

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

УДК 658.345:656.0

*Д. П. ХОДОСКИН, аспирант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск***МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ
ЛИДИРУЮЩЕГО И ВЕДОМОГО АВТОМОБИЛЕЙ И ДИСТАНЦИИ МЕЖДУ НИМИ.
ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Разработана методика проведения исследований и обработки результатов по измерению мгновенных скоростей лидирующего и ведомого автомобилей и дистанции между ними при подъезде к РПК и РПХ. Данные параметры необходимы для исследования механизма движения автомобилей в зоне дилеммы и разработки, на основе полученных результатов, мероприятий по предотвращению столкновений с ударом сзади. При применении схожей методики, разработанной в БНТУ, исследователь имеет возможность измерить искомые параметры только у одного автомобиля из движущейся пачки, а в приведенной статье предложена методика, с помощью которой у исследователя есть возможность измерить те же параметры для каждого автомобиля из пачки.

Также в статье предложена методика по оценке полученных результатов при помощи эмпирических параметров, погрешностей разного рода, величины минимальной выборки, коэффициентов корреляции и детерминации, критериев Стьюдента и Фишера.

Для исследования характера изменения скорости и дистанции в зоне дилеммы и на подъезде к ней необходимо обладать соответствующей методикой для измерения данных параметров. Основной целью данной статьи является разработка методики для измерения мгновенной скорости лидирующего и ведомого автомобилей и дистанции между ними при подъезде к РПК и РПХ. Приведенная ниже методика определения искомых параметров базируется на методике определения мгновенных скоростей, изложенной в работе [1].

Методика измерений. Место проведения замеров выбирается на перегоне улицы (возможно, и вблизи РПК или РПХ для определения скорости подхода) с умеренным или интенсивным движением, желательно в «час пик». Подыскивается участок рядом с проезжей частью, где имеется свободная площадка, с которой хорошо просматривается улица на расстоянии 50–60 м. Желательно, чтобы водители не замечали проведения измерений, иначе они будут отвлекаться или сбавлять скорость. Замеры выполняются для одной полосы движения. Для выполнения данной работы достаточно одного человека (т. е. исследователя или наблюдателя). Желательно, чтобы время прохождения автомобилем мерного участка находилось в пределах $t = 3 \dots 6$ с, для чего протяженность участка s_1 должна быть в пределах 40–60 м.

Сбор информации осуществляется с помощью видеокамеры или фотоаппарата (имеющего функцию видеосъемки) по схеме, изображенной на рисунке 1.

Порядок проведения замеров на местности. Перед тем как начать замеры, необходимо определить некоторые исходные данные: расстояние s_0 между ориентирами O , а также расстояния b_1 и b_0 . Эти расстояния измеряются с помощью рулетки. В качестве ориентиров могут выступать опоры линии электропередач, столбики ограждений, деревья; если же они отсутствуют в месте замера, то можно использовать геодезические вешки.

Исследователь с видеокамерой [желательно, чтобы видеокамера (фотоаппарат) находилась на штативе] становится в точку, определенную на рисунке 1. Причем объектив камеры (фотоаппарата) должен все время находиться в неподвижном положении и единомоментно захватывать всё расстояние s_1 , включая точки O_1 . Исследователь включает запись за несколько секунд до вхождения лидирующего автомобиля в точку O_1 (левую) и выключает ее, как только ведомый автомобиль (последний в пачке) пройдет точку O_1 (правую). Рекомендуется производить выборку из 100 значений.

Определение мгновенной скорости начинаем с нахождения расстояния s_1 по следующей формуле [1]:

$$s_1 = s_0 \left(1 + \frac{b_1}{b_0} \right). \quad (1)$$

Дальнейшая обработка исходной информации происходит на компьютере при помощи программ воспроизведения видеозаписи (Windows Media Player, Quick time Media Player и т. п.).

