



ОПТИМИЗАЦИЯ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В контексте уменьшения ресурсов и изменения климата снижение потребления дорожных транспортных средств является ключевым моментом для достижения требований по снижению выбросов CO₂. В дополнение к технологическим достижениям автомобилей, эко-вождение является частью решения, но дорожная инфраструктура должна обеспечивать ее развитие. Цель этой работы заключается в демонстрации того, что спрос на энергию на дорогах и связанные с этим выбросы загрязняющих веществ могут быть уменьшены путем разработки незначительной оптимизации самой дорожной инфраструктуры. Для этого был использован простой метод эко-вождения на основе учета параметров инфраструктуры, таких как уклоны и расстояния видимости. Этот критерий направлен на обнаружение неверных положений разделения скорости (MSP) в отношении точки начала замедления (SPD); при этом разделение скорости представляет собой последовательность изменений скорости вдоль заданного маршрута. Затем была разработана усовершенствованная формулировка потерь энергии для количественной оценки потерь энергии транспортными средствами из-за неверного размещения дорожных знаков. Наконец, моделирование движения является основой для оценки энергопотребления, учитывающей полный поток транспортных средств на основе реальных данных о движении и путем моделирования различных моделей поведения водителей. Результаты моделирования показывают, что значительное сокращение топлива может быть достигнуто на основании применения указанного метода.

Дорога, энергопотребление, скоростные ограничения, эко-вождение, моделирование дорожного движения.

По данным международной группы экспертов International Panel on Climate Change (IPCC), изменение климата требует сокращения выбросов от транспорта на 15 % [1]. Однако в настоящее время транспортный сектор увеличивает свои выбросы на 2,5 % каждый год. Это означает, что в 2014 году транспортный сектор обеспечивал более 28 % мировых потребностей в энергии [2, 3]. Новые прогнозы ухудшаются, и достичь цели в уменьшении прогноза повышения мировой температуры на 1,5 градуса Цельсия становится все сложнее. Транспортный сектор особенно озабочен потреблением энергии и использует ископаемое топливо на 80 %. Чтобы снизить влияние транспорта на климат, необходимо поощрять эко-вождение, ограничивать использование автомобилей, повышать эффективность транспортных средств и снижать спрос на энергию.

Небольшая адаптация дорожной инфраструктуры, такая как использование энергоэффективных материалов и технологий, может значительно снизить потребление энергии и уменьшить выбросы парниковых газов, связанных с транспортом. В настоящее время большинство транспортных средств используют ископаемое топливо, что приводит к прямым выбросам в атмосферу продуктов сгорания и оказывает негативное влияние на изменение климата. Поэтому сокращение энергопотребления путем использования более эффективных материалов и технологий является важным шагом в борьбе с изменением климата и сокращением выбросов.

Ограничение использования автомобиля посредством смены видов транспорта может привести к высокой экономии энергии, главным образом в густонаселенных районах (велосипедные дорожки, автобусы, трамваи). В отличие от крупных городов с широкой сетью общественного транспорта и альтернативных видов передвижения, автомобильная зависимость остается высокой за пределами мегаполисов [4, 5]. Если люди не хотят или не могут по ряду причин отказываться от автомобилей, они могут снизить свой расход топлива и выбросы CO₂, используя эко-драйв. Экспериментальные исследования показали, что такой способ может сэкономить до 17 и 21 % выбросов CO₂ при использовании бензиновых и дизельных двигателей соответственно, но только при условии сдерживания роста времени в пути [6].

Эко-маршруты – еще один метод оптимизации энергопотребления в поездке [7]. Он включает в себя управление скоростью автомобиля, чтобы избежать замедления или остановки на красный сигнал светофора, что может сэкономить до 19 % энергии [8]. Профиль дороги также может быть учтен в исследованиях, посвященных водителям, с учетом их индивидуальных скоростей, что увеличивает выигрыш [9].

Дорога может быть оптимизирована на этапе проектирования для снижения энергопотребления транспортных средств во время ее фазы использования [10]. Это может помочь в сравнении различных проектов или оптимизации продольного профиля дороги.

