

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

**Зыбцев Ю.В.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*Рассмотрены направления применения метода исследований, использующего доступные, распространенные и недорогие средства измерений – градуированный спидометр и обычную бытовую технику: фотоаппараты, мобильные телефоны с видеокамерой и навигаторы или приемники GPS. Применение такого метода позволит получать информацию о величине скорости движения автомобилей во время переходных процессов в онлайн-режиме.*

*Для обоснования выбора базы отсчета времени принято время Интернета – распространенный и легкодоступный показатель. Калибровка внутренних часов фотоаппаратов и видеокамеры мобильного телефона Apple Iphone 4 выполнялась видеосъемкой часов Интернета с экрана компьютера и последующим просмотром в режиме стоп-кадра в программе Virtual Dub. Съемка выполнялась на протяжении 3 минут. Это соответствует наибольшей продолжительности испытательных режимов экспериментах. Фиксировалось время появления первого кадра нужной индикации после предыдущего значения. Показано, что при оценке скорости движения на переходных режимах значения фактической скорости по ограждению и по индикации GPS практически совпадают в четырех случаях из пяти, по треку заметно отличаются. Самые точные значения дает видеозапись ограждения, исходящая из прямых замеров пути. Это предположение поддерживается и индикацией GPS. С другой стороны, трек – результат обработки спутниковых сигналов в самом приемнике, далее – в программе Vantage Point связи приемника GPS с компьютером и, наконец, в самом компьютере.*

*Экспериментальные исследования представлены в виде экспериментальных зависимостей, которые отражают диаграммы, получаемые по показаниям спидометра при разгоне, зависят от диапазона скоростей и от темпа разгона. На первой передаче, когда весь процесс разгона укладывается в 5 с, конфигурация диаграммы далека от более подробной диаграммы, построенной по показаниям акселерометра, и максимальное ускорение завышено. Однако уже на второй передаче, где длительность процесса вдвое больше, расхождение между диаграммами намного меньше, а максимальные ускорения практически одинаковы. На 4-й передаче, на участке установившегося разгона разница между ускорениями, полученными тремя разными средствами, исчисляется единицами процентов.*

*Полученные зависимости позволяют определять скорость движения автомобилей в режиме выбега, где замедления невелики, и точность построения диаграммы по спидометру намного выше, чем при разгоне.*

**Ключевые слова:** автомобиль; скорость движения; неустановившийся режим; калибровка часов фотоаппарата и видеокамеры; индикация GPS; выбег.

## Введение

Ранее основным средством измерений при испытаниях было "пятое колесо" – сравнительно недорогое устройство, измеряющее путь подсчетом оборотов велосипедного колеса. Основной недостаток – применение колеса с пневматической шиной, т.е. с недостаточно стабильным радиусом и возможным проскальзыванием. Датское устройство DYNOMET работало по тому же принципу, но снимало показания непосредственно с колеса автомобиля. В этом случае вариация радиуса была значительно выше. Ему на смену пришли системы CORRSYS-DATRON (Германия) с бесконтактным оптическим спидометром CORREVIT – устройства высокой точности, но из-за наружного навешивания на автомобиль несколько искажающие его аэродинамику (до 2,8 %). Оба последних устройства отличались высокой ценой, порядка 20 тыс. долларов. В последние годы все чаще используют приборы VBOX (Velocity Box) британской фирмы RACELOGIC. Они не нарушают аэродинамики автомобиля, несколько дешевле (около 10 тыс. долларов, а в сильно упрощенном варианте – всего 2400 \$). Все эти устройства слишком дороги для небольших исследовательских групп, а тем более аспирантов.

В ХНАДУ была разработана методика исследований, использующая доступные, распространенные и недорогие средства измерений – градуированный спидометр и обычную бытовую технику: фотоаппараты, мобильные телефоны с видеокамерой и навигаторы или приемники GPS. Впервые мы писали об этом в 2008 г. [1], и с тех пор не раз возвращались к этой теме. Главная проблема – градуировка спидометра.

## Состояние вопроса и задачи исследования

Цель настоящего исследования – обосновать наилучший способ градуировки на примере спидометра автомобиля Lada Priora и проверить возможности спидометра, как средства измерений скорости на неустановившихся режимах.