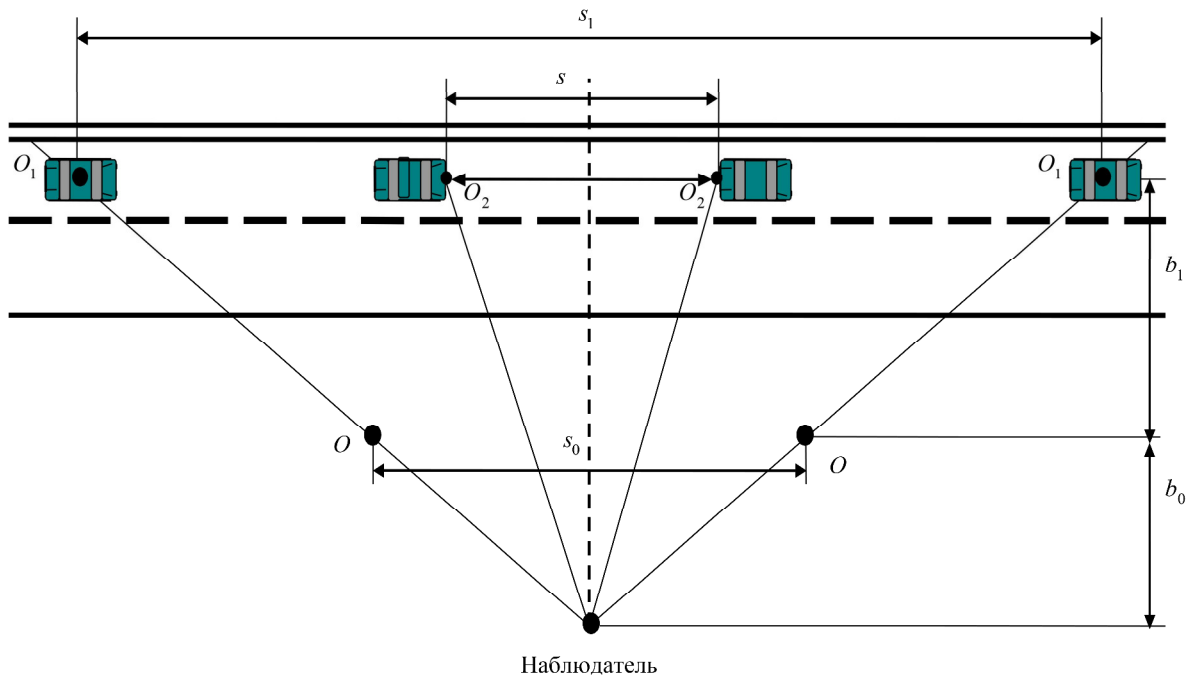


Рисунок 1 – Схема производства замеров мгновенных скоростей и дистанции

Причем скорость воспроизведения полученной записи на экране монитора необходимо установить 1×1.

Замеры производятся с помощью секундомера. В тот момент, когда автомобиль на мониторе проходит точку O_1 (левую), включаем секундомер, а когда точку O_1 (правую), то выключаем. Преимущество видеозаписи в том, что можно определить мгновенные скорости всех автомобилей в пачке (при помощи воспроизводства записи несколько раз), а проделывая данный опыт в полевых условиях, исследователь успевает определить скорость только одного автомобиля.

Далее по каждому из замеров определяем искомую мгновенную скорость:

$$v = \frac{s_1}{t}, \quad (2)$$

где t – время, определенное с помощью секундомера, с.

Определение дистанции. Перед тем как начать снятие замеров, необходимо с помощью линейки на мониторе определить расстояние $s_{01\text{лин}}$ между точками O_1 (с точностью до 0,1 см). Коэффициент перерасчета α находится как отношение расстояния s_1 , определенного по формуле (1) в метрах, и расстояния $s_{01\text{лин}}$ в сантиметрах:

$$\alpha = \frac{s_1}{s_{01\text{лин}}}. \quad (3)$$

Искомой дистанцией между лидирующим и ведомым автомобилями является расстояние s (см. рисунок 1). Данное расстояние также определяется с помощью воспроизведения видеозаписи на компьютере. Воспроизведение останавливается, когда лидирующий автомобиль находится в точке O_2 (правой), а ведомый – в точке O_2 (левой). Опять же с помощью линейки определяем расстояние $s_{02\text{лин}}$ между точками O_2 . Тогда искомая дистанция

$$s = \alpha s_{02\text{лин}}. \quad (4)$$

Обработка результатов. Определение мгновенных скоростей лидирующего и ведомого автомобилей, а также дистанции между ними сводим в таблицы 1 и 2 соответственно (данные таблицы приведены в сокращенной форме).

