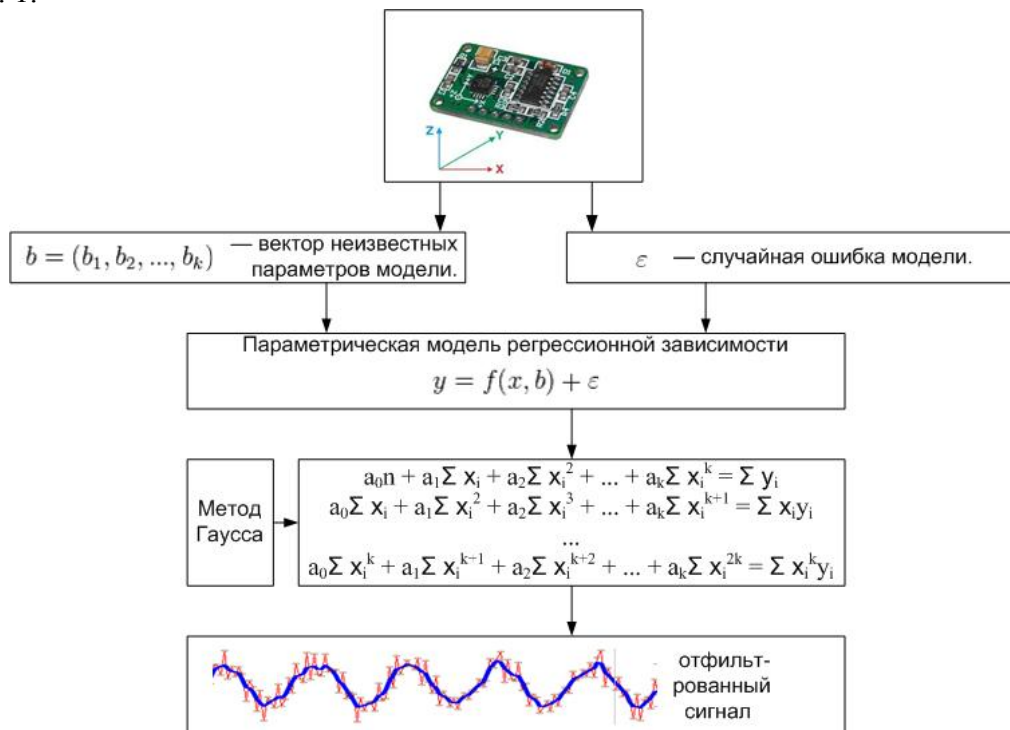


Рисунок 1 – Алгоритм обработки данных, получаемых с помощью регистрационно-измерительного комплекса, методом наименьших квадратов

Для решения системы удобно использовать метод Гаусса, требующий меньшего объема математических операций при решении систем линейных уравнений произвольного порядка. Предложенный алгоритм позволяет перейти к разработке программного обеспечения для автоматизации обработки сигнала акселерометров.

Используя изложенный выше алгоритм аппроксимации полученных экспериментально данных, разработана программа «Approximate» в системе объектно-ориентированного программирования.

При запуске скомпилированного исполняемого файла программы открывается диалоговое окно, внешний вид которого представлен на рис. 2.

