

МАШИНАЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_27
MFTAA 73.31.41

А.Г. Завалко¹, М.С. Муздыбаев², Д.М. Мырзабекова³, А.С. Муздыбаева⁴

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

¹E-mail: AZavalko@mail.ru

²E-mail: mmuzdybaev@mail.ru

³E-mail: DMyrzabekova@ektu.kz*

⁴E-mail: amuzdybaeva@mail.ru

ЖҮРГІЗУШІЛЕРДІ ҮНЕМДІ ЖҮРГІЗУГЕ ҮЙРЕТУ ҮШІН ИНТЕГРАЛДЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРДІ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІГІН БАҒАЛАУ

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧНОМУ ВОЖДЕНИЮ

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF INTEGRATED ENERGY INDICATORS USING FOR TRAINING DRIVERS TO DRIVE ECONOMICALLY

Аңдатпа. Мақалада жүк көліктерінің тұтынатын отын шығынын азайту әдістерін зерттеудің өзектілігі қарастырылған. Себебі жаһандық шығарындыларға автомобиль жүктерін тасымалдау кезінде айтарлықтай үлес қосылады. Автокөлік құралдарын үнемді жүргізу әдістері мен жүк көлігі жүргізушілерінің жүргізу дағдыларын отын шығынын азайтудың маңызды факторы ретінде қарастыру керек екендігі көрсетілген. Жүргізушілерді жүргізу дағдыларына оқытудың тиімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Экожүргізу дағдыларын объективті және динамикалық бағалау үшін энергетикалық тәсіл қолданылды. Бұл жағдайда көлік жүргізу кезінде өнімсіз энергия шығындарын тікелей сипаттайтын интегралды көрсеткіштер бағаланды. Эксперименттік зерттеулер екі кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде жоғары білікті жүргізушілер экожүргізу дағдыларын көрсетті. Екінші кезеңде жүргізушілер нұсқаушымен экожүргізуді үйренді, ал арнайы құрылаы өнімсіз энергия шығындарын тіркеді. Екінші кезеңдегі эксперимент нәтижелері жүргізушілерді оқыту отын шығынын орта есеппен 13,6 % төмендетуге мүмкіндік бергенін көрсетті. Тренингтің ұзақ мерзімді әсері бар екені анықталды. Атап айтқанда, экожүргізу бойынша тренингтен кейін 3 айдан кейін отын шығынының төмендеуі 4 % құрады. Бұл жүргізушінің мінез-құлқындағы оң өзгерістерді бекіту үшін экожүргізу жаттығуларын аяқтағаннан кейін жүргізушіге ұзақ мерзімді қолдау қажет деген қорытындыға келді. Осылайша, көлік компанияларында экожүргізуді оқытуды ілгерілету отын шығындары мен CO₂ шығарындыларының айтарлықтай төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Түйін сөздер: жүк автомобильдері, отын шығыны, экожүргізу, интегралды көрсеткіштер, эксперимент, энергия шығыны.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы актуальности исследований методов минимизация потребления топлива грузовыми автомобилями, поскольку значительный вклад в глобальные выбросы вносятся в процессе автомобильных перевозок грузов. Показано, что методы экономичного вождения автотранспортных средств и навыки эконождения водителей грузовиков следует рассматривать как важный фактор снижения расхода топлива. Проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности обучения водителей навыкам эконождения. Для объективной и динамической оценки навыков эконождения был использован энергетический подход. При этом оценивались интегральные показатели, непосредственно характеризующие непроизводительные затраты энергии при вождении. Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе высококвалифицированные водители демонстрировали лучшие навыки эконождения. На втором этапе водители обучались эконождению с инструктором, а специальный прибор фиксировал непроизводительные затраты энергии. Результаты эксперимента на втором этапе показали, что тренинг водителей

позволил достигнуть снижение расхода топлива в среднем на 13,6 %. Установлено, что тренинг имеет долговременный эффект. В частности, через 3 месяца после тренинга по эконождению снижение расхода топлива составило 4 %. Это позволило сделать вывод, что необходима долгосрочная поддержка водителя после завершения обучения эконождению, чтобы закрепить положительные изменения в поведении водителя. Таким образом, продвижение обучения эконождению в транспортных компаниях может привести к значительному сокращению расходов на топливо и выбросов CO₂.

Ключевые слова: грузовые автомобили, расход топлива, эконождение, интегральные показатели, эксперимент, расход энергии

Abstract. The article considers the issues of research methods relevance for minimizing fuel consumption by trucks, since a significant contribution to global emissions is made during the process of road cargo transportation. It is shown that the methods of motor vehicles economical driving and the eco-driving skills of truck drivers should be considered as an important factor in reducing fuel consumption. Experimental studies for assessment of the driver training effectiveness in eco-driving skills have been conducted. For providing an objective and dynamic assessment of eco-driving skills, an energy approach was used. At the same time, integral indicators were evaluated that directly characterize unproductive energy consumption during driving. Experimental studies were conducted by two stages. At the first stage, highly qualified drivers demonstrated the best eco-driving skills. At the second stage, drivers were trained in eco-driving by instructor, and a special device recorded unproductive energy costs. The results of the experiment at the second stage showed that driver training allowed achieving a reduction in fuel consumption by an average of 13.6%. It is established that the training has a long-term effect. In particular, 3 months after the eco-driving training, the reduction in fuel consumption was 4%. This allowed make a conclusion, that long-term support to the driver is necessary after completing eco-driving training in order to consolidate positive changes in driver behavior. Thus, the promotion of eco-driving training in transport companies can lead to a significant reduction in fuel costs and CO₂ emissions.

Keywords: trucks, fuel consumption, eco-driving, integral indicators, experiment, energy consumption

Kіpіcne. Қазақстан Республикасында пайдаланылатын автомобильдер санының тұрақты түрде өсуі, басқа мемлекеттердегідей, бірқатар жағымсыз салдарлармен қатар жүреді.