Дистанцию между лидирующим и ведомым автомобилями можно выразить двумя характеристиками: расстоянием между автомобилями в метрах и временным интервалом между автомобилями в секундах, зачастую второй вариант приемлемее.

В случае, если поставленная задача заключается в определении временного интервала между автомобилями, то можно, воспользовавшись следующей формулой, определить искомую величину:

$$t = \frac{s}{v_{\text{вед}}}, \quad (5)$$

где s – дистанция между автомобилями, м; $v_{\text{вед}}$ – скорость ведомого автомобиля, м/с.

Таблица 1 – Изменения мгновенных скоростей автомобилей на расстоянии 150 м от стоп-линии при подъезде к РПК ул. Советская – ул. Головацкого (при $s_1 = 51,8$ м)

№ измерения	$t_{\text{лид}}, \text{с}$	$v_{\text{лид}}, \text{М/с}$	$t_{\text{вед}}, \text{с}$	$v_{\text{вед}}, \text{М/с}$	№ измерения	$t_{\text{лид}}, \text{с}$	$v_{\text{лид}}, \text{М/с}$	$t_{\text{вед}}, \text{с}$	$v_{\text{вед}}, \text{М/с}$
1	3,853	13,44	4,304	12,04	51	4,897	10,58	4,489	11,54
2	4,512	11,48	4,602	11,26	52	5,212	9,94	4,896	10,58
...
50	4,143	12,50	4,176	12,40	100	5,200	9,96	5,228	9,91

Таблица 2 – Изменение дистанций между автомобилями на расстоянии 150 м от стоп-линии при подъезде к РПК ул. Советская – ул. Головацкого (при $s_1 = 51,8$ м, $s_{0\text{лид}} = 32,4$ см, соответственно $a = 1,599$)

№ измерения	$s_{0\text{лид}}, \text{см}$	$s, \text{М}$	№ измерения	$s_{0\text{лид}}, \text{см}$	$s, \text{М}$
1	7,3	11,62	51	5,3	8,56
2	6,3	10,12	52	4,9	7,87
...
50	6,3	10,05	100	5,3	8,47

В случае необходимости расчета данного параметра его можно внести в последний протокол четвертым столбцом.

Ниже в табличной форме представлены результаты диссертационного исследования автора по приведенной в данной статье методике (таблица 3).

Для оценки выборочных совокупностей определяем эмпирические параметры (т. е. параметры выборок по скоростям и дистанции (в метрах или в секундах):

– математическое ожидание

$$\bar{v} = \frac{\sum (v_i n_i)}{\sum n_i}, \quad (6)$$

– среднее квадратическое отклонение по скорости

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum (v_i - \bar{v})^2 n_i}{\sum n_i}}, \quad (7)$$

– коэффициент вариации

$$I_v = \frac{\sigma_v}{\bar{v}}, \quad (8)$$

где n_i – число замеров, составляющих выборку (или входящих в данную группу); v_i – скорость при данном замере (или скорость данной группы), м/с.

Формулы для расчетов параметров для выборки по дистанции аналогичны вышеизложенным.

Затем производим расчет погрешностей для оценки математического ожидания и среднее квадратическое отклонения. Погрешность δ для оценки математического ожидания (среднего арифметического) определяется по формулам:

– при неизвестной дисперсии

$$\delta = t \frac{\eta}{\sqrt{n_i}}; \quad (9)$$

– при известной дисперсии –

$$\delta = t_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{n_i}}, \quad (10)$$

где t – квантиль нормального распределения при заданной доверительной вероятности γ ; t_γ – квантиль распределения Стьюдента, определяется по таблице распределения Стьюдента в зависимости от γ и $n_i - 1$ (по соответствующим таблицам) [2]; σ – среднее квадратическое отклонение; η – исправленное (стандартное) среднее квадратическое отклонение,

$$\eta = \sigma \frac{n_i}{n_i - 1}, \quad (11)$$

где n_i – число замеров (объектов в выборке).