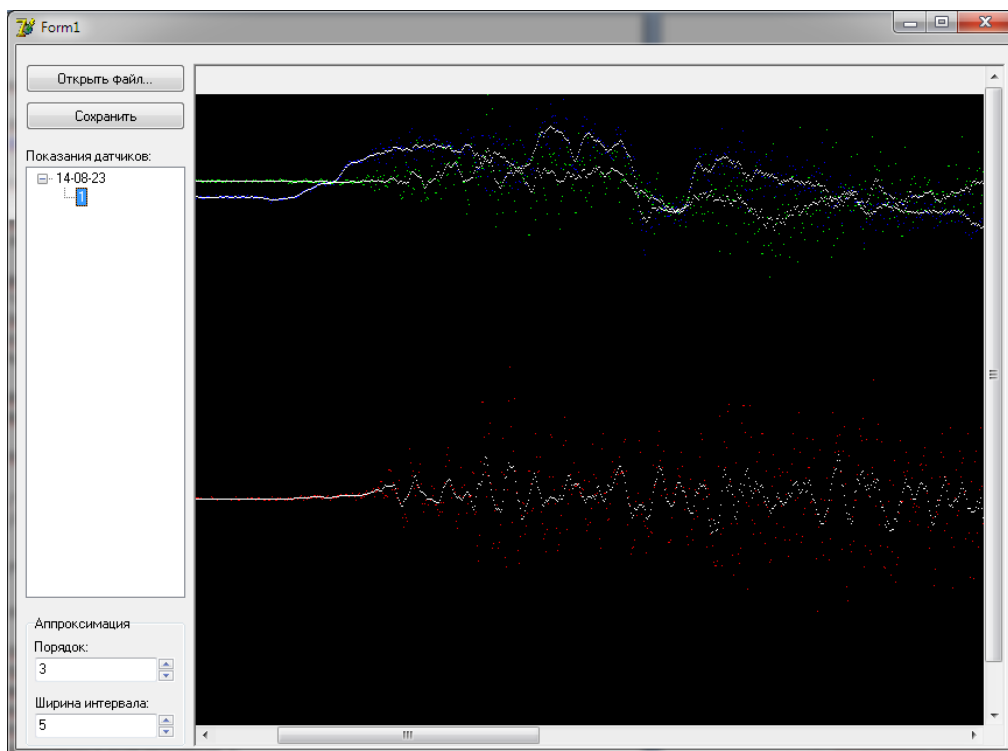


Рисунок 2 – Внешний вид окна программы

В соответствующие поля вводятся следующие данные:

- порядок аппроксимации;
- ширина интервала аппроксимации.

Кнопка «Открыть файл» выводит диалоговое окно выбора файла формата «BIN», содержащего снятые с акселерометра экспериментальные данные x_i , y_i , z_i , в двоичном формате.

После выбора файла программа выполняет построение графиков кодов АЦП акселерометра по трем осям чувствительности датчика. Допускается одновременная обработка нескольких файлов. Параметры аппроксимации можно менять в режиме реального времени. Сплошными линиями приводятся сглаженные кривые, точками – необработанные данные, содержащие шумы и погрешности.

Нажатие кнопки «Сохранить» экспортирует обработанные данные в файл формата «CSV», который удобно обрабатывать с помощью пакета MS Excel (см. рис. 3).

	A	B	C
1	Порядок аппроксимации	3	1
2	Ширина интервала аппроксимации	11	3
3	Время	14.08.2013	14.08.2013
4	Датчик	1	1
5		X	X
6		545	545
7		545	545
8		545	544,9
9		544	544,9
10		544	544,9
11		544,5	544,9
12		544,5	545
13		544,4	544,9
14		544,4	544,9

Рисунок 3 – «CSV»-файл, полученный с помощью программы «Approximate»

На рис. 4 приведена зависимость кодов АЦП акселерометра по оси OX от количества замеров. Сплошной линией показан сигнал, обработанный с автоматически определенными параметрами: порядок аппроксимации 3, ширина интервала 11. Пунктиром показан сигнал, обработанный следующим образом: порядок аппроксимации 1, ширина интервала 3.

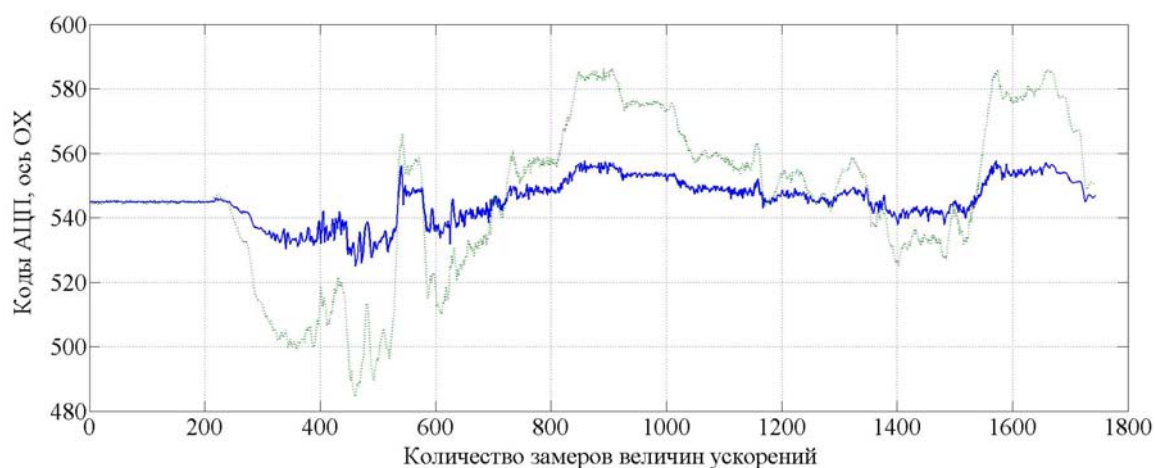


Рисунок 4 – Зависимость кодов АЦП акселерометра по оси OX от количества замеров при различных параметрах аппроксимации

Результаты исследований. Таким образом, методика повышения точности обработки снятого сигнала с помощью регистрационно-измерительного комплекса при

проведении дорожных испытаний мобильных машин состоит в следующем:

1. Ввод полученных экспериментально при проведении дорожных испытаний кодов АЦП акселерометров по трем осям чувствительности датчиков в разработанную программу «Approximate».