Олардың ішінде, әдетте, жол-көлік оқиғаларының (ЖКО) өсуі ерекшеленеді. Алайда, апаттардың өсуінен және олардан зардап шеккендер санынан басқа, автомобильдер санының үнемі өсуінің тағы бір жаһандық теріс салдары бар, бұл қалпына келтірілмейтін ресурстарды тұтыну – сұйық мұнай отыны және атмосфераға шығарылатын газдар.

Пайдаланылған газдардағы зиянды заттардың (көміртегі оксиді, көмірсутектер, азот оксидтері, күйе және т.б.) табиғатқа және адамға тікелей теріс әсерінен басқа, көмірқышқыл газының атмосфераға әсері де бар, бұл біздің планетамыздың жылыжай әсері мен климатының өзгеруінен көрінеді.

Сұйық мұнай отынын тұтынуды азайту үшін бірқатар техникалық және ұйымдастырушылық жобалар әзірленіп, енгізілуде. Атап айтатын болсақ, олар электромобильдерді өндіруді арттыру, ішкі жану қозғалтқыштарының отын тиімділігін арттыру, отын шығынын нормалау, бақылау және есепке алу жүйесін жетілдіру.

Сұйық мұнай отынын тұтынуды азайтудың аталған бағыттарының ішінде біз өз зерттеулерімізде көлік құралының қозғалысы кезінде отын тұтынуды қалыптастыру процесінде жүргізушінің рөліне назар аударамыз.

Сұйық отынды тұтынуды және атмосфераға шығатын CO₂ шығарындыларын азайтудың жаңа бағыттарын іздеудің өзектілігі мен аса маңыздылығын Халықаралық энергетикалық агенттік [1] атап өтті. Сондай-ақ, бұл Париждегі форумда атап өтілген жаһандық шығарындылардың өсуіне айтарлықтай үлес қосатын автомобиль көлігі екенін атап өткен жөн [2].

Егер автомобиль көлігінде отын тұтынуды азайтудың негізгі жолдары туралы айтатын болсақ, онда белгілі авторлар отын тұтынуға әсер ететін алты негізгі категорияны анықтайды, олардың арасында жүргізушінің шеберлігі де бар [2, 3, 4, 5].

Қазіргі уақытта отын [6] үнемдеу үшін бірнеше модельдер мен жүргізу алгоритмдері жасалып, сыналды. Жүргізушілерді оқытудың тиісті бағдарламаларын енгізу және жаппай пайдалану тасымалдау процесінің өнімділігін жоғалтпай отын шығынын 6-15 % азайтуға болатындығын көрсетеді [6, 7].

Жүргізушілерді көлікті үнемді басқаруға (экожүргізуге) үйрету әдістері жеке автокөлік иелері үшін шектеулі түрде қолданылатынын атап өткен жөн. Негізінен мұндай әдістер ірі және орта көлік компаниялары үшін жасалады. Автокөліктерді жаппай пайдалану кезіндегі отын шығындары тасымалдау құнының едәуір бөлігін құрайды және көлік компанияларының басшылығы отын шығындарын азайтуға мүдделі, бұл жүргізушілерді экожүргізуге қосымша оқытумен қатар мұқият дайындауға әкеледі [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Белгілі авторлар атап өткендей, экожүргізуді оқыту әдістемесін енгізуді арттыру өлшеу технологиялары мен жабдықтарының жетіспеушілігімен шектеледі [7]. Бұл зерттеуде біз бұрын [8, 11] әзірлеген және сынап көрген экожүргізу деңгейін сандық бағалау әдістемесін қолдандық. Әдістемеді энергетикалық тәсіл қолданылды, бұл арнайы құралдың көмегімен көлік ағынында автомобиль қозғалысы жағдайында экожүргізу деңгейін сипаттайтын бірқатар көрсеткіштерді тіркеуге мүмкіндік береді. Интегралды энергетикалық көрсеткіштер негізінде экожүргізу деңгейін бағалау, сондай-ақ жүргізушілерді экожүргізуге оқыту және арнайы борттық аспапты пайдалана отырып жүргізушілерді оқыту жүзеге асырылады.

Зерттеу мақсаты – жүргізушілерді экожүргізуге үйрету үшін энергетикалық тәсілдің тиімділігін және интегралды энергетикалық көрсеткіштерді бағалау.

Интегралдық энергетикалық көрсеткіштер. Интегралды энергия көрсеткіштерін пайдалану әдістемесі көлік ағынындағы автомобиль қозғалысының фазалық моделіне негізделген. Автокөліктің жүріп өткен жолының бүкіл жиынтығы көптеген циклдар түрінде ұсынылады. Олардың әрқайсысы екпіндеуден (оң үдеу), тұрақты қозғалыстан және баяу қозғалыстан (теріс үдеу) тұрады (1-сурет). Фазалық модельге сәйкес оң үдеуі бар жолдың барлық учаскелері екпіндеу фазасын құрайды – S_p , ал теріс үдеуі бар жолдың барлық учаскелері баяулау фазасы S_z болады. Тұрақты қозғалыс фазасы тұрақты жылдамдықпен (үдеусіз) өткен жол учаскелерінің жиынтығынан тұрады – S_y .

Тұрақты қозғалыс кезінде E_y қозғалтқышынан автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілетін барлық энергия жол мен ауаның кедергісін жеңуге жұмсалады (автомобильдің қозғалысы):