Погрешность для оценки среднее квадратическое отклонения

$$\delta = \eta \Phi, \quad (12)$$

где Φ находится по соответствующим таблицам [2] в зависимости от n_i и γ .

С помощью определенной погрешности для оценки математического ожидания необходимо проверить выборку на ее численное соответствие полученным параметрам, определив ее минимальное количество. Минимальное количество замеров (минимальный объем выборки)

$$n_{\text{min}} = \frac{t^2 \sigma^2}{\delta^2}. \quad (13)$$

Для создания зрительной картины целесообразно представить результаты измерений в виде графиков: $s = f(v_{\text{вед}})$, $s = f(v_{\text{лид}})$, $t = f(v_{\text{вед}})$, $v_{\text{вед}} = f(v_{\text{лид}})$.

Таблица 3 – Сводная аналитическая таблица по результатам проведенных исследований

Наименование показателя		Расстояние до стоп-линии 150 м	Расстояние до стоп-линии 100 м	Расстояние до стоп-линии 50 м	
1	Средняя скорость лидирующего автомобиля, м/с	11,7	11,1	8,09	
2	Средняя дистанция между автомобилями, м	9,92	9,33	8,17	
3	Средняя скорость ведомого автомобиля, м/с	11,4	10,80	7,84	
4	Средний временной интервал между автомобилями, с	0,88	0,87	1,07	
5	Среднеквадратическое отклонение по скорости лидирующего автомобиля, м/с	1,85	1,65	2,12	
6	Среднеквадратическое отклонение по дистанции, м	1,61	1,34	1,35	
7	Среднеквадратическое отклонение по скорости ведомого автомобиля, м/с	1,80	1,67	2,05	
8	Среднеквадратическое отклонение по временному интервалу между автомобилями, с	0,13	0,08	0,16	
9	Коэффициент вариации по скорости лидирующего автомобиля	0,16	0,15	0,26	
10	Коэффициент вариации по дистанции	0,16	0,14	0,17	
11	Коэффициент вариации по скорости ведомого автомобиля	0,16	0,15	0,26	
12	Коэффициент вариации по временному интервалу между автомобилями	0,15	0,10	0,15	
13	Скорость лидирующего автомобиля	Погрешность для оценки математического ожидания	0,31	0,27	0,35
		Минимальный объем выборки	99	99	99
14	Дистанция между лидирующим и ведомым автомобилями	Погрешность для оценки математического ожидания	0,27	0,22	0,22
		Минимальный объем выборки	99	99	99
15	Скорость ведомого автомобиля	Погрешность для оценки математического ожидания	0,30	0,28	0,34
		Минимальный объем выборки	99	99	99
16	Временной интервал между автомобилями	Погрешность для оценки математического ожидания	0,02	0,01	0,03
		Минимальный объем выборки	99	99	99
17	Зависимость дистанции от скорости лидирующего автомобиля	Коэффициент корреляции	0,544	0,7895	0,833
		Коэффициент детерминации	0,296	0,623	0,695
		Критерий Стьюдента	6,418	12,734	14,905
		Критерий Фишера	41,284	162,147	222,830
		Уравнение регрессии	$y(x) = 0,474 x + 4,379$	$y(x) = 0,639 x + 2,208$	$y(x) = 0,531 x + 3,873$
18	Зависимость дистанции от скорости ведомого автомобиля	Коэффициент корреляции	0,511	0,796	0,829
		Коэффициент детерминации	0,261	0,634	0,688
		Критерий Стьюдента	5,884	13,018	14,674
		Критерий Фишера	34,592	169,639	215,868
		Уравнение регрессии	$y(x) = 0,458 x + 4,700$	$y(x) = 0,639 x + 2,404$	$y(x) = 0,548 x + 3,875$
19	Зависимость скорости ведомого автомобиля от скорости лидирующего автомобиля	Коэффициент корреляции	0,954	0,936	0,978
		Коэффициент детерминации	0,909	0,876	0,957
		Критерий Стьюдента	31,501	26,324	46,412
		Критерий Фишера	978,923	692,322	2181,07
		Уравнение регрессии	$y(x) = 0,926 x + 2,079$	$y(x) = 0,944 x + 1,146$	$y(x) = 0,944 x + 0,740$
20	Вычисленные методом интерполяции критические значения	Критерия Стьюдента	1,9846		
		Критерия Фишера	3,9382		