Однако многие исследования не учитывают уже существующие дороги, и связь между параметрами

инфраструктуры и энергопотреблением не была полностью изучена [11]. Например, было обнаружено, что уклон дороги и радиус поворота могут иметь соответствующее влияние на энергопотребление в раз- мере 18 и 37 % соответственно [12].

Исследования проводились в городе Вологде. На- селение города – порядка 307 тыс. человек, уровень автомобилизации – около 350 автомобилей на 1000 жителей. Все основные перекрестки и городские ули- цы оснащены детекторами сети ИТС (более 300 еди- ниц), отслеживающими номера и скорость движения транспортных средств. 69 светофоров (90 % от обще- го числа) подключены к данной сети. В настоящее время на нескольких пробных участках дорог реали- зуется адаптивная технология регулирования циклов работы светофоров в зависимости от степени загрузки дорог.

В качестве исходных данных нами были получе- ны от Центра организации дорожного движения горо- да данные от детекторов транспорта на одной из ма- гистральных улиц города за 1 сутки в прямом и об- ратном направлении (рис. 1).

В рамках исследований по снижению энергопо- требления дорог основное внимание уделяется води- телям и транспортным средствам. Влияние на инфра- структуру в основном связано с неадекватными огра- ничениями скорости, а не с их оптимизацией для энергоэффективности или безопасности дорожного движения. Практически все решения по планирова- нию и эксплуатации дорог связаны с безопасностью и мобильностью, и это реальная возможность добавить энергосбережение к этим критериям. Если время пути может быть немного увеличено, то смягчение послед- ствий изменения климата может быть достигнуто, в то время как безопасность не может пострадать. По- этому настоящая методология всегда предусматрива- ет расширение зон с низкой скоростью для обеспече- ния соответствия между уклонами, динамикой авто- мобиля и разделением скоростей. Преобладание зон

более высокой скорости над зонами более низкой скорости не является вариантом.

На основе этого исследование [13] продемонст- рировало преимущества изменения положения до- рожных знаков, чтобы улучшить экологичное вожде- ние, применимость в неблагоприятной ситуации, ко- гда транспортному средству приходится замедлять скорость на спусках. Что касается экологических и экономических аспектов, водители готовы к эковож- дению, но есть места на их маршрутах, где они не мо- гут использовать его. В работе [14], где и был пред- ставлен впервые данный метод оптимизации, рас- сматриваются такие места, которые водители воспринимают как изменение скоростного режима без соответствующей дистанции для замедления, что про- тиворечит эковождению. Эти места будут называться MSP (Misplaced Speed-sectioning Point). Эти точки не соответствуют эковождению и не должны использо- ваться в таких местах. Также позиция SPD (Starting Point of Deceleration) определяется как соответствующее положение, в котором водитель ощущает необхо- димость замедления и дает команду, чтобы выпол- нить это замедление. Предполагается, что скоростные ограничения на дороге являются результатом дейст- вия дорожного знака, наряду с другими элементами дороги, такими как круговые развязки, съезды с доро- ги, лежащие полицейские и т.д. В дальнейшем будем использовать положения теории, предложенные в ра- боте [14].

Положение SPD учитывает реакцию водителя, время, которое составляет порядка 1–2 с, соответст- вующее пройденное расстояние обозначалось как dreact. Рисунок 2 иллюстрирует концепцию MSP – переход между двумя равноскоростными участками маршрута. Переход представлен вертикальной сплошной линией по оси абсцисс MSP. До этого пре- дела установленная скорость будет VSPD. После – становится VMSP.

