

В. Г. МИХАЙЛОВ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДОРОГ

Проведен анализ методов получения продольных профилей дороги важных для проведения моделирования движения автомобиля на основе геодезических карт, замеров дорог с помощью геодезического оборудования, использования мобильных лаборатории, радарного сканирования земли, считывания данных с электронного блока управления автомобиля и дана оценка их точности. Отмечено, что перечисленные способы трудоемки и затратны и не всегда обеспечивают необходимой точности. Так в случае использования общедоступных данных радарного сканирования земли со спутников погрешность может достигать 30–50%. Хотя в будущем по мере совершенствования точности зондирования и доступности информации данный способ представляется наиболее перспективным.

Предложен метод регистрации продольных профилей/уклонов больших участков дорог в процессе движения автомобиля на основе микроконтроллера Arduino Due, датчиков ускорений и углов наклона MPU-6050 и записи данных на SD-карту, рассмотрено применение комбинированной обработки информации на основе разработанных программ на языке C в самом микроконтроллере и в модуле S-Function Builder в пакете Matlab/Simulink.

С помощью предложенных методов проведена регистрация профиля дороги сложного характера протяженностью 10 км. Для сравнения построен профиль этой же дороги методом использования карты радарного сканирования земли и проведено сравнение их данных.

Выявлено хорошее совпадение характера изменения профиля дороги, средне-квадратических и максимальных значений высот профиля дороги, полученных по предложенным методам (расхождение 7–20%).

Ключевые слова: Автомобиль, продольный уклон дороги, моделирование уклонов дороги и внешнего возмущения, микроконтроллер Arduino, Matlab/Simulink.

Введение

В настоящее время при проектировании автомобилей все чаще используют методы виртуального моделирования на основе пакетов MS-Adams и MatLab/SimuLink с применением численных методов на основе известного нелинейного дифференциального уравнения второго порядка [1–7]. Это позволяет более тщательно проработать конструкцию еще на стадии проектирования.

Большинство расчетов, выполняемых на этих пакетах, сводится к простейшему определению максимальной скорости, времени и пути разгона. Сейчас наибольший интерес представляет моделирование движения автомобиля с учетом реальных условий, для которых необходимо задавать конкретные реализации профилей/уклонов дороги [3, 5, 6].

Это обусловлено широким внедрением автоматических и роботизированных трансмис-

сий, для которых все более актуальным становится вопрос управления ими с помощью микропроцессорных систем и решения задачи синтеза, отработки алгоритмов управления двигателем и трансмиссией. Благодаря этому можно достигнуть экономии топлива, уменьшить динамические нагрузки на трансмиссию, что положительно скажется на ее долговечности. Сейчас параметр наклона дороги начинают учитывать в системах управления такими трансмиссиями (пример, АКПП Тойота).

Необходимые для решения задач моделирования тяговой динамики автомобиля данные по продольным профилям/уклонам дорог можно получить следующими способами:

– на основе геодезических карт дорог и их высот занести информацию в массив данных и использовать ее при расчетах. Данный способ является наиболее трудоемким, т. к. придется обработать большие массивы информа-

ции и занести ее в базу данных. Сложность еще заключается в том, что упомянутые выше пакеты не рассчитаны на работу с существующими базами данных. Обычно используется массив Matlab (до 20 значений) либо MS Excel при работе с Matlab, ограниченный по объему (1024 значений), шаг задается 200–300 м. Кроме того проектные институты и эксплуатационные дорожные организации, располагающие такой документацией не охотно предоставляют ее или отказывают из соображений мер безопасности коммуникаций;

– провести собственные замеры дорог с помощью геодезического оборудования: теодолитов, мерной рейки, что очень трудоемко и небезопасно с условиях интенсивного транспортного движения;

– использовать дорогостоящие мобильные лаборатории, позволяющие фиксировать наклоны дорог в процессе движения с помощью гироскопов с записью на компьютерную технику с последующей обработкой. Возможен вариант применения «качающегося маятника» [3, 7], однако он в последнее время не используется и нет данных его использования в этом качестве;

– использовать данные космического радарного сканирования земли [8, 5], имеющиеся в интернете. К сожалению, точность общедоступных данных по высоте составляет 15–20 м. Хотя сейчас имеются спутники, обеспечивающие точность по высоте 5–10 м, но их данные носят закрытый характер. Недостатком метода является то, что могут быть взяты данные по пятну сканирования, приходящиеся на кюветы, насыпи, откосы, обочины, из-за невысокой точности определения координат дорожного полотна маршрута движения и точек шагов замеров. Все это в совокупности может привести к погрешности 30–50%. Тем не менее данный способ в будущем представляется наиболее перспективным и он сейчас широко применяется в ОИМ НАН РБ, Минском автозаводе и Нижегородском политехническом университете при расчетах тяговой динамики в дорожных условиях [5, 6].

