



АВТОМОБИЛЬ КӨЛІГІ
АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ
AUTOMOBILE VEHICLE

DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_77
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

АВТОМОБИЛЬДІ ҮНЕМДІ БАСҚАРУ САПАСЫН БАҒАЛАУ ҮШІН ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРДІ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭКОНОМИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

ANALYSIS OF APPLICATION POSSIBILITIES FOR ENERGY INDICATORS IN ORDER TO EVALUATE THE QUALITY OF ECONOMICAL CAR DRIVING

Аңдатпа. Мақалада автомобильдерді экологиялық тұрғыдан жүргізу тұжырымдамасы қарастырылған. Отынның үнемділігі мен автомобильдердің экологиялық таза болуына экологиялық жүргізудің әсері анықталды. Экологиялық жүргізуді енгізудің орындылығы мен тиімділігін бағалау кезінде энергетикалық тәсілді қолдану ұсынылды. Экологиялық жүргізу шеберлігін бағалау кезінде интегралды энергетикалық көрсеткіштер әзірленді. Экологиялық жүргізу дағдыларын бағалауда энергетикалық тәсілді қолдану бойынша эксперименттік жұмысқа талдау жасалды. Экологиялық жүргізу шеберлігін бағалау кезінде интегралды энергия көрсеткіштерін қолдану жүргізушінің көлік ағынында қозғалу кезінде екіпіндеу мен тежелудің үнемді режимдерін сақтау қабілетін анықтауға мүмкіндік беретіні анықталды.

Түйін сөздер: автомобильдер; іштен жану қозғалтқыштары; энергия; отын үнемділігі; газ шығарындылары; экологиялық жүргізу тұжырымдамасы.

Аннотация. В статье рассматривается концепция экологического вождения автомобилей. Выявлено влияние экологического вождения на топливную экономичность и экологичность автомобилей. Предложено применять энергетическим подход при оценке целесообразности и эффективности внедрения экологического вождения. Разработаны интегральных энергетических показателей при оценке мастерства эковождения. Выполнен анализ экспериментальной работы по применению энергетического подхода к оценке навыков экологического вождения. Установлено, что использование интегральных энергетических показателей при оценке мастерства эковождения позволяет количественно оценить способность водителя поддерживать экономичные режимы разгонов и торможений при движении в транспортном потоке.

Ключевые слова: автомобили; двигатели внутреннего сгорания; энергия; экономия топлива; выбросы газов; концепция эковождения.

Abstract. The article discusses the concept of ecological car driving. The influence of ecological driving on fuel efficiency and environmental friendliness of cars is revealed. It was proposed to apply an energy approach in assessing the feasibility and effectiveness of the environment car driving implement. Integral

energy indicators have been developed during the eco-driving skill assessment. The analysis of experimental work for the energy approach application in ecological car driving skills assessment is carried out. It is established that the using of integral energy indicators in eco-driving skill assessment makes it possible to quantify the ability of the driver to maintain economical acceleration and braking modes when driving in transport streams

Keywords: cars; internal combustion engines; energy; fuel economy; gas emissions; eco-driving concept.

Kіpіcne. CO₂ шығарындыларын азайту халықаралық климаттық саясаттың маңызды мақсаты болып табылады. Біріккен Ұлттар Ұйымының климаттың өзгеруі туралы 21-ші негіздемелік конвенциясы (COP21/СМР11) кезінде қатысушы елдер индустрияландыруға дейінгі деңгеймен салыстырғанда ғаламдық жылынуды 2 °С немесе одан да төмен азайту мақсатында CO₂ шығарындыларын азайтуға келісті. Автомобиль көлігі ғаламдық шығарындылардың өсуіне айтарлықтай үлес қосатындықтан (оны 2014 жылы Халықаралық энергетика агенттігі Парижде өткен форумда растады) [1], отын үнемдеудің жаңа технологияларын енгізу аса өзекті болып табылады.