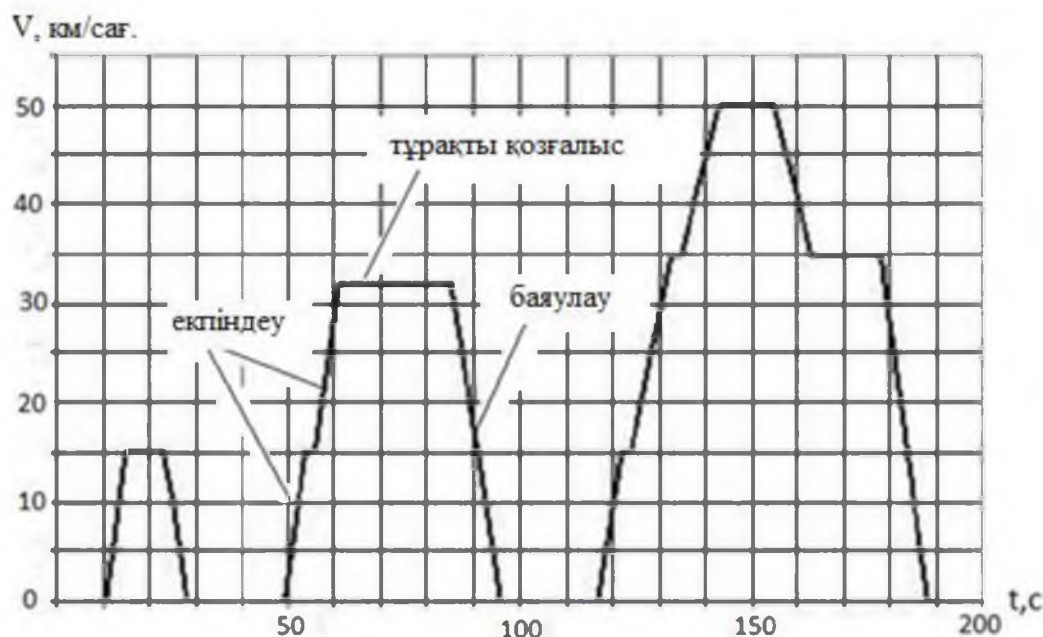
$$E_y = E_{\Pi} = \int_S (P_{\psi} + P_w) dS, \text{ ДЖ} \quad (1)$$

мұндағы: S – автомобильдің жүрген жолы, м; P_{ψ} – жолдың жалпы кедергісінің күші, Н; P_w – аэродинамикалық кедергі күші, Н;

Екпіндеу фазасында автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілетін энергия E_p автомобильді қозғауға E_y (жол мен ауа кедергісін жеңу) және кинетикалық энергияның E_k жиналуына жұмсалады:

$$E_p = E_y + E_k, \text{ ДЖ} \quad (2)$$

Автомобильді қозғауға жұмсалатын энергияны сипаттайтын тәуелділіктің бірінші қосылғышы (2) тұрақты қозғалыс фазасына ұқсас анықталады және автомобильдің берілген жүккөтергіштігі негізінде жол мен шиналардың күйінен, сондай-ақ көлік ағынының жылдамдығынан тәуелді болады.



1-сурет. Автомобиль қозғалысының циклы

Екінші қосылғаш – бұл жүріп өткен жолдағы барлық циклдар жиынтығында екпіндетуге (автомобильдің инерция күшін жеңуге) жұмсалған энергия мөлшері. Екінші қосылғышқа жүргізуші екпіндеу-баяулау циклдарынан тыс екпіндету энергиясын төмендетуге айтарлықтай әсер ете алады.

Баяулау кезеңінде, әдетте, қозғалтқышқа отын берілмеген кезде қозғалыс қозғалтқышты тежеу немесе қызметтік тежеу арқылы жүзеге асырылады. Мұндай жағдайда көліктің қозғалысы кезінде кинетикалық энергия төмендейді. Автомобиль бәсеңдету фазасында E_s қозғалғанда жұмсалған энергия екпіндеу фазасында алынған кинетикалық энергияға тең болады:

$$E_s = E_k, \text{ Дж} \quad (3)$$

Интегралды энергетикалық көрсеткіштерді анықтаудың теориялық мәселелерін біз бұрын қарастырдық [11]. E_s энергиясы ішінара автомобильді жылжыту үшін пайдаланылады және ішінара тежеу кезінде таралады:

$$E_s = E_{II} + E_T, \text{ Дж} \quad (4)$$

(4) теңдеудің бірінші қосылғышы, екпіндеу және тұрақты қозғалыс фазаларында сияқты, негізінен жол мен шиналардың күйіне тәуелді болады. Жүргізуші E_m төмендеуіне әсер ете алмайды. Екінші қосылғыш тежеу қарқындылығынан тәуелді және жүргізу стиліне байланысты айтарлықтай өзгереді. Мысалы, спорттық жүргізу стилі қарқынды тежеулермен сипатталады. Олар тежеу механизмдерінде айтарлықтай энергия шығынын жұмсайды. Көлік ағыны жағдайында дағдылары мен тәжірибесі бар жүргізушілер жиі және күрт тежеуді болдырмауға тырысады. Бұл оларға пайдалы жұмыс (көлікті жылжыту) үшін жинақталған кинетикалық энергияны ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді. Сондықтан, қозғалыс жағдайлары тең болған кезде, E_m экожүргізу шеберлігін бағалау үшін қолданылады. E_m келесідей анықталады:

$$E_T = E_s - E_{II}, \text{ Дж} \quad (5)$$

Автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілетін қозғалтқыштың жалпы энергиясы E_{Σ} бүкіл маршрутта екпіндеу және тұрақты қозғалыс фазаларының тиісті энергиясынан тұрады, баяулау фазасында қозғалтқыштан энергия берілмейді:

$$E_{\Sigma} = E_p + E_y = E_{II} + E_T. \quad (6)$$

Бұрын біз әзірлеген келтірілген энергетикалық көрсеткіштерді анықтаудың оңайлатылған әдісі – белгілі бір үдеу диапазонында автомобильдің нақты бағамдық (бойлық) үдеулерінің бүкіл спектрін диапазонға бөлу, автомобильдің қозғалысы мен оның жүріп өткен жолындағы бағамдық үдеулерді өлшеу болып табылады. Әдістің толық сипаттамасы мақалалар мен өнертабыстарда берілген [8, 11]. Энергетикалық тәсілдің алғашқы практикалық қолданылуы төмендегілерді көрсетті [11]:

- қалалық жағдайда E_T жалпы энергия шығындарының шамамен 30-35 % құрайды;
- бір маршрутта әртүрлі жүргізушілер болғанда отын шығыны мен тежегіш құрылғыларында таралатын энергияның E_T айтарлықтай айырмашылықтары тіркелді;
- айтарлықтай жұмыс тәжірибесі бар кейбір жүргізушілер көлік ағынындағы қозғалыс режимдерін бұзбай, E_T энергиясы мен отын шығынының төмен мәндерін үнемі қамтамасыз етеді;
- үшінші дәрежелі жүргізушілермен бірінші дәрежелі жүргізушілерді салыстырғанда E_T орташа есеппен 25 % төмендеді.