В работах [9–11] предложен метод получения уклонов дорог основанный на регистрации параметров CAN шины электронного блока управления силовым агрегатом движущегося автомобиля и положения автомобиля на

трассе с помощью датчика GPS. Полученные данные (скорость, крутящий момент, текущая передача КПП, координаты точек сканирования GPS) записывались на laptop. Регистрация параметров производилась с шагом 12,5 м. Длина записанного участка составляла 15 км. Число точек сканирования 1200. Затем на основе обработки этих данных рассчитывался угол наклона дороги, используя тяговый баланс сил автомобиля и значение его массы без учета аэродинамического фактора. В дальнейшем полученный массив данных используется в задачах тяговой динамики автомобилей фирмы Volvo.

Недостатком метода является необходимость использования laptop или ноутбука, конверторов сигнала с CAN шины на USB, разработка специального программного обеспечения считывания данных, фильтрации и обработки сигнала, оцениваемое в 3–5 тысяч долларов и более, невысокая скорость передачи данных через конвертор OBD-USB подключаемый к компьютеру (обычно 9600 бит/с). Хотя скорость передачи данных внутри CAN шины 250000 бит/с и более. Кроме того трудно оценить получаемую точность предложенного метода, так как не учитывается аэродинамический фактор и колебания автомобиля, доля которых в зависимости от скорости может достигать 30–50%.

Рассмотренные выше способы трудоемки и затратны. Учитывая, что для моделирования требуются записи больших участков дорог, необходим иной и более дешевый способ регистрации параметров дорог.

В настоящее время появились дешевые (35 долларов США) микроконтроллеры (МК) Arduino и датчики к ним (MPU-6050), позволяющие провести замеры продольных уклонов и профиля дорог в процессе движения автомобиля. Встроенные преобразователи сигналов с датчиков MPU-6050, позволяют одновременно регистрировать ускорения и наклоны в 3-х осях с более высокой частотой сканирования (при разгоне МК до 300 Гц), в то время как у датчика наклона (Bosh MM5.10) мотоцикла DUCATI KTM 1190, подключаемого к CAN-шине – 15 Гц.

Поэтому разработка методов регистрации продольных профилей дорог с помощью модулей Arduino, получения на их основе данных

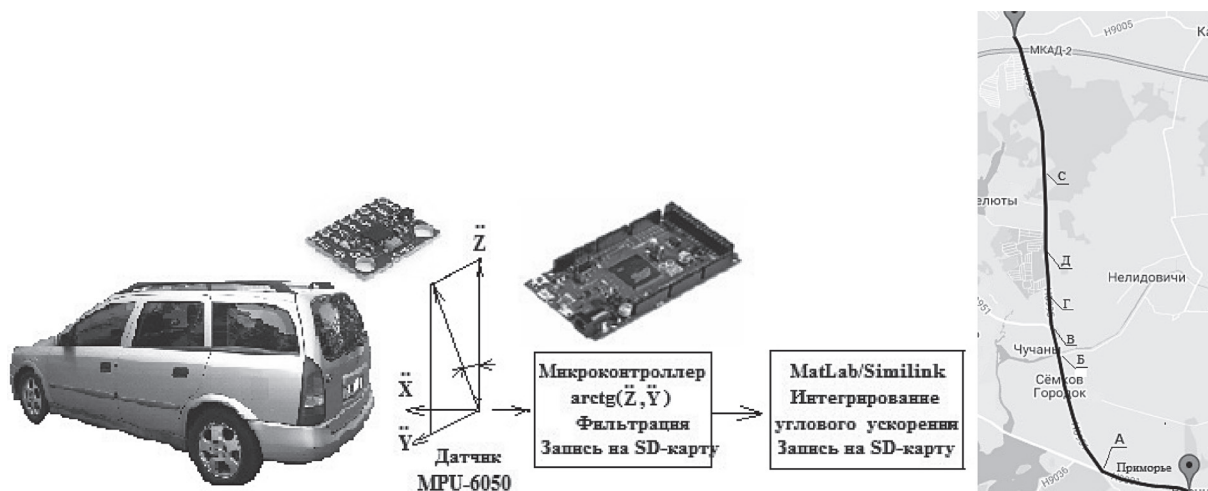


Рис. 1. Схема записи и обработки параметров дороги и маршрут движения

и сравнение с методом на основе карты радарного сканирования земли представляется актуальной задачей.