Автомобиль өнеркәсібінде қазбалы отыннан ішінара бас тартуға мүмкіндік беретін бірқатар технологиялар бар болғанымен, электр қозғалтқыштары бар көліктерді кеңінен қолдану қазір толығымен мүмкін болмай отыр. Сондықтан қозғалтқыштарда көмірсутекті отынды пайдаланатын автомобильдер үшін отын шығынын азайтудың жаңа тәсілдерін іздеу шұғыл міндет болып табылады. Отын үнемдеудің жаңа технологияларын дамытумен қатар, жүргізушінің жүргізуді өзгертуі отын шығыны мен шығарындыларды азайтудың қосымша шарасы болып табылады. Бірқатар авторлар отын шығыны мен көлік құралдарының шығарындыларына әсер ететін негізгі айнымалылардың алты санатының ішінен жүргізушілердің шеберлігі мен жүргізуіне қатысты факторларды айтады [2].

Салыстырмалы түрде жақында Mudgal A [3] жүргізген зерттеуі нәтижесінде әртүрлі жүргізушілердің жылдамдықты бөлу сипаттамаларында айтарлықтай айырмашылықтарды анықтады. Атап айтқанда, кейбір жүргізушілер пайдаланылған газдардың жоғары шығарындылары мен отын шығынының артуын сипаттайтын нәтижелерді көрсетті. Жүргізу шеберлігінің отын шығынына тигізетін әсері туралы дәлелдер ертерек кезеңде, 1980 жылдары [4, 5] құжатталғанын айта кетуге болады.

Экологиялық жүргізу тұжырымдамасы автомобиль мен жолдың бірдей техникалық жағдайларын ескере отырып, отын шығыны мен шығарындыларды азайтуды қамтамасыз ететін көлік жүргізу стратегияларын қамтиды. Стратегияларға қажетсіз бос жүрудің алдын алу, шамадан тыс жоғары жылдамдықтар мен автомобильдердің үдеуін азайту және т.б. жатады. Қазірдің өзінде оңтайлы жүргізу стратегиясының бірнеше модельдері бар, олар ең аз отын шығынын [6] құрайды. Бірқатар авторлар жүргізушілерді оқыту бағдарламаларын қолдану нәтижелері бойынша отын шығынын 6-15 %-ға азайтуға болатындығын көрсетеді [7, 8, 9, 10, 11]. Экологиялық жүргізу стратегиясы орташа есеппен алғанда отын шығынын 10 пайызға азайтуға көмектеседі. Осылайша атмосфераға таралатын зиянды заттардың шығарындылары азаяды. Мұндай стратегияларды қолдану климаттың өзгеруіне қарсы бастама ретінде қарастырылуы мүмкін. Алайда, жүргізушілерді жаппай оқыту бағдарламалары көбінесе экологиялық жүргізу дағдыларын үйретуді қамтымайды. Оның себептерінің бірі – жүргізу дағдыларын объективті бағалауға мүмкіндік беретін өлшеу құралдарына деген қажеттілік. «Экологиялық көлік жүргізу» терминімен қатар «үнемді көлік жүргізу» термині алмастырылып қолданылады [13].

Қазіргі уақытта экологиялық жүргізу тұжырымдамасы жүргізуші тарапынан автомобильді басқару стилін қалыптастырумен қатар басқа да көптеген шараларды қамтиды. Бұл қосымша шаралар автомобильдің техникалық жағдайын, телематиканы және жол

қозғалысын басқаруды, жүргізу кезінде компьютерлік көмекті қамтамасыз етуге қатысты болып табылады. Бұл мақалада біз «көлік жүргізу» терминін қолданамыз, оны ең аз отын шығынын қамтамасыз ететін көлік жүргізу режимі деп түсіну керек. Отын шығынын азайту экологиялық мәселелерді шешу және алдын алу тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар отынның қаржылық шығындарын азайту әдісі болып табылады. Соңғысы ірі көлік компаниялары үшін ерекше қызығушылық тудырады. Сонымен қатар, бұл компаниялар жеке автокөлік иелерімен салыстырғанда отынды көп пайдаланады және олардың көлігі CO₂ шығарындыларының едәуір көп мөлшерін шығарады. Көлік компанияларының отын шығындарын азайтумен байланысты материалдық қызығушылығы экологиялық жүргізуді үйретуге себеп болуы мүмкін. Бұл отын шығыны мен шығарындылардың айтарлықтай төмендеуіне әкеледі. Өкінішке орай, көлік компанияларында көбінесе қызметкерлердің іскерлік дағдыларын бағалау үшін өлшеу технологиялары жетіспейді. Кейбір авторлардың [13] зерттеулерінде айтылғандай, жеке жүргізушілерге қатысты отын шығынын тікелей өлшеуге байланысты әдістерді ірі компанияларда қолдану қиын. Демек, көлік жүргізу дағдыларын бағалаудың объективті әдістерін мұқият зерделеу қажет. Оларды кейіннен экологиялық жүргізу дағдыларын бағалау және дамыту үшін қолдануға болады. Бұл мақалада біз аталған әдістерге шолу жасаймыз, энергетикалық тәсілмен таныстырамыз және энергияны үнемдеу дағдысын бағалауға және экологиялық дағдыларды үйрену үшін энергетикалық тәсілді қолдану бойынша тәжірибелік жұмысты талдаймыз.