Алғашқы эксперименттік тіркеу кезінде алынған интегралды энергетикалық көрсеткіштерді талдаудан көріп отырғанымыздай, жүргізушілерде екпіндеу-тежеу циклында энергияның өнімсіз шығындарын қысқарту бойынша айтарлықтай қор бар (E_T -дан 25 %-ға дейін және отын шығынынан 8,8 %-ға дейін). Экожүргізу деңгейін бағалау кезінде жоғары деңгейлі жүргізушілердің тәжірибесін кеңінен тарату үшін жүргізушілерге келесі нұсқаулар жасалды.

Екпіндету кезінде:

- көлік ағынының микроциклдерінде екпіндеудің артық қарқындылығын төмендету. Барлық режимді реттегіш түрі бар дизельді автомобильдер үшін беріліс қорабының жоғары берілісінде екпіндету арқылы жүзеге асырылады;

– аялдаманы немесе көлік ағынының жылдамдығын төмендетуді талап ететін жол жағдайының өзгеруін болжауда олардың соңғы жылдамдығын төмендету.

Баяулау кезінде:

- шұғыл (апаттық) және қызметтік тежеулерді пайдалануды барынша азайту, оларды тек қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажет болған жағдайда ғана қолдану;

– қозғалыс қауіпсіздігіне және автомобильдің орташа пайдалану жылдамдығына нұқсан келтірместен қызметтік тежеу орнына жылдамдықты неғұрлым баяу төмендеті отырып (қозғалтқышпен тежеу және еркін жүріс) қозғалыс режимдерін қолдану мақсатында жол жағдайын болжау.

Осылайша, жүргізушілердің отын шығынын азайту бойынша резервтерін анықтау және энергетикалық тәсіл негізінде жүргізушілерді экожүргізуге оқыту арқылы жүргізушілерді ауқымды эксперименттік бағалау үшін интегралды энергетикалық көрсеткіштерді қолдану бойынша әдістемелік және техникалық негіз құрылды.

Эксперимент. Эксперименттің мақсаты экожүргізуді оқытуға және оны бағалау үшін энергетикалық тәсіл қолданылды. Оқу кезінде индикаторы бар тіркеу құралы қолданылды. Құрылғыда тіркелген энергетикалық көрсеткіштер жүк көлігі жүргізушілерінің жүргізу стилін талдауға мүмкіндік берді.

Оқу сатысында аспаптың индикациясы екпіндеу және баяулау режимдерінде шамадан тыс энергия шығынын көрсетті. Шамадан тыс энергия шығынын бағалау кезінде құрылғы бақыланатын автомобиль мен жүргізушінің жоғары қарқындылықтағы

үдеу мен баяулау диапазонында жүріп өткен жолдың үлесін тіркеді. Үйретудің әсерін бағалау үшін үйретуге дейін және одан кейін тіркелген энергия көрсеткіштері салыстырылды.

Әдіс. Жүргізуді оқытудың тиімділігін бағалау ірі көлік компаниясында жүргізілді. Қозғалыс жағдайлары мен маршруттардың тұрақтылығы, автомобиль мен жүктеменің бірдей түрі қамтамасыз етілді. Бұл эксперимент үшін 30 үшінші сыныпты жүргізушілер тобы тартылды. Жүргізушілердің көлік қызметтерінің осы түрі бойынша бір жылдан жеті жылға дейін өз бетінше жұмыс істеу тәжірибесі болды. Автокөлік борттық тіркеу құралымен жабдықталған.

Энергетикалық көрсеткіштер мен отын шығынын тіркеуден басқа, құрылғы энергияның шамадан тыс тұтынылуын көрсетеді. Ол үшін құралдың бағдарламасына жүк көлігінің осы түрі үшін E_p және T_s оңтайлы мәндері енгізілді, олар маршрут бойынша қозғалыс уақытының әр сәтіндегі нақты энергетикалық көрсеткіштермен салыстырылды. Мәндер оңтайлы диапазоннан асқан кезде, ол мониторда қызыл түспен көрсетіледі.

Эксперименттің жалпы әдістемелік идеясы таңдалған топтағы барлық жүргізушілер өздерінің қалыпты жұмысын жақсы техникалық жағдайда бір көлікте дәйекті түрде орындады. Жүргізушілердің көлікке және маршрутқа үйренуі үшін болған бірнеше сапардан кейін бақылау сапарлары жасалды. Оның барысында құрал қажетті көрсеткіштерді тіркеді, олар жүргізуші шеберлігінің бастапқы деңгейін сипаттады. Содан кейін нұсқаушы (барлық жүргізушілер үшін бір адам) негізгі энергетикалық көрсеткіштерге талдау жасады.

Талдау негізінде жүргізушіге оның жүргізу стилінің негізгі кемшіліктері көрсетілді және экожүргізу әдістерін қолдану бойынша ұсыныстар берілді. Ұсыныстарда келесі кеңестер болды: тежеуді азайту, қозғалтқышпен тежеуді пайдалану, қозғалтқыштың төмен айналуын қамтамасыз ету және екпіндету үдеуін азайту үшін жоғары берілістерге жылдам ауыстыру. Осыған ұқсас принциптер Швецияда [7] жүзеге асырылған EcoDriving бағдарламасында қолданылғанын атап өткен жөн.

Нұсқаулықтан кейін келесі сапар жасалды, оның барысында тежеу фазасында артық энергия шығыны және екпіндеу фазасында кинетикалық энергияның артық өсуі индикаторы енгізілді. Индикатор жүргізушіге динамикалық кері байланыс берді, ал нұсқаушы әр жағдайда жол жағдайлары мен қажетті әрекеттерді болжауға қатысты кеңес берді. Индикатор жүргізушіге нақты үдеу мен баяулаудың субъективті қабылдауын ұсынылған мәндермен салыстыруға және негізсіз күрт тежелулер мен үдеулерден аулақ болуға көмектесті. Жүргізушінің келесі сапарлары дербес жүргізілді, бұл ретте бағалау көрсеткіштері тіркелді.