Методика измерений наклона дороги

Для получения данных по продольному профилю дорог (рис. 1) использовалась следующая аппаратура: микроконтроллер Arduino Due, два датчика MPU-6050 (погрешность 0,2%).

Методика измерений заключалась в замерах и регистрации ускорений и углов наклона на кузове и над задней осью по двум осям X и Y (рис. 1), получении \arctg углового наклона, фильтрации сигналов с помощью фильтра Калмана или экспонентной фильтрации и записи их на SD-карту [12]. Также проверена возможность получения данных по углам наклона на основе интегрирования ускорений неподрессоренной массы автомобиля (на колесе) и последующего дифференцирования. Принято допущение, что перемещение оси колеса соответствует высоте профиля дороги. Запись параметров производилась при постоянной скорости движения 72 км/ч (20 м/с) в раннее утреннее время, когда менее загружены трассы. Выбор скоростей движения определялся исходя из аналогичных соображений метода IRI (80 км/ч) по оценке ровности дорог – не создания помех движению. За счет подбора параметров и настройки программного обеспечения Arduino Due достигнута высокая частота опроса при использовании двух датчиков MPU-6050–154 Гц (против стандартных 20 Гц на одном датчике), соответствующая шагу 0,125 м.

Используя текущие значения ускорений и данных гироскопа по указанным осям с помощью функции $\arctg(\alpha) = X/\sqrt{x^2 + z^2}$ в микроконтроллере определялось значение ускорения углового поворота кузова автомобиля, которое корректировалось на основе данных гироскопа. Затем путем его фильтрации (сглаживания) в МК и пакете Matlab/Simulink определялся угол наклона кузова, который принимался за угол наклона дороги. Это является одним из способов получения наклона профиля дороги, необходимого для моделирования тяговой динамики.

Для устранения шумов и дрейфа сигнала датчиков MPU-6050 использован метод экспонентного сглаживания [12] исходя из информации на форумах Arduino, что разница в точности в сравнении с методом Калмана, применяемых в системах радиолокации, не столь значительна (до 2%). Использованный метод экспонентного сглаживания оказался на 28% быстрее (обеспечивал частоту регистрации 154 Гц), чем метод Калмана (120 Гц). Для экспонентного сглаживания использовалось интегрирование, которое производилось:

- непосредственно на микроконтроллере с помощью численного метода Эйлера, как наиболее простого и менее затратного по ресурсам;

- и в пакете Matlab/Simulink.

Фрагмент реализации экспонентного сглаживания в микроконтроллере приведен ниже.

```
yglx1_t = (atan2(vax1, vaz1))*57,3;
// 57,3 = rad2degree
```

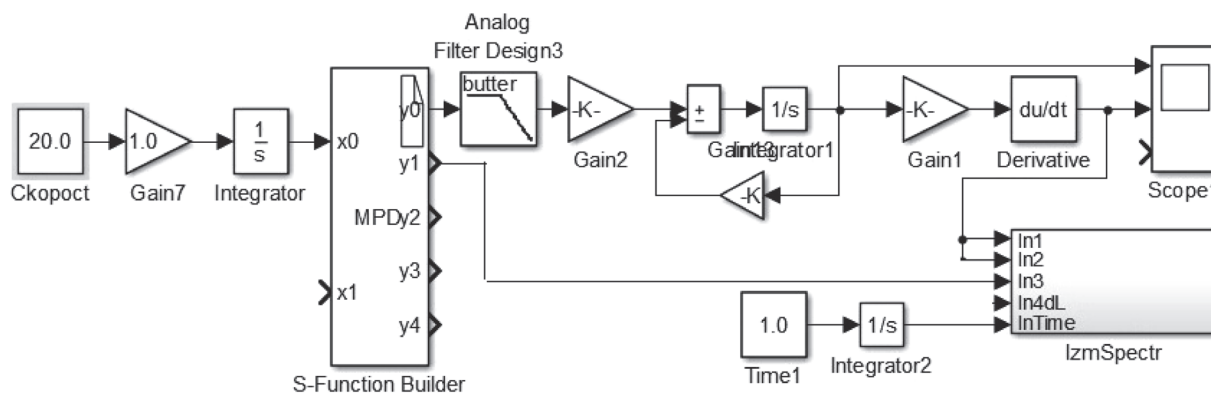


Рис. 2. Блок-схема реализации обработки высоты и углов наклона дороги

$$yglx1 = \text{Filter_gain} * yglx1_g + 0,05 * yglx1_t; \\ // 0,05 = (1 - \text{Filter_gain})$$