Градуировку выполняют либо путем сравнения с показаниями более точного устройства, либо параллельным измерением пути и времени и последующим вычислением скорости на этом пути. В недавней работе [2] рассказано о градуировке цифрового спидометра автомобиля Honda Civic 4D первым способом – по показаниям приемника GPS.

Для применения второго способа нужны надежные базы расстояния и времени.

**Использование ограждения дороги в качестве базы расстояния.** Значительная часть наших экспериментов проводится на дороге, идущей по дамбе водохранилища [3]. Эта дорога (рис. 1) достаточно удобна для испытаний. Она состоит из двух прямых горизонтальных участков. Покрытие в хорошем состоянии. Длина от начала большого прямого участка до начала поворота приблизительно 1700 м: по электронной карте Google Earth – 1696 м, по "Яндекс. Карты – Украина" – 1720 г. Если же брать длину до середины поворота, она по тем же картам близка к 1750 м.



Рис.1. Испытательная дорога (фото и спутниковая карта)

Дорога защищена стандартным барьерным ограждением типа 11ДО4 высотой 0,75 м по ГОСТ 26804-86, которое набрано из элементов заводского изготовления, что обеспечивает довольно точный шаг стоек –  $4\pm 0,010$  м по стандарту,  $4\pm 0,005$  м по замеру металлической рулеткой. Кроме того, вдоль дамбы установлены столбы освещения с шагом 30 м. Дополнительно на штампованные двухволновые балки ограждения в сборе нанесены полосы – черные длиной 1 м и белые по 2 м. Тщательные проверки показали, что шаг полос соблюден хорошо. Длина основного участка дороги до середины поворота составила в подсчете по стойкам 1754 г, а по полосам – 1752 г (расхождение 0,1 %). Длина меньшего участка – 756 м по стойкам, 751 м по полосам.

Новейшие спутниковые карты с высоким разрешением позволяют проверить шаг столбов освещения и черно-белых полос (рис. 2, рис. 3).

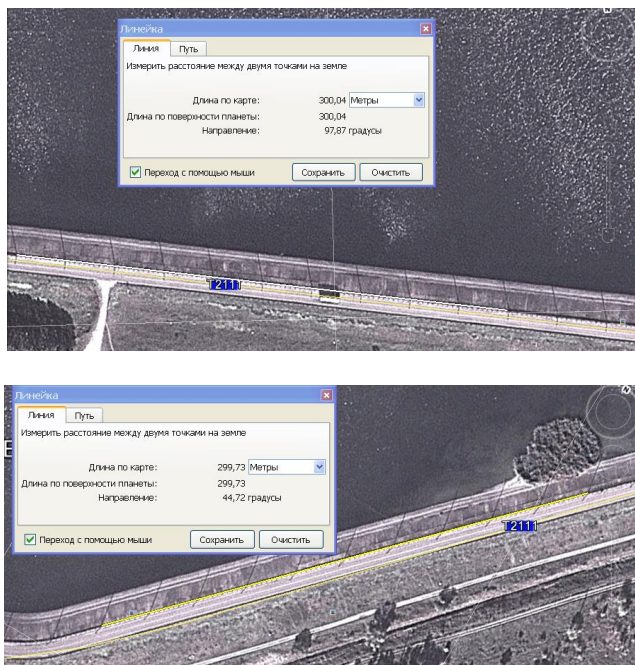


Рис.2. Фрагменты спутниковой карты длинного и короткого участков дороги



Рис.3. Увеличенный фрагмент спутниковой карты длинного участка

На врезке "Линейка" указано расстояние между 1-м и 11 столбом освещения. Оценка расстояния зависит от точности установки визира в крайних точках.

В двух пролетах между столбами (60 м) помещается 20 пар черных и белых полос

Приведенные фотографии подтверждают, что барьерное ограждение может быть использовано в качестве надежной разметки дороги с "ценой деления" 1, 2, 3 и 4 метра (рис. 4). Путь разгона и выбега автомобиля, исчисляемый сотнями метров, может быть измерен по этой разметке достаточно точно.