Оқытудың ұзақ мерзімді әсерін бағалау үшін компаниядан отын шығыны туралы мәліметтер сұралды. Деректер құйылған отын мөлшерін және оқудан өткен жүргізушілер басқаратын көлік құралдарының спидометрлерінің көрсеткіштерін қамтыды. Үйретуден үш ай бұрынғы және оқудан кейінгі орташа отын шығыны туралы деректер салыстырылды.

Алынған нәтижелер. Оқуға дейінгі және оқудан кейінгі тіркелген энергия көрсеткіштері және басқа жүргізу стилінің сипаттамалары 1-кестеде келтірілген. Жүргізу көрсеткіштеріндегі айырмашылықтарды тексеру үшін жұптастырылған үлгілердің t -критерийі пайдаланылды. Маңызды өзгерістер жұлдызшалармен белгіленген.

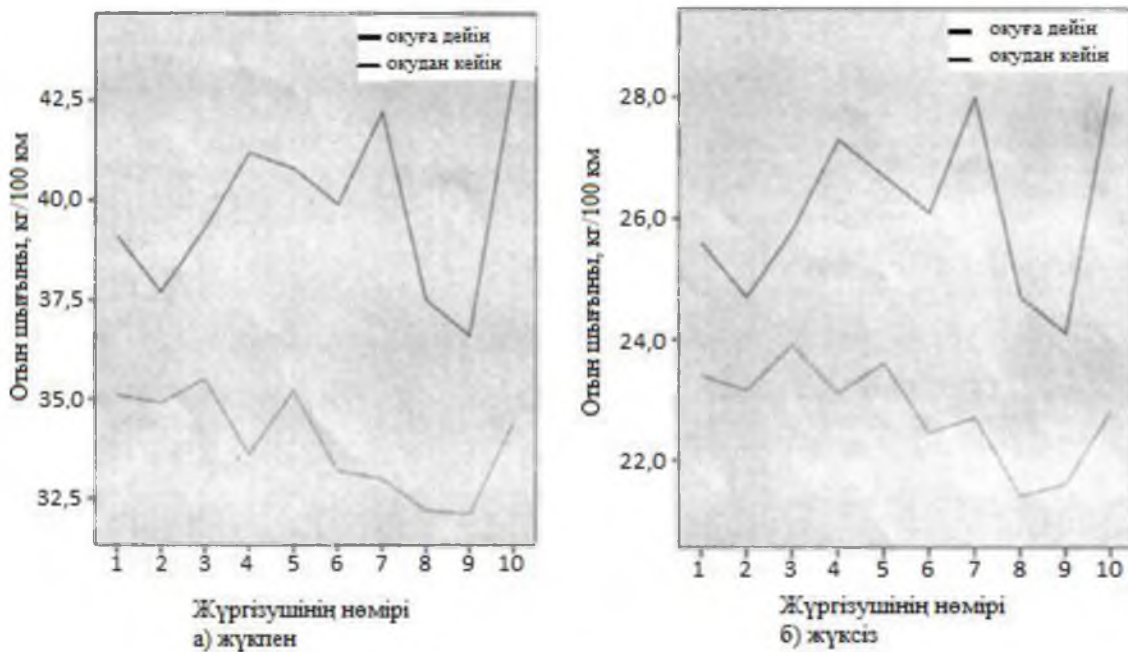
Жаттығудан кейінгі орташа отын шығыны 4,55 л (13,6 %) төмендеді. Жүкпен қозғалыс кезінде 14,6 % ($t = 8,496$, $p = 0,000$) және жүксіз қозғалыс кезінде 12,6 % ($t = 7,789$, $p = 0,000$) (1-сурет). Жаттығу энергетикалық көрсеткіштерге де айтарлықтай әсер етті. Екі жағдай үшін де (жүктемемен және жүктемесіз) E_{Σ} , U_p және U_s айтарлықтай төмендеді.

Орташа алғанда, E_{Σ} 12,3 %, E_p 13,9 % және E_s 23,3 % төмендеді. Жаттығуға дейін және одан кейін тіркелген жылдамдықтың дисперсиясы шамалы өзгерді, яғни бұл фактор жоғарыда аталған параметрлерге айтарлықтай әсер еткен жоқ.

1-кесте. Оқуға дейінгі және оқудан кейінгі жүргізушілер тобы бойынша орташа көрсеткіштер (N = 30)

Параметр	Өлшем бірлігі	Жүкпен		Өзгеріс, %	t-value	Жүксіз		Өзгеріс, %	t-value
		Оқуға дейін	Оқудан кейін			Оқуға дейін	Оқудан кейін		
N_o	l/km	0,63	0,61	-3,3*	4,581	0,59	0,56	-5*	4,604
V	km/h	38,1	39	2,3		43,0	41,4	-3,7	
Q_s	kg/100 km	39,7	33,9	-14,6**	8,496	26,1	22,8	-12,6**	7,789
E_{Σ}	МДж/100 km	495,9	429,7	-13,3**	8,081	319,5	285,2	-10,7*	4,775
E_p	МДж/100 km	423,5	363,1	-14,3**	8,706	278,9	241,3	-13,5**	7,898
E_y	МДж/100 km	72,4	66,6	-8,01		40,6	43,9	8,2	
E_s	МДж/100 km	227,6	173,2	-23,9**	14,988	161,0	124,3	-22,8**	13,531
S_{33}	%	2,05	1,43	-30,2**	18,950	3,67	2,49	-32,2**	19,311
S_{34}	%	0,81	0,48	-40,7**	25,621	1,09	0,59	-45,9**	28,010

** $p < .001$. * $p < .005$.



2-сурет. Оқудан бұрын және кейін жүргізушілер тобы бойынша отын шығыны

Қарқынды тежелуді сипаттайтын екі баяулау диапазонында өткен жол (S_3 , -1-ден -1,5 м/с²-ге дейін және S_4 , -1,6-дан -8 м/с²-ге дейін) сәйкесінше 31,2 % және 43,3 % төмендеді. Қарқынды үдеу диапазонында өткен жолды сипаттайтын көрсеткіштердің белгісіздігіне байланысты біз оларды осы мақалада талдамаймыз.