1	Date of commit	Place of fixation	Direction	traffic lane	car registration number	Speed
2	12.10.2022, 23:52:39	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	M229AM35	23
3	12.10.2022, 23:51:46	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	P042MH11	36
4	12.10.2022, 23:47:40	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	E730YT35	40
5	12.10.2022, 23:42:57	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	T111HY35	14
6	12.10.2022, 23:42:49	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	1	K350CT35	30
7	12.10.2022, 23:42:31	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	B987HM147	23
8	12.10.2022, 23:41:27	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	1	B585XK35	51
9	12.10.2022, 23:40:49	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	C876OT35	36
10	12.10.2022, 23:39:13	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	C300PC35	47
11	12.10.2022, 23:38:15	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	1	K469TM35	32
12	12.10.2022, 23:36:18	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	E696EM35	23
13	12.10.2022, 23:35:31	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	T366PH98	24
14	12.10.2022, 23:35:12	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	K320HK35	73
15	12.10.2022, 23:34:39	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	M612YY35	20
16	12.10.2022, 23:33:54	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	1	K328PH35	38
17	12.10.2022, 23:33:02	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	E738AH11	40
18	12.10.2022, 23:32:54	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	T890HP35	44
19	12.10.2022, 23:31:59	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	2	K251CB35	19
20	12.10.2022, 23:31:21	DT-15.1 st. Gorlky - st. Prokatova	To the camera	1	E266CC35	26

Рис. 1. Формат выгрузки данных с детектора ИТС

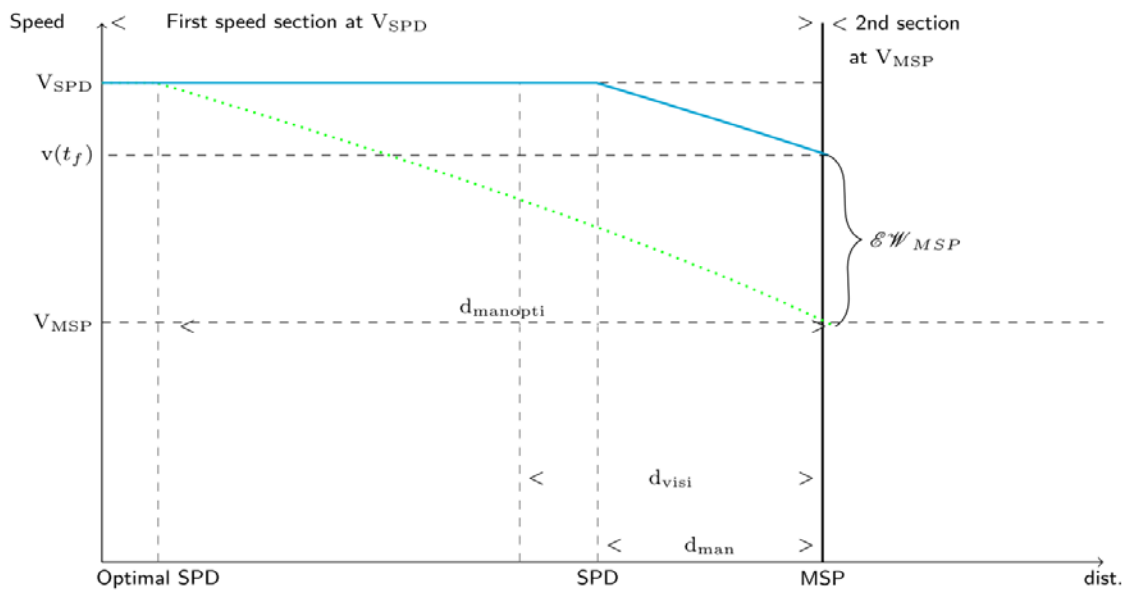


Рис. 2. Траектории эко-вождения через правильно спроектированные (пунктирная линия) и нерационально спроектированные (сплошная линия) участки дороги

Линии на графике (рис. 2) представляют траектории движения эко-водителя или оптимальной установки системы управления автономного транспортного средства, который отпускает педаль газа, как только видит/считывает знак ограничения скорости и начинает замедляться в точке SPD. В случае пунктирной линии на графике знак скорости расположен идеально, так как транспортное средство достигает его на точке регулирования скорости. Это конфигурация, направленная на искомую оптимизацию. Сплошная линия на графике характеризует траекторию, когда водитель или система управления, хотя и придерживаются режима эко-вождения, должны применить торможение при достижении точки MSP.