где $yglx1_g$ – угол наклона, получаемый с гироскопа, $vax1$, $vaz1$ – величина ускорений в плоскостях X , Z , $yglx1_t$ – значение экспоненциального сглаживания угла наклона, $yglx1$ – полученное значение угла наклона при экспоненциальном сглаживании, $\text{Filter_gain} = 0,05$ – коэффициент фильтра сглаживания.

Общий объем разработанной программы для микроконтроллера, включая программную автобалансировку нуля датчиков (пяти параметров), исключение зависания протокола $i2C^2$, составил 576 строк текста. Регистрация данных с датчика производилась на SD-карту в виде структуры бинарного файла. Далее с помощью программы на языке C в блоке модуля S-Function Builder они заносились в электронный массив данных MatLab/SimuLink и использовались в этом пакете. Блок-схема получения профиля дороги приведена на рис. 2.

С помощью константы «Скорость» и интегратора «Integrator» задается скорость движения (считывания массива данных ускорений или углов уклona). С помощью блоков SrArif и SrKvadr производился расчет среднеквадратических и максимальных значений высот и углов наклонов дороги.

Проведение и результаты замеров профиля дорог

Для проведения замеров выбран участок маршрута (рис. 1) под Минском: Военный городок – Приморье – Семков городок – Чучаны – МКАД2 длиной 10 км. Данный маршрут характерен значительными перепадами высот, разным качеством покрытия, проездом через 3 населенных пункта, наличием двух поворотов.

Он наиболее подходит для моделирования тяговой динамики специальных машин, включая штабные. Полученные замеры 10-ти километрового участка дороги сравнивались с данными на основе карты радарного сканирования с помощью программы на сайте [8] с шагом замеров 100 м. Полученные по карте значения 100 точек высот занесены в массив программы S-Function Builder и обработаны с помощью MatLab/Simulink и представлены на рис. 3. И здесь же представлены данные полученные интегрированием ускорений неподдрессоренной массы.

Дополнительно проведена оценка точности предложенных методов и использованных для этого устройств, показавшая на стенде в статике при угле наклона до 10° (по линейности характеристики) погрешность не более 1–2%, а по результатам преодоления одиночного подъема дороги (6%) погрешность 3–4%.

Как видно из рис. 3 наблюдается одинаковый характер изменения продольного профиля дороги и близкое совпадение высот (с расхождением 8–20%) за исключением участков точек Г, Д, С, имеющих на карте постоянство высоты профиля. Провал характеристики на этих участках обуславливается экспонентным сглаживанием, вызывающим разряд значений интеграторов при отсутствии изменений (при ровном участке). При появлении дальнейшего наклона происходит нарастание его величины.

Результаты сравнения методов получения продольного профиля дорог, включая влияние коэффициентов сглаживания, приведены в таблице. Скорость изменения продольного профиля по карте радарного сканирования получена путем дифференцирования dh/dt . При сравнении необходимо учитывать фактор вли-