Для примера на рисунке 2 приведена зависимость $s = f(v_{\text{вед}})$ на расстоянии 150 м от стоп-линии на РПК ул. Советская – ул. Головацкого г. Гомеля. Все данные графики можно построить при использовании программы Microsoft Excel. С помощью встроенных в Excel (или другие математико-статистические приложения) функций необходимо провести регрессионно-корреляционный анализ полученных зависимостей. Данная программа позволяет построить уравнение линейной регрессии, рассчитать коэффициенты детерминации ($R_{\xi\eta}^2$) и корреляции ($R_{\xi\eta}$) (см. рисунок 2). Коэффициент корреляции определяется с помощью встроенной функции КОРРЕЛ. Он является основной числовой характеристикой, определяющей меру линейной регрессионной зависимости между двумя случайными величинами ξ и η , т. е. ее близость к линейной функциональной зависимости.

Для характеристики качества описания зависимости между случайными величинами уравнением регрессии используется коэффициент детерминации. Очевидно, что чем теснее результаты наблюдения примыкают к линии регрессии, тем лучше уравнение описывает существующую зависимость. И поэтому уравнение регрессии может быть применено для практических расчетов с большей надежностью.

Оценки коэффициентов корреляции и детерминации являются случайными величинами, т. к. для различных выборок одной и той же пары величин оценки могут принимать различные значения. Для малых выборок эти различия будут особенно существенными, и при значениях коэффициентов корреляции (детерминации), близких к 0, могут приводить к большим относительным погрешностям оценок и, следовательно, неверным статистическим выводам. Поэтому в исследованиях следует проверять значимость отличия оценки коэффициента корреляции (детерминации) от 0.

Проверка значимости позволяет сделать вывод либо о существенности описания зависимости уравнением регрессии, либо о том, что данное уравнение практически никак не определяет существующую зависимость между случайными величинами, а ненулевое значение оценки коэффициента корреляции (детерминации) обусловлено лишь случайностью выборки [2].

Чтобы сделать статистический вывод о значимости оценки коэффициента корреляции при проверке линейности регрессионной зависимости используется критерий значимости t – критерий Стьюдента, определяемый выражением