В начале разрабатывается критерий для определения скорости знаков, размещенных в местах, неоптимизированных для эко-вождения, и расчета потерь энергии, связанных с обнаружением неуместных знаков (местоположение MSP). Данный критерий используется в качестве инструмента для корректирования дорожной инфраструктуры в случае определения, соответствует ли знак скорости требованиям эко-вождения на заданном маршруте. Движение транспортных средств оценивается в заранее определенных точках MSP и SPD, расположенных между этими точками. Энергия, рассеиваемая во время движения без торможения и ускорения, называется естественным замедлением. Она сравнивается с энергией, необходимой для достижения нормативных скоростей при MSP и VMSP от скорости транспортного средства на SPD и VSPD соответственно. Энергия, необходимая для отведения транспортного средства массы m между точками SPD и MSP, определяется как разность механической энергии:

$$\Delta E_m = \Delta E_k + \Delta E_p, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где ΔE_k – кинетическая энергия транспортного средства, Дж;

ΔE_p – потенциальная энергия транспортного средства, Дж.

Кинетическая энергия ΔE_k может быть рассчитана как:

$$\Delta E_k = 0,5(V_{SPD}^2 - V_{MSP}^2), \text{ Дж}. \quad (2)$$

Потенциальная энергия ΔE_p может быть рассчитана как:

$$\Delta E_p = mg(h_{SPD} - h_{MSP}), \text{ Дж}, \quad (3)$$

где h_{SPD} – высота над уровнем моря точки SPD, м;
 h_{MSP} – высота над уровнем моря точки MSP, м.

Эта разница в механической энергии транспортного средства должна быть рассеяна без использования тормозных механизмов, а в лучшем случае подлежит рекуперации. Однако величина этой разницы уже является критерием оценки, поскольку она фиксирует уровень необходимой рассеивающей силы.

Этот критерий первого уровня должен быть независимым от конкретного транспортного средства, чтобы его можно было легко использовать при оптимизации дорожной инфраструктуры. Силы рассеивания зависят как от веса автомобиля, так и от его аэродинамического сопротивления и сопротивления качению. Также следует отметить, что данная энергия представляет собой интеграл мощности по расстоянию выполняемого снижения скорости, в дальнейшем критерий χ_{EASM} (EASM = Energy Alert Speed Management):

$$\chi_{EASM} = \Delta E_m / (mg \log_{10}(d_{man})), \text{ Дж}, \quad (4)$$

где d_{man} – дистанция для снижения скорости транспортного средства между точками MSP и SPD, м.

Параметр расстояния логарифмически учитывает уменьшение величины аэродинамического сопротивления транспортного средства при снижении скорости при замедлении. Таким образом, данный критерий обобщает энергетический подход к оценке оптимизации мест установки дорожных знаков или иных эле-

ментов дорожной инфраструктуры и не зависит от параметров автомобиля:

$$\chi_{EASM} = 0,5(V_{SPD}^2 - V_{MSP}^2)/(g \log_{10}(d_{man})) + (h_{SPD} - h_{MSP})/(\log_{10}(d_{man})), \text{ Дж.} \quad (5)$$

Таким образом, при оптимизации дорожной инфраструктуры для увеличения потенциала использования эко-вождения можно быстро оценить этот параметр на проектируемом участке дороги и обнаружить места, где значение χ_{EASM} имеет приоритетное значение и эко-вождение в настоящее время мало результативно. Обнаружив такие места, можно скорректировать точки расположения знаков ограничения скорости на соседние участки с лучшим потенциалом для эко-вождения, например лучшей видимостью знака или отсутствием уклона дороги.

Для проверки правильности расположения нового положения знака необходимо рассчитать критерий в новой позиции.

Эксперименты по оценке критериев и энергетических потерь были проведены на двух автомобильных маршрутах в Боснии и Франции [14]. Эти эксперименты позволили доказать правильность предложенной методологии и оценить эффективность предлагаемой методологии в различных условиях, включая городские районы, где она может быть менее эффективной и безопасной. Результаты экспериментов могут быть использованы для разработки моделей, которые позволят применять методологию в городской среде.

В качестве исходных данных нами были использованы результаты экспериментальных исследований при движении легковых автомобилей в г. Вологде по наиболее протяженным и имеющим мало светофоров и пересечений участкам дорог – ул. Преображенского – Ленинградское шоссе и Окружное шоссе (рис. 3). В отличие от исследования [14] в нашем случае движения в городской черте использовались не только знаки ограничения скорости, но и знаки, предупреждающие о пешеходных переходах и пересечениях с примыкающими улицами (рис. 4).