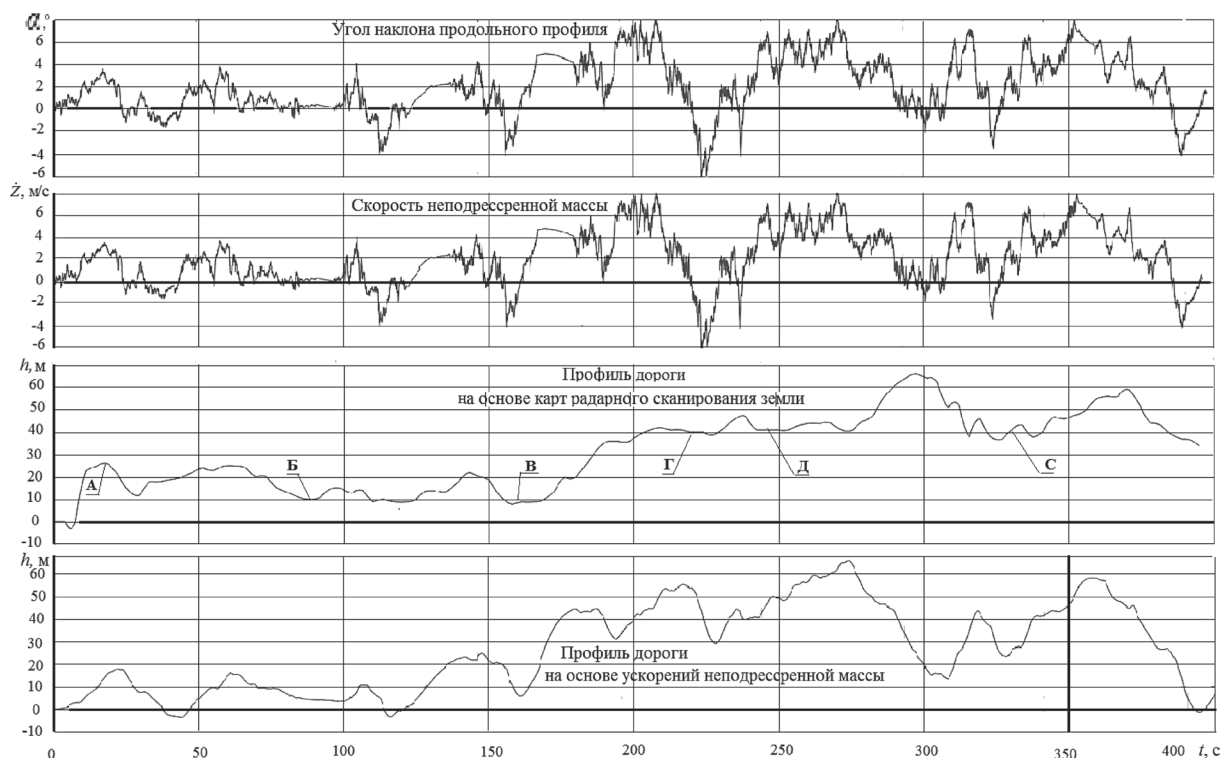


Рис. 3. Сравнение продольных профилей на основе радарного сканирования земли и интегрирования ускорений и углов дороги

яния воздействия микропрофиля дороги, особенно на скорость неровности.

Как видно из таблицы при использовании метода замеров на основе ускорений неподдрессированной массы при $K = 0,1$ получается хорошее совпадение по максимальным и средне-

квадратичным значениям высот продольных профилей. В то же время по скорости/углу наклона (среднеквадратичным значениям) имеет место расхождение до 40–50% при одновременном хорошем совпадении по максимальным значениям скоростей. Последнее можно

Результаты сравнения методов получения продольного профиля дорог

Метод получения	Высота h , м		Скорость по \dot{Z} , м/с		Скорость по dh/dt , м/с	
	s	\max_h	s	\max_v	s	\max_v
По карте	35,4	66			1,1	8,04
при K сглаживания	На основе ускорений неподдрессированной массы					
0,11	24,3	52,4	3,15	8,4	1,65	7,3
0,105	26,5	56,8	3,25	8,65	1,69	7,5
0,1	28,9	61,5	3,4	8,9	1,74	7,67
0,1, фильтр $f = 2$ рад/с	28,9	61,5	3,37	8,36	1,68	5,77
0,1, фильтр $f = 3$ рад/с	28,9	61,5	3,37	8,36	1,703	6,16
	На основе ускорений поддрессированной массы при $k = 0,1$					
	9,6	34,7	1,1	4,5	2,36	2,56
	По углу наклона поддрессированной массы					
Фильтр $f = 1$ рад/с			2,07	5,5		
Фильтр $f = 2$ рад/с			2,46	8,96		
Фильтр $f = 3$ рад/с			2,72	11,2		
Фильтр $f = 5$ рад/с			2,8	14,0		
Фильтр $f = 150$ рад/с			3,8	14,0		

Примечание. Значение скорости изменения профиля является значением угла наклона в градусах.

объяснить воздействием микронеровностей дороги, вызывающих увеличение ее скорости, отрывами колес от неровностей дороги, о чем свидетельствуют значительные отрицательные пиковые значения ускорений, превышающих $9,81 \text{ м/с}^2$.