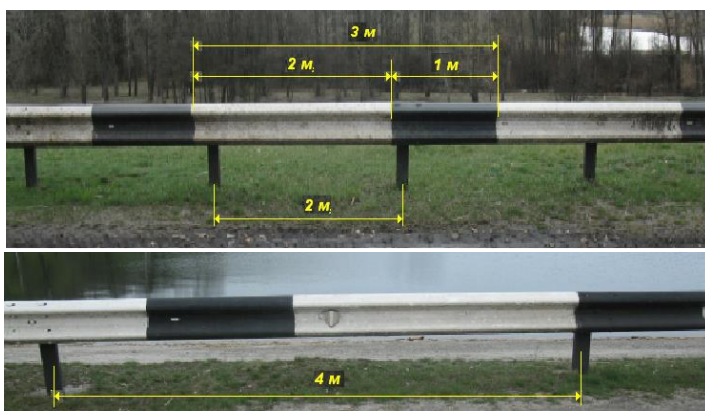


Рис.4. Использование ограждения в качестве разметки дороги на участках

**База отсчета времени.** За базу отсчета времени принято время Интернета – распространенный и легкодоступный показатель. Калибровка внутренних часов фотоаппаратов и видеокamеры мобильного телефона Apple Iphone 4 выполнялась видеосъемкой часов Интернета с экрана компьютера и последующим просмотром в режиме стоп-кадра в программе Virtual Dub (рис. 5). Съемка выполнялась на протяжении 3 минут. Это соответствует наибольшей продолжительности испытательных режимов в наших экспериментах. Фиксировалось время появления первого кадра нужной индикации после предыдущего значения (например, первого кадра с индикацией "23:11:30" после индикации "23:11:29"). Результаты калибровки приведены в табл. 1.

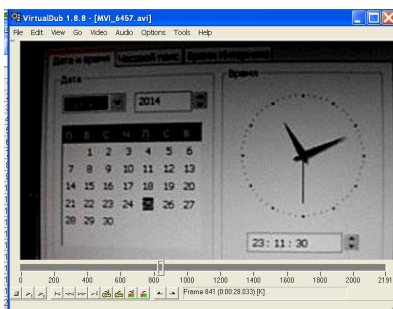


Рис.5. Часы Интернета, снятые с монитора фотоаппаратом Canon PowerShift A700, на экране монтажной программы VirtualDub

Как видно из табл. 1, наибольшая средняя совместная погрешность определения времени фотоаппаратом и программой VirtualDub составляет 0,22 %, а после замены батареек еще уменьшается. Погрешность имеет случайный характер и не накапливается (накопленная за 3 минуты погрешность совпадает со средней).

Таблица 1

**Результаты калибровки внутренних часов фотоаппаратов**

<b>A700</b>								<b>m=1,00221</b>
0	30	60	90	120	150	180		tInet
4,7	35,066	64,999	94,899	124,832	154,732	185,098		tph
	1,0122	0,99777	0,99667	0,99777	0,99667	1,0122		tph / tInet
<b>A2000</b>								<b>m=1,00174</b>
0	30	60	90	120	150	180	210	tInet
2,133	32,1	62,433	92,366	122,265	152,198	182,132	212,498	tph
	0,9989	1,0111	0,99777	0,99663	0,99777	0,9978	1,0122	tph / tInet
<b>A700</b>								<b>m=0,99936</b>
0	30	60	90	120	150	180	200	tInet
1,833	31,733	61,666	91,566	121,499	151,898	181,798	201,731	tph
	0,9966667	0,99777	0,99667	0,99777	1,0133	0,99667	0,99665	tph / tInet
<b>iphone</b>								<b>m=1,00089</b>
0	30	60	90	120	150	180		tInet
11,846	41,873	71,902	101,912	131,92	162,005	192,007		tph
	1,0009	1,00097	1,00033	1,000267	1,002833	1,000067		tph / tInet

Время приемника GPS не проверяли, так как украинский сервер точного времени time.in.ua синхронизирован с временем GPS.

**Методика, ход и результаты градуировки**

Отработка методов градуировки проводилась на автомобиле Lada Priora BA3-21703 с кузовом седан и зимними шинами Fulda Kristall Montero 3 M+S 185/60 R14 82T.

Снаряженная масса 1087 кг, на борту 4 человека. Общая масса автомобиля с людьми и оборудованием 1454 кг.