Зерттеу нысаны – механикалық көлік құралдарының қозғалтқышы.

Зерттеу пәні – механикалық көлік құралдарын жүргізу әдістері мен тәсілдері.

Зерттеу мақсаты – механикалық көлік құралдарын жүргізу әдістері мен тәсілдерін оңтайландыру негізінде механикалық көлік құралдарының пайдалану тиімділігін, отын үнемділігін және экологиялылығын арттыру.

Зерттеу әдістері – математикалық модельдеу, эксперименттік зерттеулер, бақыланатын пайдалану, статистикалық талдау, корреляциялық талдау.

Автокөлік жүргізу дағдыларын бағалау әдістерін талдау. Зерттеулер көрсеткендей, әдетте автомобильді басқару шеберлігін бағалау кезінде қолданылатын көрсеткіштер (сынып, еңбек өтілі, жасы және т.б.) оның нақты деңгейін шамалы ғана (12-14 %) сипаттайды. Жалпы, жүргізушінің кәсіби шеберлігі тек оның қабілеттері мен ептілігі ғана емес, сонымен қатар жүргізушінің өз жұмысының жоғары сапасын қамтамасыз етуге деген қызығушылығынан тұрады [11, 12]. Потенциалды шеберлікті жүзеге асыру жүргізушінің қызметін бақылау және бағалау жүйесіне, моральдық және материалдық қызығушылыққа, сондай-ақ белгілі бір жүргізушіге тән психофизиологиялық қасиеттерге байланысты болады.

Біздің мақалада біз негізінен экологиялық көлік жүргізуді бағалаудың объективті әдістері мен экологиялық көлік жүргізу деңгейінің жоғарылауын қамтамасыз ететін әдістерге тоқталамыз. Нақты көлік компанияларында жүргізушілердің кәсіби шеберлігін жүзеге асыру шараларын қарастырмаймыз. Сондай-ақ, отын шығыны мен автомобильдердің шығарындыларын азайту мақсаттарынан басқа, тасымалдау процесінің басқа да жүктерді тез және қауіпсіз жеткізуді қамтамасыз ету, жүктің сақталуы сияқты мақсаттары бар. Осыған байланысты, тасымалдау процесінің басты мақсаттарына қол жеткізу үшін оларда жағымсыз салдарлардың болмауы ескеріле отырып, экологиялық жүргізу әдістемесі қарастырылады.

Жоғарыда атап өткеніміздей, жүргізушілерді жаппай оқыту бағдарламаларының басым бөлігі экологиялық жүргізу бойынша мәселелерді қамтымайды. Жүргізушілерді оқытуда

жүргізу шеберлігі субъективті түрде бағаланатын қауіпсіз қозғалыс дағдыларының деңгейімен анықталады. Сонымен қатар, арнайы әдістемелер мен техникалық құралдарды пайдалана отырып, жүргізушілерді қосымша даярлау тәжірибесі де бар. Бұл ретте жүргізу шеберлігін бақылаудың аспаптық тәсілдеріне, басқару тәсілдерін пысықтайтын практикалық сабақтарға көп көңіл бөлінді. Бұл зерттеулер автобус жүргізудің ұтымды режимдерін анықтауға, жүргізушілерді даярлау және тағылымдамадан өткізу әдістерін жетілдіруге, сондай-ақ кәсіби шеберлік деңгейінің динамикасын сандық бағалауға мүмкіндік берді. Автобус тасымалдарына алғаш рет тағайындалған және бұған дейін тәжірибесі аз жүргізушілер бақылаудың аспаптық әдістерін қолдана отырып, мақсатты дайындық кезінде 1-4 ай ішінде сенімділік [11] критерийлері бойынша жоғары көрсеткіштерге қол жеткізді.