Үйренуден үш ай бұрын және одан кейінгі орташа отын шығынын салыстыру отын шығынының 4 % төмендегенін көрсетті ($t = 8,241$, $p = 0,000$).

Талқылау. Көлік жүргізуді үйрену отын шығынына айтарлықтай әсер етті. Орташа есеппен 13,6 % қысқа мерзімді төмендеу басқа зерттеулердің нәтижелеріне сәйкес келеді [14, 15]. Нұсқаушылар жүргізген энергия көрсеткіштерін жедел талдау жүргізушілердің тренингте оқытылатын принциптерді қалай жүзеге асыратынын көрсетті және олар отын шығынын азайтудың барлық ұсынылған әдістерін қолданатынын атап өтті (қажетсіз екпіндету мен тежеулерден аулақ болу, қозғалтқыштың тежелуін қолдану және т.б.). Жүргізушілердің екпіндеу және баяулау кезіндегі мінез-құлықтарындағы өзгерістер жүкпен жүру кезінде отын үнемдеуге әкелді. Бұл факт жүктерді тасымалдайтын көлік компанияларында экожүргізу бойынша оқытуды енгізудің маңыздылығын растайды.

Экожүргізуге үйренудің ұзақ мерзімді әсері орташа болды, отын шығыны 4 % төмендеді. Мұнда біз тренинг аяқталғаннан кейін экожүргізу принциптерін қолдануға қызығушылық мәселесіне тап боламыз. Сонымен қатар, жүргізушілер экожүргізудің кейбір аспектілерін (қозғалтқыштың төмен жылдамдықтағы жұмысы, жоғары берілістерге ауысу) қолдану қиынырақ деп санайды. Экожүргізуді тиімді жүзеге асыру үшін жүргізушілерге экожүргізу принциптері туралы теориялық білімнің автоматты түрде қолданылатын практикалық дағдыларға ауысқанға дейін ұзақ мерзімді қолдау көрсету қажет (электронды құрылғылардың көмегімен немесе нұсқаушының көмегімен) [14].

Энергетикалық тәсілге сәйкес эксперименттік деректерді келесідей талдауға болады. Отын шығынының өзгеруіне себеп болған негізгі фактор екпіндеу энергиясының төмендеуі және оның тежеу кезінде таралатын үлесі болды. V_p және V_z сәйкесінше 14 және 23 % азайды. Ал қозғалтқыштан жетек доңғалақтарына жеткізілетін жалпы энергия орта есеппен 12 % азайды. E_p мен E_c -ның төмендеуі екпіндеу мен тежелудің қарқындылығын төмендету және қозғалыс фазалары мен үдеу диапазондарында жүретін жолды қайта бөлу арқылы қол жеткізілді. Сонымен, қарқынды тежелуді сипаттайтын диапазондарда жүріп өткен жол қысқарды. Бұл тренингке қатысқан жүргізушілер тежеудің жоғары қарқындылығы айтарлықтай төмендеген кезде жол жағдайларын болжауға сәйкес екпіндеу мен тежеу қарқындылығын басқара бастағанын көрсетеді.

Жоғары үдеу мәндерімен екпіндеу режимінде өткен жолдың үлесін азайту жоғары берілістерді пайдалану арқылы мүмкін болды. Бұл беріліс қорабының орташа беріліс санының өзгеруімен (азаюымен) расталды.

Жоғарыда көрсетілгендей, энергия көрсеткіштерін талдау жүргізушілердің көлік жүргізу кезіндегі әрекеттерінің сипатын, сондай-ақ оның оқу процесіндегі өзгерістерін сандық бағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, энергетикалық тәсілді экожүргізу сапасын бағалау және экожүргізуді оқыту үшін сәтті пайдалануға болады.

Шектеулер. Өлшеу қателері. Біздің экспериментте екі типтегі қателер пайда болуы мүмкін: өлшеу құрылғысының (спидометрдің) дәлсіздігінен өлшеу қателері және өлшеу әдісіне байланысты қателер.

Спидометрлерді өлшеудің рұқсат етілген қателіктері БҰҰ Экономикалық Комиссиясының (БҰҰ ЕЭК, 2003 ж.) № 39 регламентінде көрсетілген. Тәжірибеде қолданылатын жүк көлігінің түрі үшін ол 5 %-дан аспайды. Спидометр қатесі жүйелі қате болып табылады және бір автомобиль үшін тұрақты болып келеді. Бұл қате бір жүк көлігін пайдалану арқылы жойылды.

Жол жағдайларының өзгеруіне байланысты өлшеу әдісінің қателігі жол жағдайларының ықтималдық моделін қолдану арқылы бағаланды. Жүк көліктері жүретін жол тегіс деп жіктелді. Есептелген өлшеу қателігі 3,15 % құрады.

Аралас айнымалылар. Екі эксперименттің нәтижелеріне әсер етуі мүмкін, бірақ деректерді талдау кезінде ескерілмеген кейбір аралас айнымалыларды атап өткен жөн. Біріншіден, автокөлікпен тасымалданатын жүктің салмағы техникалық тиеу жағдайларына байланысты рейстен рейске ауысуы мүмкін. Біздің бағалауымыз бойынша ауытқулар 5 %-дан аспайды. Көрсеткіштерді өлшеу бірнеше рейстерде жүргізілгендіктен және жүктің салмағындағы ықтимал айырмашылықтар кездейсоқ болғандықтан, біз бұл фактор анықталған топтар арасындағы айырмашылықтарға айтарлықтай әсер етпеді деп есептейміз.