Порядок выполнения градуировки был таким: водитель вел автомобиль, выдерживая заданную руководителем скорость, и снимал на видео движение стрелок спидометра и тахометра. Первый фото- видеооператор снимал ограждение. Руководитель эксперимента задавал режимы (скорость и длительность площадки) и снимал показания приемника GPS, настроенного на индикацию текущей скорости. Оператор комплекса датчиков ускорения управлял работой комплекса и вел протокол в журнале эксперимента.

Градуировку выполняли тремя методами:

- а) сравнением показаний спидометра с показаниями приемника GPS;
- б) сравнением постоянной скорости по спидометру с частным от деления пути вдоль ограждения на время измерения;
- с) сравнением постоянной скорости по спидометру с частным от деления пути по треку GPS на время измерения.

Время измерения длилось от 70 до 120 секунд, выдерживать заданную скорость без отклонений так долго было трудно, поэтому по видеозаписям движения стрелки спидометра определяли продолжительность индикации  $t_i$  каждой скорости  $V_i$  и подсчитывали средневзвешенную скорость

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n t_i} . \quad (1)$$

Точность измерения методом "а" снижало регулярное автоматическое выключение подсветки экрана приемника GPS, которое имеет целью экономию заряда батарей. Приходилось снова включать питание.

Результаты градуировки приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Результаты градуировки спидометра

V по спидометру	12	21,7	30	38,2	50	60	70	80	90	100
V по ограждению	10,96	19,84	26,40	34,63	45,00	55,30	62,86	72,67	81,54	91,16
V по треку	12,51	19,23	27,55	34,53	45,78	54,65	62,15	71,72	79,13	90,62
V по индик. GPS	10,99	18,93	26,66	34,58	45,11					

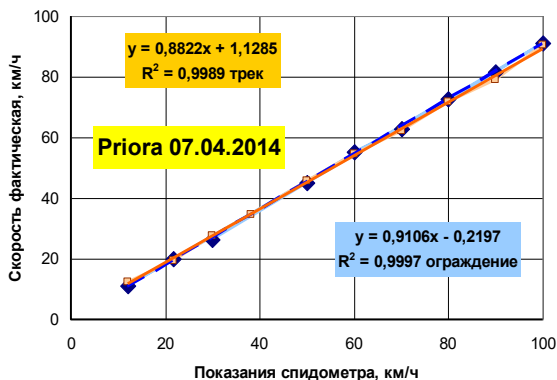


Рис.6. Градуировочные графики спидометра по двум методам

Значения фактической скорости по ограждению и по индикации GPS практически совпадают в четырех случаях из пяти, по треку заметно отличаются (рис. 6). Вероятно, самые точные значения дает видеозапись ограждения, исходящая из прямых замеров пути. Это предположение подтверждается и индикацией GPS. С другой стороны, трек – результат обработки спутниковых сигналов в самом приемнике, далее – в программе Vantage Point связи приемника GPS с компьютером и, наконец, в самом компьютере.

**Работа спидометра при испытаниях по разгону и выбегу.** Качество диаграмм (рис. 7), получаемых по показаниям спидометра при разгоне, зависит от диапазона скоростей и от темпа разгона. На первой передаче, когда весь процесс разгона укладывается в 5 секунд, конфигурация диаграммы далека от более подробной диаграммы, построенной по показаниям акселерометра, и максимальное ускорение завышено. Однако уже на второй передаче, где длительность процесса вдвое больше, расхождение между диаграммами намного меньше, а максимальные ускорения практически одинаковы ( $2,19$  и  $2,16 \text{ м/с}^2$ ). На 4-й передаче, на участке установившегося разгона разница между ускорениями, полученными тремя разными средствами, исчисляется единицами процентов (рис. 8).