Дополнительно проведена оценка возможности использования угла наклона дороги на основе значений скорости перемещения неподдрессоренной массы учитывая, что производная функции в точке равна тангенсу угла наклона касательной, проведенной в точке и при малых значениях углов имеет место линейная зависимость tg от угла. Скорость изменения высоты профиля дороги есть ничто иное как тангенс изменения высоты дороги и его угол, то есть $\text{tg}(v) = \alpha$. Отсюда продольный угол наклона дороги $\alpha = \text{arctg}(v)$, где $v = \dot{q}$ – скорость изменения высоты профиля/неровности. Из графика видно, что значения угла наклона и скорости получаются одинаковыми, что позволяет использовать физическое значения скорости вместо угла наклона.

Как показало проведенное исследование использование метода замеров на основе ускорений позволяет получать продольный профиль дороги, который путем некоторых дополнительных математических преобразований (учета характеристик шины и ускорений поддрессоренной массы) одновременно является и микропрофилем дороги. Это позволяет в дальнейшем решать задачи нагруженности автомобиля и оценки его долговечности.

Полученные данные показали, что непосредственно ускорения поддрессоренной массы нельзя использовать для определения высот продольного профиля, так как осциллограмма по профилю получается хорошо центрированной и их значения малы.

Метод по углу наклона поддрессоренной массы свидетельствует о необходимости использования фильтра низких частот с частотой среза $f = 2 \text{ рад/с}$.

При использовании широкой полосы $f = 150 \text{ рад/с}$ значения получаются большими (в 1,5 раза) чем при $f = 2 \text{ рад/с}$.

В целом предложенные методы получения по ускорениям неподдрессоренной массы и углам наклона вполне могут использоваться в практике моделирования тяговой динамики автомобиля. Их точность находится на уровне

методов использования радарного сканирования земли и сканирования данных CAN-шины, применяемого на фирме Volvo.

Наиболее простым и дешевым способом получения продольного профиля дорог является использование данных радарного сканирования земли. Однако данный способ необходимо сочетать с использованием S-Function Builder, чтобы можно занести в массив большой объем данных.

Наибольший интерес в перспективе представляет применение метода использования ускорений неподдрессоренной массы автомобиля или получения путем математических преобразований объединенного макро и микропрофиля дороги в виде большого единого массива данных. В этот массив можно включить данные о дорожных условиях, что позволило бы решать более широкий круг задач как тяговой динамики, так и нагруженности автомобиля и оценки его долговечности.

Заключение

1. Проведенный анализ методов получения продольных профилей дороги на основе геодезических карт, осуществления замеров дорог с помощью геофизического оборудования использования мобильных лаборатории, радарного сканирования земли, считывания данных с электронного блока автомобиля показал, что они не всегда обеспечивают необходимой точности и трудоемки и затратны. В случае использования общедоступных данных радарного сканирования земли со спутников погрешность может достигать 30–50%. Хотя в будущем по мере совершенствования точности зондирования и доступности данных способ представляется наиболее перспективным для решения задач тяговой динамики автомобиля.

2. Для проведения работ по автоматизации и управления трансмиссий автомобилей на основе микроконтроллеров требуются записи больших участков дорог, для чего необходим иной и более дешевый способ регистрации параметров дорог.

3. Предложен метод регистрации уклонов больших участков дорог в процессе движения автомобиля на основе микроконтроллера Arduino Due, датчика ускорений и углов наклона MPU-6050 и записи данных на SD-карту.