Программа дорожного эксперимента:

1. Просмотр дорожной карты для определения мест, где изменение скоростного режима препятствует эко-вождению. В обычных условиях таким местом является установка знака ограничения скорости или иного знака, для преодоления которого водители вынуждены применять механическое торможение.

2. Проезд по этим местам с испытательным автомобилем, с фиксацией положения и скорости с помощью телематической системы GPS с частотой записи данных не менее 1 Гц.

3. Указание водителю двигаться со скоростью V_{SPD} и замедлиться, когда он видит знак скорости (точка SPD). Если он проезжает мимо знака скорости ($> V_{MSP}$), он должен затормозить для соблюдения правил дорожного движения.

4. Определение точки геолокации, когда водитель видит знак ограничения скорости или иной знак, обуславливающий снижение скорости для обеспечения безопасности движения.

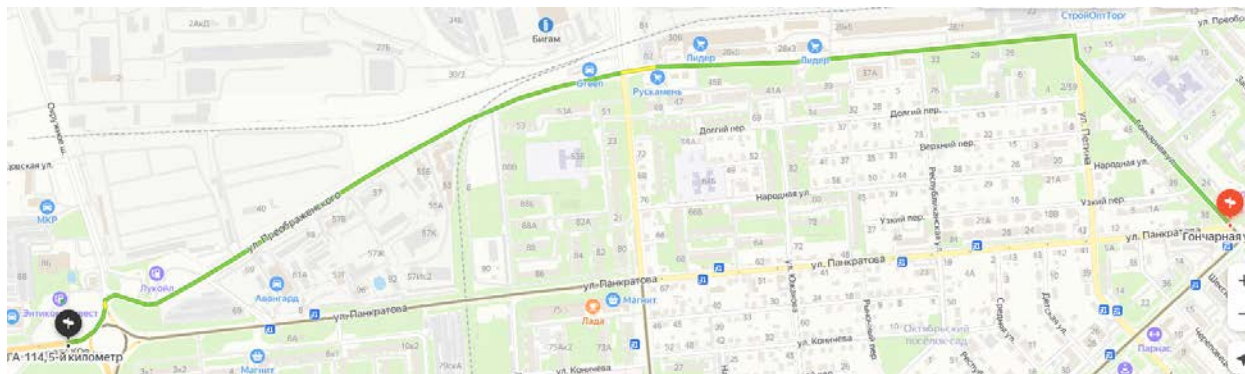


Рис. 3. Участок дороги, где проводились экспериментальные исследования



Рис. 4. Фрагмент записи маршрута движения экспериментального автомобиля с фиксацией видимости знака пешеходного перехода

В таблице суммированы условия эксперимента во Франции и Боснии из исследования [14] и результаты экспериментальных поездок одиночных автомобилей в г. Вологде и представляет результаты анализа скоростного разделения участков дороги в соответствии с уравнениями (1)–(5). В эксперименте во Франции: автомобиль меняет скорость с 90 км/ч до 50 км/ч на расстоянии более 300 м на спуске: перепад высот от 190 м до 179 м. Критерий управления скоростью Energy Alert Speed Management χ_{EASM} , равен 13,3. Энергетические потери знака составляют 204 кДж.

Таблица

Расчетные значения энергопотребления знаков в разных случаях

Показатели	Франция	Босния	Россия	Стандарт
V_{SPD} (км/ч)	90	80	60	80
V_{MSP} (км/ч)	50	40	40	50
h_{SPD} (м)	190	625	121	100
h_{MSP} (м)	179	629	108	100
Δh (м)	11	-4	13	0
d_{man} (м)	300	50	70	300
χ_{EASM}	13.3	8.8	7.4	6.7
E_{WMSP} (кДж)	204	199	178	138

В эксперименте на дорогах Боснии автомобиль едет, меняя скорость от 80 до 40 км/ч на протяжении 50 м, но это дорога в гору: перепад высот от 625 м до 629 м. Критерий χ_{EASM} равен 8,8. Энергопотребление знака составляет 199 кДж.