Отын шығыны көрсеткіштеріне әсер етуі мүмкін екінші фактор – сыртқы температура. Экожүргізуді оқытудың тиімділігін бағалаудағы отын шығыны жалғыз критерий болмағандықтан, температураның ықтимал ауытқуы айтарлықтай бұрмалаушы фактор ретінде қарастырылмады. Ақырында, сапар кезінде орын алуы мүмкін төтенше тежеу біз тұрақты жүргізу дағдысын сипаттайтын E_T айнымалысына әсер етуі мүмкін. Мұнда біз жол немесе көлік жағдайларын жеткіліксіз болжау нәтижесінде төтенше тежеуді және бақыланбайтын жағдайларға байланысты төтенше тежеуді (мысалы, басқа жүргізуші тудырған жол-көлік оқиғасы) ажыратуымыз керек. Біріншісін экожүргізу дағдыларының төмен деңгейі деп түсіндіруге болады, екіншісі өте сирек кездеседі.

Жалпы тұжырымдар. Көлік компанияларында отын шығындары шығындардың көп бөлігін құрайды, сондықтан қызметкерлерді экологиялық жүргізу стратегияларына үйрету айтарлықтай қызығушылық тудырады. Сонымен қатар, мұндай компанияларда экожүргізуді ілгерілету қазба отындарын тұтынуды және оларды жағуға байланысты CO_2 шығарындыларын азайту арқылы климаттың өзгеруі жөніндегі бастамаларды жүзеге асыруға ықпал етеді. Дегенмен, компанияларда экожүргізу дағдыларын бағалауға арналған құралдар көбінесе жетіспейді.

Экожүргізу дағдыларын бағалауда энергетикалық тәсілді қолдану келесі артықшылықтарды береді:

- энергетикалық көрсеткіштер экожүргізу дағдысын объективті (сандық) бағалауға мүмкіндік береді;
- бағалау рәсімі автоматтандырылуы мүмкін (жүргізушінің энергетикалық көрсеткіштері бағдарламалық түрде тіркеледі және нормативтік мәндермен салыстырылады);
- энергетикалық көрсеткіштер тахометрмен тіркелген жылдамдық пен қашықтық мәндері бойынша есептеледі, сондықтан бұл технологияны меңгеру өте оңай;
- энергетикалық көрсеткіштерді уақыттың әр сәтіндегі нормативтік көрсеткіштермен салыстыру жүргізушіге оның қазіргі жүргізу стилі туралы жедел кері байланыс беруіне мүмкіндік береді;
- энергетикалық көрсеткіштерді талдау барысында үйретушіге жүргізушінің жүргізу стилінің кемшіліктерін түсіндіруге көмектеседі.

Нәтижелер басқа зерттеулердің нәтижелерімен сәйкес келеді [14, 15]. Осылайша, жүргізушілерді тұрақты жүргізу дағдыларына үйрету отын шығынын азайтуға айтарлықтай әлеуетке ие. Отын шығындарын азайту перспективасы көлік компанияларын қызметкерлерді экологиялық жүргізу стратегияларына оқытуға инвестициялауға итермелеуі мүмкін.

Энергетикалық тәсілдің маңызды артықшылығы – отын шығынын тікелей өлшемей-ақ экожүргізу дағдыларын бағалау мүмкіндігі. Соңғысы белгілі бір қиындықтарға байланысты болуы мүмкін. Энергетикалық айнымалыларды қажет болған жағдайда отын шығыны мәндеріне айналдыруға болады және оларды дәстүрлі жүк көліктерінің орнына

қолданған кезде электромобильдер үшін пайдалануға болады. Сонымен қатар, энергия көрсеткіштері кондиционер жүйесінің жұмысына немесе, мысалы, отын сапасына емес, тек қозғалыс пен жүргізу стилінің сипаттамаларына (экожүргізу дағдыларының деңгейіне) байланысты энергия шығыны факторларын білдіреді.

Экожүргізу дағдыларын бағалаудағы энергетикалық тәсіл энергетикалық көрсеткіштерді есептейтін бағдарламалық құралмен жабдықталған құрылғыны құрастыру арқылы немесе бағдарламалық құралды тікелей борттық компьютерге орнату арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Бірінші тәсіл энергетикалық көрсеткіштерді есепке алу құралдарын сериялық өндіріске енгізуді және көлік компанияларын оларды пайдалануға ынталандыруды талап етеді. Бұл жағдайда технологияны енгізу ауқымы өте қарапайым болады. Екінші тәсіл автомобиль өндірушілерімен ынтымақтастықты қамтиды және технологияны жаппай пайдалануға мүмкіндік береді. Дегенмен, екі жағдайда да құрылғы немесе бағдарламалық құрал жүргізушілерге экожүргізуді үйренудің тұрақты әсерін қамтамасыз ету үшін қажетті ұзақ мерзімді қолдауды қамтамасыз етеді.

Жалпы көлік компанияларында экожүргізу стратегиясын іске асырудың екі қадамын ұсынуға болады:

1. Ірі көлік компанияларының қызметкерлері үшін экожүргізу дағдыларды бағалауды енгізу, бұл сонымен қатар экожүргізуді оқытудың әлеуетті пайдасын есептеуге мүмкіндік береді.

2. Экожүргізу дағдылары төмен жүргізушілерге экожүргізуді оқытуды енгізу.

Жүргізушілерге экожүргізу дағдыларын сәтті үйретуге болатындығы жаңа нәрсе емес. Мақсат – мұны ең тиімді жолмен жасау. Осы зерттеуде энергетикалық көрсеткіштердің мәндерімен суреттелген жүргізу стилінің кемшіліктерін онлайн талдау нұсқаушыларға экожүргізуді оқытудың жоғары сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Өкінішке орай, басқа зерттеулерде анықталғандай, экожүргізуді жақсы үйрету жүргізушінің алған дағдыларын күнделікті жүргізу тәжірибесінде қолдануына кепілдік бермейді. Осылайша, біз экожүргізу дағдыларының қаншалықты қолданылатынын бақылайтын және теориялық білімді жасырын дағдыларға аударуға көмектесетін экожүргізуді үйретуді аяқтағаннан кейін жүргізушіні ұзақ мерзімді қолдау қажеттілігін көреміз.