4. Использование предложенного метода замеров на основе ускорений неподрессоренной массы обеспечивает хорошее совпадение по характеру изменения, максимальным и среднеквадратичным значениям высот продольных профилей и могут использоваться в практике моделирования тяговой динамики автомобиля. В его массив можно включить данные о дорожных условиях, что позволило бы решать более широкий круг задач, как тяговой динамики, так и нагруженности автомобиля и оценки его долговечности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Высоцкий, М. С.** Основы проектирования модульных магистральных автопоездов/ М. С. Высоцкий, С. И. Кочетов, С. В. Харитончик / Объединенный институт т машиностроения НАН РБ // Минск: Беларуская навука, 2011, С. 391.
2. **Гришкевич, А. И.** Динамика автомобиля / А. И. Гришкевич, И. С. Цитович. – М.: Машиностроение, 1986. С. 205.
3. **Гришкевич А. И.** Исследование динамики движения армейских автомобилей по дорогам с неровной поверхностью: Дис. докт. тех. наук: 05.05.03 Минск, 1973. – С. 353.
4. **Белоусов, Б. Н.** Прикладная механика наземных тягово-транспортных средств с механтронными системами. Монография. – Под общ. редакцией д.т.н. проф. Б. Н. Белоусова М.: Агроконсалт, 2013–612 с.: 62 ил.
5. **Выгонный, А. Г.** Закон переключения передач, оптимальный по тягово-скоростным и топливо экономическим показателям магистрального автопоезда/ А. Г. Выгонный, О. С. Руктешель, Р. Э. Шейбак // Актуальные вопросы машиностроения 2015, Т. 4, С. 182–188.
6. **Выгонный, А. Г.** Сравнительный анализ многокритериальной и однокритериальной оптимизации параметров двигателя и трансмиссии магистрального автопоезда/ А. Г. Выгонный, М. М. Дечко, А. А. Дюжев, С. В. Харитончик // Механика машин, механизмов и материалов, 2014, № 4. С. 40–46.
7. **Хачатуров А. А.** Динамика системы дорога–шина–автомобиль–водитель / под ред. Хачатурова А. А. . – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
8. **Карта** для определения высоты местности и профиля высот <http://22dx.ru/online/karta-vy-sot/> [Электронный ресурс] / <http://www.vhfdx.ru/karta-vyisot/> // – Режим доступа: 24.12.2017.
9. **Per Sahlholm Piecewise Linear Road Grade Estimation** /Per Sahlholm, Ather Gattami, Karl Henrik Johansson /Scania CV AB, 2ACCESS Linnaeus Centre Royal Institute of Technology, Swedem,2011. KTH – School of Electrical Engineering SE-100 44 Stockholm, Sweden TRITA-EE 2011:007. P. 16.
10. **Per Sahlholm Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control**/Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson _ _ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden / _ Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm. P. 7.
11. **Hong S Road Grade and Vehicle Parameter Estimation for Longitudinal Control Using GPS**/ Hong S. Bae1, Jihan Ryu and J. Christian Gerdes. Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson _ _ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden, Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm, P. 7.
12. **Михайлов, В. Г.** Считывание, первичная обработка ускорений и углов наклона с MPU-6050 и запись бинарных данных на SD карту Arduino Due [Электронный ресурс]/ [https:// rep.bntu.by/handle/data/26742](https://rep.bntu.by/handle/data/26742) // – Режим доступа: 24.12.2017.

REFERENCES

1. **Vysotsky, M. S.** Base of designing of modular main lorry convoys / M. S. Vysotsky, S. I. Kochetov, S. V. Haritonchik / Incorporated institute т mechanical engineering of NAN RB // Minsk: Belarus Science, 2011, С. 391.
2. **Grishkevitch A. I.** Dynamics of the car / A. I. Grishkevich, I. S. Tsitovich. – M: Mechanical engineering, 1986. P. 205.
3. **Grishkevitch A. I.** Probe of dynamics of movement of army cars on roads Dis a rough surface: Dis. Doctor. Tech. Sciences: 05.05.03 Minsk, 1973. – P. 353.
4. **Belousov, V. N.** The applied mechanics of land tјagovo-vehicles with механтронными systems. The monography. – under Edition d.t.sci. Prof. B. N. Belousova M: Agrokonsalt, 2013 – P. 612: 62 silt.
5. **Vygonni, A. G.** law of a gear shift, optimum on on tјagovo-speed and fuel to economic indicators of the main lorry convoy / of A. G. Vygonnyj, O. S. Rukteshel, R. E. Shejbak// Pressing questions of mechanical engineering 2015, Т. 4, С. 182–188.
6. **Vygonni, A.** The Comparative analysis многокритериальной and однокритериальной optimisation of parametres of the engine and transmission of the main lorry convoy / of A. G. Vygonnj, M. M. Dechko, A. A. Djuzhev, S. V. Haritonchik// Mechanics of cars, gears and materials, 2014, № 4. P. 40–46.
7. **Hachaturov A. A.** Dynamics of system road-tyre-car-driver / under the editorship of Hachaturova A. A. – M: Mechanical engineering, 1976. – P. 535.
8. Card for determination of height of terrain and a profile of heights [the Electronic resource] / <<http://www.vhfdx.ru/karta-vyisot>> // - The Access mode: 12/24/2017.
9. **Per Sahlholm Piecewise Linear Road Grade Estimation** /Per Sahlholm, Ather Gattami, Karl Henrik Johansson /Scania CV AB, 2ACCESS Linnaeus Centre Royal Institute of Technology, Swedem,2011. KTH – School of Electrical Engineering SE-100 44 Stockholm, Sweden TRITA-EE 2011:007 P. 16.