Жүргізу сапасын объективті бақылауды қамтамасыз ететін параметрлер арасында жылдамдық, басқарылатын доңғалақтардың бұрылу бұрышы, үдеу және т.б. [12, 13, 14] ерекшеленеді. Жеке параметрлер негізінде жалпыланған көрсеткіштер алынады, мысалы, Гриншильд G [15]:

$$G = \frac{t \cdot \Delta V \cdot \Delta \theta \cdot \Delta a}{d}, \quad (1)$$

мұндағы: t – қозғалыс уақыты; d – зерттелетін жол учаскесінің ұзындығы; ΔV – жылдамдықтың жиынтық өзгеруі; $\Delta \theta$ – бағыттың жиынтық өзгеруі; Δa – үдеудің жиынтық өзгерісі.

Экологиялық жүргізу деңгейін егжей-тегжейлі сандық талдау үшін жүргізушінің кәсіби шеберлігін отын шығыны критерийі бойынша сипаттайтын барлық факторларды екі топқа бөлу ұсынылады [16]. Бірінші топқа жүргізушінің автомобильдің техникалық жағдайына әсер етуі, сондай-ақ оңтайлы бағдарды, жол және көлік жағдайларын таңдау арқылы отын шығынын азайтуды қамтамасыз ететін факторлар кіреді. Бұл факторлар тобын тасымалдау қызметі мен техникалық қызметтің әрекетімен бірге талдау қажет. Ол осы жұмыста қарастырылмайды. Факторлардың екінші тобы автомобильдің нақты техникалық жай-күйі, белгіленген жол-көлік жағдайлары мен қозғалыс жағдайлары үшін экологиялық жүргізу шеберлігін анықтайды. Экологиялық жүргізу шеберлігіне қозғалтқышты іске қосу және жылыту, тиеу және түсіру пункттерінде маневр жасау, ең бастысы бағдардағы автомобиль қозғалысы кезінде автомобильді басқарудың белгілі бір ережелерін сақтау арқылы қол жеткізіледі. Оны іске қосу, жылыту және маневр жасау кезінде экологиялық жүргізу ережелерін сақтау көлік компаниясында және тиеу, түсіру орындарында тиісті іс-шаралармен қамтамасыз етіледі. Орындау және бақылау тұрғысынан автомобильді басқару тәртібі ең маңызды және күрделі болып табылады. Бұл бағдардағы автомобиль қозғалысы кезінде отынды үнемдеуге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта осы тәртіптердің сақталуын бақылау отын шығыны мен шығарындыларды [10] азайтудың болашақ әдісі ретінде қарастырылады. Талдау көрсеткендей, бұл бағытта жүргізушіде екі негізгі және түбегейлі әртүрлі әдістер бар. Бірінші әдіс – қозғалтқыш пен трансмиссия агрегаттарының үнемді жылдамдық пен жүктеме режимдерін сақтай отырып, меншікті отын шығынын аз жұмсай отырып, қозғалтқыштан механикалық энергия алуды қамтамасыз ету. Екінші әдіс – қозғалтқыштан алынған энергияны тиімді пайдалану. Бірінші әдіс автомобильді басқару жетектеріне оңтайлы әсер ету арқылы жүзеге асырылады. Олар қажетті жылдамдық пен жүктеме режимдерін қамтамасыз етеді, яғни негізінен басқару техникасына байланысты болады. Екінші әдіс – үдеу кезінде кинетикалық энергияның оңтайлы жинақталуы мен тежеу кезінде оның минималды таралуы арқылы жүзеге асырылады. Яғни, жүргізушінің тактикалық шеберлігі дегеніміз оның аз тежеуді қамтамасыз ету үшін бағдаршамдар мен кедергілерден өту кезінде жылдамдықты ескеріп, оны біртіндеп төмендету қабілеті болып

табылады.

Бірінші әдісті іске асыру арқылы экономикалық басқару шеберлігін жетілдіру мәселелері жақсы зерттелген [16]. Осы зерттеулердің нәтижесінде автомобильдерде қолданылатын қозғалтқыштардың үнемді бағыттары анықталды. Пайдалану режимдерін неғұрлым үнемді аймаққа ауыстыруды қамтамасыз ететін ұсынымдар әзірленді.