Әдебиеттер тізімі

1. IEA, 2014. CO2 emissions from fuel combustion, 2014 ed. International Energy Agency, Paris, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/C02EmissionsTrends.pdf> (accessed on 29.03.2016).
2. Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., Van Aerde, M., 2002. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *J. Transport. Eng.* 128 (2), 182-190.
3. Z Yao, Y Wang, B Liu, B Zhao, Y Jiang. Fuel consumption and transportation emissions evaluation of mixed traffic flow with connected automated vehicles and human-driven vehicles on expressway. - *Energy*, 2021 - Elsevier, Volume 230, September 1, 2021, 120766
4. Golbasi, O.; Kina, E. Haul. Truck fuel consumption modeling under random operating conditions: A case study. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2022, 102, 103135.
5. Y Wang, C Lin, B Zhao, B Gong, H Liu. Trajectory-based vehicle emission evaluation for signalized intersection using roadside LiDAR data - *Journal of Cleaner Production*, 2024 - Elsevier, 440(3):1409713.
6. Saboohi, Y., Farzaneh, H., 2009. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. *Appl. Energy* 86 (10), 1925-1932.
7. af Wahlberg, A.E., 2007. Long-term effects of training in economical driving: fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. *Int. J. Ind. Ergon.* 37, 333-343.
8. Завалко А.Г. Способ оценки качества экономичного управления автомобилем [Технология оценки качества экономичного вождения. Патент Республики Казахстан №22396. Информационный бюллетень № 3, 15.03.2010. Астана: Национальный институт интеллектуальной собственности

9. Q Lin, SE Li, S Xu, X Du, D Yang. Eco-driving operation of connected vehicle with V2I communication among multiple signalized intersections. - IEEE International Conference on Intelligent Engineering System, 2020 - ieeexplore.ieee.org
10. J Hu, J Li, F Xiao, Z Sun, H Peng. Multistage prediction based eco-driving control for connected and automated plug-in hybrid electric vehicles, - Journals IEEE (institute of Electrical and Electronics Engineers), 10.1109/TTE. 2024. 3371461
11. Завалко А.Г., Муздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М., Муздыбаева А.С. Автомобильді үнемді басқару сапасын бағалау үшін энергетикалық көрсеткіштерді қолдану мүмкіндіктерін талдау. Вестник ВКТУ, №1, 2023г., 77-90. DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_77
12. Ruru Hao & Hangzheng Yang & Zhou Zhou, 2019. "Driving Behavior Evaluation Model Base on Big Data From Internet of Vehicles," International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI), IGI Global, vol. 10(4), pages 78-95, October.
13. E. Evin, M.B. Aydin, G. Kardas. Proyektirovaniye i vnedreniye sistemy ekologicheskogo vozhdeniya na baze CANBus dlya avtobusov obshchestvennogo transporta. - Dostup IEEE, 2020 g. - ieeexplore.ieee.org
14. Stromberg, H.K., Karlsson, I.C.M.A., 2013. Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers - results from a field trial. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 22, 28-33.
15. Barth, M., Boriboonsomsin, K., 2009. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 14 (6), 400-410.

References

1. IEA, 2014. CO2 emissions from fuel combustion, 2014 ed. International Energy Agency, Paris, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsTrends.pdf> (accessed on 29.03.2016).
2. Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., Van Aerde, M., 2002. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. J.Transport. Eng. 128 (2), 182-190.
3. Z Yao, Y Wang, B Liu, B Zhao, Y Jiang. Fuel consumption and transportation emissions evaluation of mixed traffic flow with connected automated vehicles and human-driven vehicles on expressway. - Energy, 2021 - Elsevier, Volume 230, September 1, 2021, 120766
4. Golbasi, O.; Kina, E. Haul. Truck fuel consumption modeling under random operating conditions: A case study. Transp. Res. Part D Transp. Environ. 2022, 102, 103135.
5. Y Wang, C Lin, B Zhao, B Gong, H Liu. Trajectory-based vehicle emission evaluation for signalized intersection using roadside LiDAR data - Journal of Cleaner Production, 2024 - Elsevier, 440(3):140971
6. Saboohi, Y., Farzaneh, H., 2009. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. Appl. Energy 86 (10), 1925-1932.
7. af Wahlberg, A.E., 2007. Long-term effects of training in economical driving: fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. Int. J. Ind. Ergon. 37, 333-343.
8. Zavalko A.G. A technology of economical driving quality assessment. Republic of Kazakhstan Patent No.22396. Newsletter No.3, 15.03.2010. Astana: The National Institute of Intellectual Property.
9. QLin, SELi, SXu, XDu, DYang. Eco-driving operation of connected vehicle with V2I communication among multiple signalized intersections. - IEEE International Conference on Intelligent Engineering System, 2020 - ieeexplore.ieee.org
10. J Hu, J Li, F Xiao, Z Sun, H Peng. Multistage prediction based eco-driving control for connected and automated plug-in hybrid electric vehicles, - Journals IEEE (institute of Electrical and Electronics Engineers), 10.1109/TTE. 2024. 3371461
11. A. G. Zavalko, M. S. Muzdybayev, D. M. Myrzabekova, A. S. Muzdybayeva. Analysis of the possibilities of using energy indicators to assess the quality of economical car Management. Vestnik VKTU, No. 1, 2023g., 77-90. DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_77
12. Ruru Hao & Hangzheng Yang & Zhou Zhou, 2019. "Driving Behavior Evaluation Model Base on Big Data From Internet of Vehicles," International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI), IGI Global, vol. 10(4), pages 78-95, October.
13. E. Evin, M.B. Aydin, G. Kardas. Proyektirovaniye i vnedreniye sistemy ekologicheskogo vozhdeniya na baze CANBus dlya avtobusov obshchestvennogo transporta. - Dostup IEEE, 2020 g. - ieeexplore.ieee.org
14. Stromberg, H.K., Karlsson, I.C.M.A., 2013. Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers - results from a field trial. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 22, 28-33.
15. Barth, M., Boriboonsomsin, K., 2009. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 14 (6), 400-410.