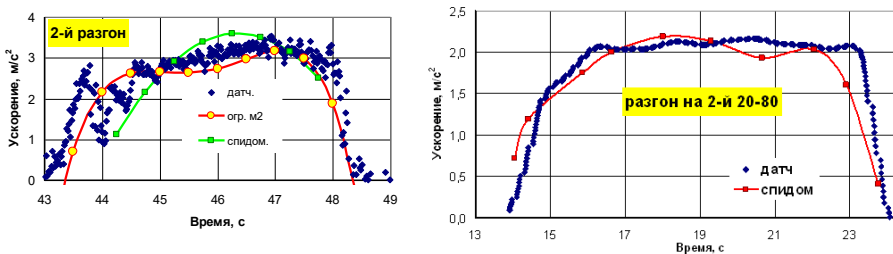


Рис.7. Диаграммы ускорения на первой (слева) и второй передачах

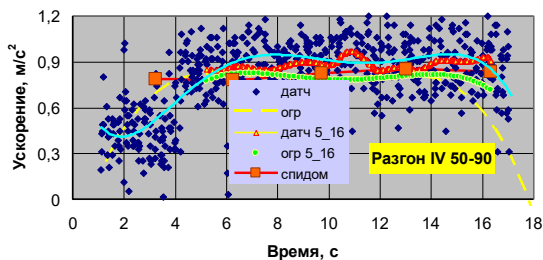


Рис.8. Диаграммы разгона на 4-й передаче

В режиме выбега, где замедления невелики, точность построения диаграммы по спидометру намного лучше, чем при разгоне – время прохождения стрелкой спидометра делений шкалы намного больше, чем при разгоне, и погрешность его определения соответственно меньше (рис. 9).

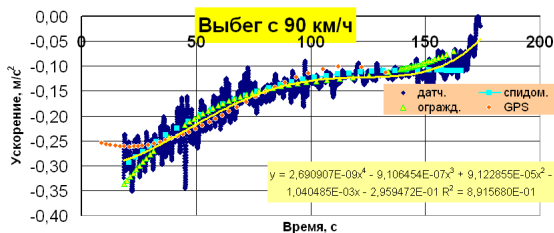


Рис.9. Диаграмма выбега с 90 км/ч, полученная разными средствами

Как видно из рис. 9, графики выбега, построенные по датчикам ускорений, по ограждению и по спидометру, достаточно близки. Важное достоинство спидометра и ограждения в этих измерениях – возможность надежного измерения самых малых замедлений (показания акселерометров в этом режиме неточны из-за ограниченной разрешающей способности). Кроме того, при малых ускорениях и замедлениях результаты измерения не искажаются демпфированием стрелки.

Главный недостаток большинства спидометров в роли измерительного прибора – отсутствие промежуточных отметок между оцифрованными точками.

## Выводы

Проградуированный спидометр может быть использован в качестве средства измерений в исследованиях движения автомобилей, хотя и с ограничениями. Градуировку следует выполнять в установившихся режимах движения по разметке дороги или по индикации приемника GPS.

Чем выше ускорение, тем больше погрешность спидометра (из-за скоротечности процессов, демпфирования стрелки и ограниченной точности считывания).

В режиме выбега при малых замедлениях у спидометра показания точнее, чем у акселерометра.



## Список использованных источников

1. Рабинович Э.Х. Определение сопротивлений движению автомобиля методом двукратного выбега / Рабинович Э.Х., Зуев В.А., Воскобойников Н.В. // *Автомобильный транспорт*: Сб. науч. трудов. – Харьков, ХНАДУ. – 2008. – вып. 22. – С. 49-52.
2. Зыбцев Ю.В. Измерение скорости автомобиля при самодиагностике на дороге / Ю.В. Зыбцев // *Український метрологічний журнал*. — 2014. — №1. — С. 35–41.
3. Рабинович Э.Х. Измерение сопротивлений движению автомобиля Chevrolet Aveo дорожным методом / Рабинович Э.Х., Волков В.П., Белогуров Е.А. / *Сб. научн. трудов VII Междунар. науч.-технич. конф. МЕТРОЛОГИЯ–2010* 12–14 октября 2010 г. Том 2. Секції 5 – 10. – Харків. – С. 98-102.

## Анотація

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА НЕСТАЛИХ РЕЖИМАХ

**Зыбцев Ю.В.**

*Розглянуто напрямки застосування методу досліджень, що використовує доступні, поширені і недорогі кошти вимірів - градуирований спідометр і звичайну побутову техніку: фотоапарати, мобільні телефони з відеокамерою і навігатори або приймачі GPS. Застосування такого методу дозволить отримувати інформацію про величину швидкості руху автомобілів під час перехідних процесів в онлайн-режимі.*