10. **Per Sahlholm** Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control/Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson _ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden / _ Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm P. 7.

11. **Hong S** Road Grade and Vehicle Parameter Estimation for Longitudinal Control Using GPS/ Hong S. Bae1, Jihan Ryu and J. Christian Gerdes. Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson _ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden, Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm, P. 7.

12. **Mikhailov, V. G.** Reading, preprocessing of accelerations and slope angles with MPU-6050 and record of the binary data on SD a card Arduino Due / [the Electronic resource] / <https://rep.bntu.by/handle/data/26742> // – The Access mode: 24.12.2017.

Поступила
20.03.2018

После доработки
18.05.2018

Принята к печати
01.06.2018

Mikhailov V. G.

THE ANALYSIS OF METHODS OF RECEPTION OF LONGITUDINAL PROFILE OF ROADS

sapr7@mail.ru

The analysis of methods of reception of longitudinal biases/profile of road important for carrying out of modelling of movement of the vehicle on the basis of geodetic charts, gaugings of roads by means of the geodetic equipment, use mobile laboratories is carried out, radar scanning of the earth, data read-out from the electronic control package of the car and the estimation of their accuracy is given. It is noticed that the listed modes are labour-consuming and Expenses and not always provide necessary accuracy. So in case of use of the popular data of radar scanning of the earth from companions the error can reach 30–50%. Though in the future in process of perfection of accuracy of sounding and availability of the information the given mode is represented to the most perspective.

The method of registration of cross-sections/biases of the big sites of roads in the course of movement of the vehicle on the basis of microcontroller Arduino Due, the gauge of speedups and discharge angles MPU-6050 and data recording on a SD-card is offered, application of the combined processing of the information on the basis of the developed programs in language With in the microcontroller and in module S-Function Builder in package Matlab/Simulink is considered.

By means of the offered methods registration of biases of road of difficult character by extent of 10 km is spent. And for the same road the method of use of a chart of radar scanning of the earth constructs a road cross-section. Comparison of results of methods of use of speedups and radar scanning of the earth is spent.

Good coincidence of character of change of a cross-section of road and sredne-quadratic and maximum values of heights of a cross-section of the road, received on the offered methods (a toe-out of 7–20%) is revealed.

Keywords: *the Car, a longitudinal profile/bias of road, modelling of biases of road and external indignation, microcontroller Arduino, MatLab/SimuLink.*



Владимир Георгиевич Михайлов канд. техн. наук, РБ, Минск. Специалист в области разработки систем CALS/PLM (PDM, ERP), программирования в Windows, Linux/Raspbian, Arduino/ Raspberry, автомобилестроения, моделирования динамических систем в пакетах MATLAB\SIMULIK, оценки напряженно-деформированного состояния в пакете ANSYS, испытаний подвесок, рам ТС, пневматики, гидравлики, тензометрирования.

Tel.: + 375-(029)785-09-16. E-mail: sapr7@mail.ru.

Mikhailov Vladimir (S'72–M'76–SM'80) received the D. degree (Cand. Tech. Sci., mechanical Engineering) from the Belarussian Polytechnical institute of Belarus, Minsk, in 1982.

He was a Senior Research and Engineer-designer at Minsk Automobile plant, from 1972 to 1984, Leading Research, Chief of Research laboratory in CenterSystem, Minsk (design and development ERP) from 1984 to 1991, and was leading Engineer-designer at Minsk Wheel plant from 1994 to 2010, from 2010 to 2017 was a leading engineer of Open Stock Company «Midivisana», Republic Belarus, Minsk. His research interests include design and development of Software PDM, ERP, application Oracle on C++, PL/SQL, Java, programming MC, modeling dynamic systems, vibration.

The expert in the field of system engineering CALS/PLM (PDM, ERP), programming MC, Windows, Linux/Raspbian, Arduino/Raspberry, motor industry, modeling of dynamic systems in packets MATLAB\SIMULIK (with S-Function Builder), estimations of the intense-deformed state in packet ANSYS, to tests of suspension, frames of the vechicle, a pneumatics, hydraulics.