2. Построение программой, на основе предложенного алгоритма с использованием метода наименьших квадратов, графиков кодов АЦП по трем осям чувствительности датчика. Получение сглаженных кривых (сплошные линии).

3. Изменение, при необходимости, параметров аппроксимации в режиме реального времени (порядок аппроксимации, ширина интервала) для получения максимальной точности обработки снятого сигнала при минимальных затратах времени расчетов.

4. Получение "CSV"-файла для дальнейшего преобразования кодов АЦП акселерометра в ускорения и обработки данных методами математической статистики.

Выводы. Разработана методика обработки сигналов датчиков ускорений на основе использования метода наименьших квадратов. Ее применение при проведении дорожных испытаний мобильных машин обеспечивает повышение точности оценки их эксплуатационных свойств не менее чем на 10% за счет снижения случайных и систематических погрешностей. Разработано программное обеспечение "Approximate" для регистрационно-измерительного комплекса, позволяющее выполнять аппроксимацию экспериментальных зависимостей в автоматическом режиме с возможностью изменения параметров аппроксимации в режиме реального времени.

Список литературы: 1. *Аш Ж.* Датчики измерительных систем: В 2 книгах / *Аш Ж.* [пер. с франц.] – М.: Мир, 1992. – 480 с. 2. *Гаврилов Э.В.* Принципы разработки мобильных вычислительных комплексов / *Э.В. Гаврилов, О.П. Алексеев, О.П. Смирнов* // Информационные технологии. – Х.: Магдебург. – ХГПУ, 1999. – с. 139-141. 3. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин. Монография / [*Артемов Н.П., Лебедев А.Т., Подригало М.А. и др.*]; под ред. *М.А. Подригало.* – Х.: «Міськдрук», 2012. – 220 с. 4. *Клец Д.М.* Градуировка акселерометров методом постоянного ускорения / *Д.М. Клец* // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 2 (32), Т. 1. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 87-92. 5. *Клец Д.М.* Определение угла продольного наклона автомобиля при проведении динамических испытаний / *Д.М. Клец* // Транспортне машинобудування: збірник наукових праць. – Х.: НТУ «ХП», 2011. – № 18. – С. 24-29. 6. *Клец Д.М.* Разработка мобильного регистрационно-измерительного комплекса для проведения динамических испытаний колесных машин / *Д.М. Клец* // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 25. – С. 234-241. 7. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00 25.06.2010. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях /

Подригало М.А., Коробко А.И., Клец Д.М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. – №u201001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. №12. **8.** *Подригало М.А.* Метрологічне забезпечення динамічних випробувань тягово-транспортних машин / *М.А. Подригало, А.І. Коробко, Д.М. Клец, В.І. Гацько* // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2009. – Вип. 89. – С. 87-99. **9.** *Подригало М.А.* Снижение динамических нагрузок колесных машин с шарнирно-сочленённой рамой использованием электронных систем / *М.А. Подригало, А.С. Полянский, Е.А. Дубинин, Д.М. Клец, В.В. Задорожня* // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. – 2012. – Вип. 124, Т. 2. – С. 149-153. **10.** *Линник Ю.В.* Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / *Линник Ю.В.* – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. – 336 с.

Поступила в редколлегию 17.01.2014

УДК 629.017

Повышение точности оценки эксплуатационных свойств мобильных машин с помощью регистрационно-измерительного комплекса / А. С. Полянский, Д. М. Клец, Е. А. Дубинин, В. В. Задорожня // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – X. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 103-108. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-6840.

Запропонована методика обробки сигналів датчиків прискорень для зниження випадкових і систематичних похибок. Розроблено програмне забезпечення "Approximate", що дозволяє виконувати апроксимацію експериментальних залежностей в автоматичному режимі з використанням методу найменших квадратів.

Ключові слова: мобільна машина, дорожні випробування, точність, акселерометр, вимірювальний комплекс.

Increasing to accuracy of the estimation working characteristic mobile machines by means of registration-measuring complex / A. C. Polynskiy, D. M. Klec, E. A. Dubinin, V. V. Zadorognaja // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 103-108. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2078-6840.

The technique for processing of acceleration sensors signals for random and systematic errors decrease. There was developed "Approximate" software product allowing carrying out approximation of experimental dependences in the automatic mode with application of the method of least squares.

Keywords: mobile machine, road tests, accuracy, accelerometer, measuring complex.