*Для обґрунтування вибору бази відліку часу прийнято час Інтернету - поширений і доступний показник. Калібрування внутрішнього годинника фотоапаратів і відеокамери мобільного телефону Apple Iphone 4 виконувалася відеозйомкою годин Інтернету з екрана комп'ютера і подальшим переглядом в режимі стоп-кадру в програмі Virtual Dub. Зйомка виконувалася протягом 3 хвилин. Це відповідає найбільшій тривалості випробувальних режимів експериментах. Фіксувалося час появи першого кадру потрібної індикації після попереднього значення. Показано, що при оцінці швидкості руху на перехідних режимах значення фактичної швидкості по огорожі і по індикації GPS практично збігаються в чотирьох випадках з п'яти, по треку помітно відрізняються. Найточніші значення дає відеозапис огорожі, яка виходить із прямих вимірів шляху. Це припущення підтримується і індикацією GPS. З іншого боку, трек - результат обробки супутникових сигналів в самому приймачі, далі - в програмі Vantage Point зв'язку зовнішній приймач GPS, комп'ютером і, нарешті, в самому комп'ютері.*

*Експериментальні дослідження представлені у вигляді експериментальних залежностей, які відображають діаграми, одержувані за показаннями спідометра при розгоні, залежать від діапазону швидкостей і від темпу розгону. На першій передачі, коли весь процес розгону укладається в 5 с, конфігурація діаграми далека від більш докладної діаграми, побудованої за показаннями акселерометра, і максимальне прискорення завищено. Однак вже на другій передачі, де тривалість процесу доввічі більше, розбіжність між діаграмами набагато менше, а максимальні прискорення практично однакові. На 4-ій передачі, на ділянці усталеного розгону різниця між прискореннями, отриманими трьома*

різними засобами, обчислюється одиницями відсотків.

Отримані залежності дозволяють визначати швидкість руху автомобілів в режимі вибігу, де уповільнення невеликі, і точність побудови діаграми по спідометрі набагато вище, ніж при розгоні.

**Ключові слова:** автомобіль; швидкість руху; несталий режим; калібрування годинника фотоапарата і відеокамери; індикація GPS; вибіг.

## Abstract

### IMPROVING THE METHODOLOGY FOR MEASURING THE SPEED OF VEHICLES IN TRANSIENT MODES

Y.Zybtsev

*The directions of applying the research method using affordable, widespread and inexpensive measuring instruments — graduated speedometers and conventional household appliances: cameras, mobile phones with a video camera and navigators or GPS receivers are considered. The application of this method will allow to obtain information about the value of the speed of vehicles during transients in online mode.*

*To justify the choice of a base, the time of the Internet is accepted - a common and easily accessible indicator. Calibration of the internal clock of cameras and camcorders of the Apple Iphone 4 mobile phone was carried out by video recording of the Internet clock from a computer screen and then viewing it in freeze-frame mode in the Virtual Dub program. The shooting was carried out for 3 minutes. This corresponds to the longest duration of the test modes of experiments. The time of occurrence of the first frame of the desired indication after the previous value was fixed. It is shown that when assessing the speed of movement in transitional regimes, the values of the actual speed along the fence and according to the GPS indication practically coincide in four out of five cases, noticeably differ on the track. The most accurate values are given by the video of the fence, proceeding from direct measurements of the path. This assumption is supported by the GPS indication. On the other hand, the track is the result of processing the satellite signals in the receiver itself, then in the Vantage Point program connecting the GPS receiver with the computer and, finally, in the computer itself.*

*Experimental studies are presented in the form of experimental dependencies, which reflect the diagrams obtained from the readings of the speedometer during acceleration, depending on the speed range and on the acceleration rate. In the first gear, when the entire acceleration process is within 5 s, the configuration of the diagram is far from a more detailed diagram constructed according to the readings of the accelerometer, and the maximum acceleration is overestimated. However, already in the second gear, where the duration of the process is twice as long, the discrepancy between the diagrams is much smaller, and the maximum accelerations are almost identical. In 4th gear, in the area of steady acceleration, the difference between the accelerations obtained by three different means is calculated in units of percent.*

*The obtained dependences make it possible to determine the speed of cars in the coast mode, where decelerations are small, and the accuracy of plotting the diagram by the speedometer is much higher than during acceleration.*

**Keywords:** car auto; movement speed; transient mode; calibration of the clock of the camera and camcorder; GPS indication; run out.