$$t = R_{\xi\eta} \sqrt{\frac{n_i - 2}{1 - R_{\xi\eta}^2}}. \quad (14)$$

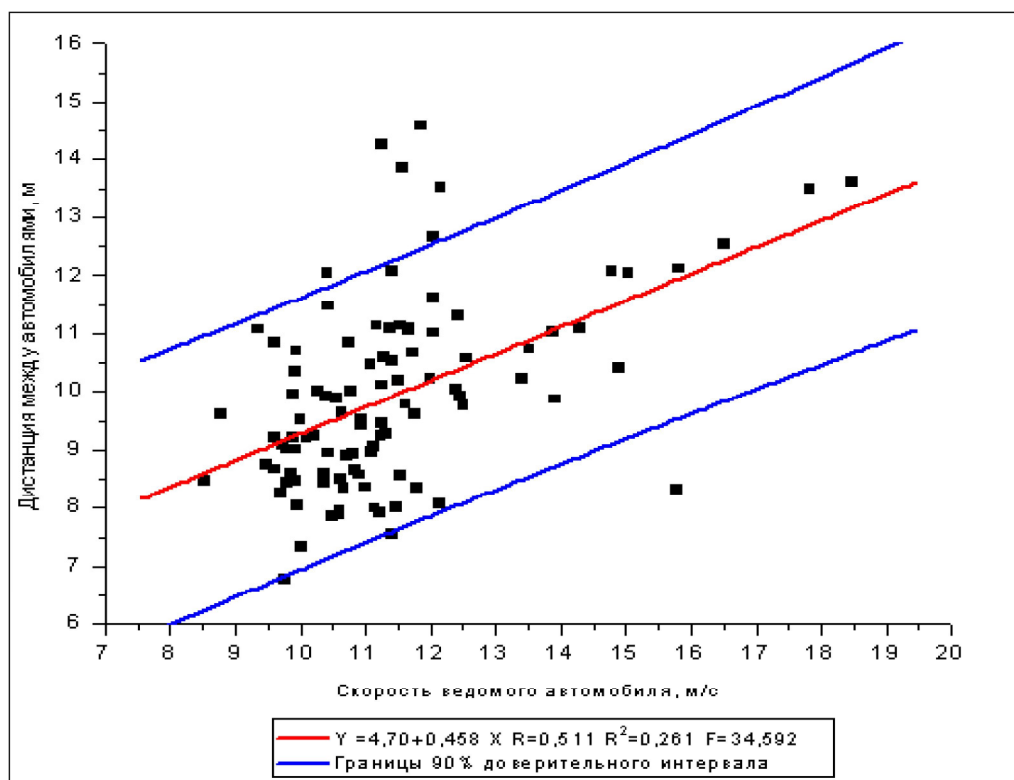


Рисунок 2 – Зависимость $s = f(v_{\text{вед}})$ на расстоянии 150 м от стоп-линии на РПК ул. Советская – ул. Головацкого г. Гомеля

Для проверки значимости оценки коэффициента детерминации используется критерий значимости F – критерий Фишера:

$$F = R_{\xi\eta}^2 \frac{n - m}{(m - 1)(1 - R_{\xi\eta}^2)}, \quad (15)$$

где m – число неизвестных параметров предполагаемого уравнения регрессии (т. е. количество неизвестных коэффициентов), определяемых по методу наименьших квадратов [2].

В случае, если расчетные значения этих критериев больше табличных, то делается вывод о возможности использования данного уравнения регрессии в дальнейших исследованиях.

Полученная методика позволяет на практике без применения специфических измерительных приборов, которые зачастую недоступны для исследователя и тем более для студента, определять мгновенные скорости лидирующего и ведомого автомобилей. При этом, основываясь на ряде достаточно простых вычислений, можно также рассчитать и дистанцию между этими автомобилями, что необходимо в ходе изучения модели автомобильного движения: ее построения, анализа и прогнозирования движения на объекте дорожной сети, аварийности участка.

Получено 20.10.2010

D. P. Khadoskin. The methods of the measurement to instant speeds of the first and the second cars, and distances between them. The estimation of received results.

In this article is designed methods of the undertaking the studies and processing results on measurement of the instant speeds the first and the second of the cars and distances between them at entrance to CPC and CCR. This parameters required for study of the mechanism of the motion in zone of the dilemma and development on base received results action for prevention of the collisions with blow behind. Under use-thread of the similar methods designed in BNTU researcher has a possibility to measure the sought parameters only beside one car from moving packs, but in brought article is offered methods, by means of mounted-swarm there is possibility beside researcher to measure same parameters for each car from pack.

Also methods is offered in article on estimation got result, with the help of: empirical parameters, inaccuracy of the miscellaneous of the sort, values of the minimum sample, factor to correlations and determinations, tests of Student and Fisher.

Аналитическая часть методики позволяет оценить полученные данные, прежде чем производить дальнейшую работу с ними (с использованием вышеуказанных критериев и т. д.), сочетая в себе элементы математической статистики и анализа.

Таким образом, в результате применения методики мы получаем набор данных, обладающих рядом оценочных характеристик, позволяющих оценить его как выборку, подходящую для дальнейшей работы, или же продолжить измерения за недостаточностью выборки и несоответствии ее базовым критериям оценки.

Следует отметить, что полученная методика будет полезна при проведении научно-исследовательских работ, а также студентам при выполнении курсовых и расчетно-графических работ.

Список литературы

1 Врубель, Ю. А. Исследования в дорожном движении : учеб.-метод. пособие к лабораторным работам для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» / Ю. А. Врубель. – Мн. : БНТУ, 2007. – 178 с.

2 Шевченко, Д. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб.-метод. пособие для студентов электротехнических специальностей / Д. Н. Шевченко. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 318 с.