В эксперименте в Вологде: автомобиль меняет скорость с 60 до 50 км/ч на расстоянии порядка 70 м на спуске: перепад высот от 121 до 108 м. Критерий управления скоростью Energy Alert Speed Management χ_{EASM} , равен 7,4. Энергетические потери знака составляют 178 кДж.

Четвертый столбец таблицы представляет собой пример нормального скоростного участка со скоростью от 80 до 50 км/ч на ровной дороге.

Во Франции и Боснии проводились эксперименты на дорогах с плохими местами для скоростных участков. Они были обозначены как «черные пятна» с точки зрения потребления энергии. Энергия при торможении в этих местах была выше, чем на нормальных участках дороги. Во Франции знак ограничения скорости был расположен внизу спуска, а в Боснии – из-за кривизны профиля дороги позже, чем надлежало бы. В обоих случаях рассеиваемая энергия была больше в первом случае, чем во втором. При этом расстояние для маневра было короче во Франции, чем в Боснии. Однако критерий χ_{EASM} в обоих случаях был одинаковым.

Несмотря на то, что Вологда находится на равнинной местности, небольшой перепад высот и малое расстояние для снижения скорости привели к тому, что энергопотребление знака ограничения скорости лишь на 10 % меньше, чем в гористой Боснии, что говорит о необходимости по возможности корректировки места его установки или последовательного снижения скорости до этого участка.

При соблюдении рекомендаций эко-движения можно снизить расход топлива на 5–10 %, используя

правила эко-вождения и оптимизируя размещение знаков ограничения скорости. Это может быть достигнуто за счет добавления предупредительных знаков и оптимизации размещения знаков ограничения скорости на дороге.

Как и ожидалось, инфраструктура, дружественная к экологичному вождению, существенно не может снизить расход топлива для водителей, которые не используют правила и подходы эко-вождения. Целью предлагаемой методики было заставить двигаться обычного водителя по скоростному профилю, близкому к траектории эко-вождения. Эта цель, конечно же, не достигается для водителей, не придерживающихся экологического вождения. Причина в том, что даже на этом пути водители тормозят, используя тормозную педаль, а не заранее снижая скорость перед близким препятствием или в ином случае.

Вывод состоит в том, что эффект от оптимизации мест установки дорожных знаков, увеличение их видимости или установка дополнительных предупреждающих знаков будет кратно возрастать по мере того, как число эко-водителей будет увеличиваться. Расчет критерия χ_{EASM} будет полезен при оценке потенциала модернизации дорожной инфраструктуры существующих дорог, однако при использовании его в условиях городов приходится дополнительно учитывать фактор повышенной безопасности и отсутствие в ряде случаев возможности передвижения ряда знаков.

В данной работе была проверена предлагаемая в работе [14] методология для обеспечения прогрессивного снижения энергопотребления на дорогах. Она включает в себя три этапа: первый этап – определение точек переключения скорости, которые могут привести к увеличению расхода топлива; второй этап – количественная оценка энергетических потерь в таких точках; и третий этап – моделирование транспортных потоков с учетом реальных данных трафика и поведения водителей. Эксперименты были проведены в России в условиях городского движения и сравнены с результатами, полученными во Франции и Боснии, чтобы продемонстрировать применимость этой методологии для ряда городских улиц.

Настоящая работа, которая связывает уклоны, разрешенные скорости и динамику автомобиля, может быть интересной на холмистых загородных дорогах. Было принято решение применить данную методологию на федеральных трассах и использовать моделирование для определения достижимой экономии топлива для большого числа транспортных средств, включая большегрузные автомобили [15]. Применение ее для городских условий ограничено использованием на участках дорог с высокой разрешенной скоростью и минимум пересечений и пешеходных переходов.

Литература

1. Rogelj, J, Shindell, D, Jiang, K, Fifita, S, Forster, P, Ginzburg, V, Handa, C, Kheshgi, H, et al. (2018). Chapter 2: Mitigation Pathways Compatible with 1.5 °C in the Context of Sustainable Development, In Global Warming of 1.5 °C an IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-industrial

Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.

2. Strengthening and Implementing the Global Response / de Coninck H., Revi A., Babiker M. [et al.] – 2018. – Chap. 4. – P. 313–443.

3. Santos, G. Road transport and co2 emissions: What are the challenges? / Santos G. // *Transport Policy*. – 2017. – 59. – P. 71–74.

4. Gao, Y., Kenworthy, J.R., Newman, P., Gao, W. (2018). 2.2 – Transport and Mobility Trends in Beijing and Shanghai: Implications for Urban Passenger Transport Energy Transitions Worldwide, Second edn., (P. 205–223). 978-0-08-102074-6: Elsevier.

5. Coping with the costs of car dependency: A system of expedients used by low-income households on the outskirts of Dijon and Paris / Belton Chevallier L., Motte-Baumvol B., Fol S., Jouffe Y. // *Transport Policy*. – 2018. – 65(C). – P. 79–88.

6. Green eco-driving effects in non-congested cities / Juan C., Marta G., Yang W., Andrés M. // *Sustainability*. – 2017. – 10 (1), 28. – URL: https://www.researchgate.net/publication/322016422_Green_Eco-Driving_Effects_in_Non-Congested_Cities (дата обращения: 30.11.2023). – Text : Electronic.

7. Qian, G. Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation / Qian G., & Chung E. // In *Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings*. – 2011. – P. 1–11.

8. Zeng, X. Globally energy-optimal speed planning for road vehicles on a given route / Zeng X., & Wang J. // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93. – 2018. – P. 148–160.

9. Analytical solution to the minimum energy consumption based velocity profile optimization problem with variable road grade / Ozatay E., Ozguner U., Michelini J., Filev D. // *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 19. – 2014. – P. 7541–7546.

10. Luin, B. Modeling the impact of road network configuration on vehicle energy consumption / Luin B., Petelin S., Al Mansour F. // *Energy*, 137. – 2017. – P. 260–271.

11. Longitudinal profile optimization for roads within an eco-design framework / Vandanjon, P.-O., Vinot, E., Cerezo, V. [et al.] // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2019. – № 67. – P. 642–658.

12. Praticò, F. Modeling operating speed of two lane rural roads / Praticò F., & Giunta M. // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – № 53. – P. 665–672.

13. Coiret, A. Ecodriving potentiality assessment of road infrastructures according to the adequacy between infrastructure slopes and speeds limits / Coiret A., Vandanjon P.-O., Cuervo-Tuero A. // In *Cetra2016 – 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure*. – 2016. – P. 589–595.

14. Coiret, A. Vehicle energy savings by optimizing road speed-sectioning / Alex Coiret, Emir Deljanin, Pierre Olivier Vandanjon // *European Transport Research Review*. – 2020. – P. 41.

15. Смирнов, П. И. Использование телематических данных, получаемых от грузовых автомобилей, для прогнозного определения норм расхода топлива / П. И. Смирнов, А. П. Тимофеев, Ф. А. Новокшанов // *Грузовик*. – 2018. – № 12. – С. 32–37.

P.I. Smirnov

Vologda State University

ROAD INFRASTRUCTURE OPTIMIZATION TO IMPROVE VEHICLES ENERGY EFFICIENCY

In order to further reduce the level of particulate matter, nitrogen oxides and carbon dioxide emissions into the atmosphere from road transport, the causes of congestion on city streets should be eliminated. In addition to the vehicles technological advancements, eco-driving is a part of the problem solution but the road infrastructure shall ensure its development. The aim of this work is to show that the demand for energy on roads and the emissions of contaminants connected with it can be reduced due to the development of slight optimization of the road infrastructure itself. In this regard a simple method of eco-driving was used considering the parameters of the infrastructure such as slopes and visibility distance. The advanced formula of energy loss for quantitative evaluation of energy loss of vehicles because of the wrong placing of road signs was developed. Finally, driving modelling is a basis for energy consumption evaluation considering a complete flow of vehicles based on real traffic data as well as on simulation of different patterns of drivers behavior. The results of simulation show that the significant reduction in fuel consumption can be reached basing on the use of the method.

Road, energy consumption, speed-sectioning, eco-driving, traffic simulation.