Көлік ағыны жағдайында автомобильдердің қозғалыс сипаты айтарлықтай өзгерді. Көлік ағыны тығыздығының артуына байланысты автомобильдің еркін қозғалысына қозғалыстың басқа қатысушылары мен реттеуші құралдары тарапынан кедергі деңгейі күрт артады. Бұл жағдайда тұрақсыз қозғалыс үлесі 60-70 пайызға дейін артады. Ал аялдау саны бір километр жүріске бір-екі аялдау немесе одан да көп келеді. Осыған байланысты көлік ағыны жағдайында автомобиль мен оның агрегаттарының оңтайлы жылдамдық пен жүктеме режимдерін қамтамасыз ету мүмкіндіктері өте шектеулі болып келеді. Мысалы, біз бүкіл жылдамдықты реттегішпен жабдықталған дизельді машиналарды қарастырамыз. Мұндай қозғалтқыштың жүктеме режимін жүргізуші тарапынан басқару мүмкіндігі мүлдем жоқ. Бұл берілген жылдамдықты қамтамасыз ету үшін реттегіш тарапынан отын беруге автоматты әсер етумен байланысты болады.

Біздің жұмысымызда екінші әдісті жүзеге асыруға, яғни автомобильді тежеу кезінде өнімсіз энергия шығынын азайтуға баса назараударылады. Ол үшін екпіндету кезінде (0,7-1) м/с және баяулау кезінде (0,6-0,9) м/с тең оңтайлы деңгейлес үдеулерді сақтау ұсынылады [16]. Бұл ұсыныстардың орындалуын бақылауды жүргізуші жүзеге асыратын үдеулерді өлшеу арқылы жүргізуге болатыны анық. Және де осы мақсаттар үшін нөлге қатысты үдеудің таралуын сипаттайтын критерий жарамды болып табылады. Үдеу шуылы, сонымен қатар Гриндшильдс көрсеткіші болады [17]. Алайда, барлық осы көрсеткіштер үдеу кезіндегі энергия шығындарын және тежеу кезінде нәтижесіз жоғалған оның үлесін жанама бағалауды ғана береді.

Жоғарыда аталған бағалау көрсеткіштерінің жетілмегенінің орнын толтыру үшін біз экологиялық жүргізу сапасын бағалаудың энергетикалық тәсілін қолдандық. Отын шығынын талдау және болжау үшін энергия көрсеткіштерін қолданудың алғашқы әрекеттері 1980 жылдары [4, 18] жасалды. Энергетикалық тәсіл автомобиль қозғалтқышын нақты отын шығынымен ге өндірілетін механикалық энергия көзі ретінде қарастырады. Талдау объектісі – қозғалтқыштың энергиясы немесе қарсылық күштерімен теңестірілген жетекші доңғалақтардағы тарту күшінің эквивалентті жұмысы. Бұл тұрғыда отын шығынын көбейтетін факторларды отын шығынын тікелей өлшеусіз энергия шығыны ретінде өлшеуге болады. Соңғысы ірі көлік компанияларында жүргізушілерді жүргізу және оқыту дағдыларын бағалау үшін өте маңызды, өйткені бұл компаниялардағы жеке жүргізушінің отын шығынын өлшеу белгілі бір қиындықтармен байланысты [13]. Энергия шығындарының жоғарылау факторларын анықтап, олардың мәндерін есептегеннен кейін энергетикалық айнымалылар мен көрсеткіштер нақты отын шығынының ге мәнін қолдана отырып, қозғалыстың әр фазасындағы отын шығыны мәндеріне айналуы мүмкін. Энергетикалық көрсеткіштерді талдау көлік құралдарының [19] экономикалық қозғалыс режимдерін есептеуге және қозғалтқыштың энергиясын пайдалану тиімділігі тұрғысынан жеке жүргізу режимдерін одан әрі талдауға мүмкіндік береді. Экологиялық жүргізу шеберлігін бағалаудағы энергетикалық тәсілі жүргізушінің жүргізу стиліне немесе жүргізу техникасына байланысты көлік құралының қозғалыс процесінде өнімсіз энергия шығындарын өлшеуді қамтиды. Қозғалтқыштан жетек доңғалақтарына жеткізілетін жалпы энергияның үлесі нәтижесіз жұмсалады (шамадан тыс тежеу), жүргізу шеберлігінің

деңгейін сипаттайды. Оны есептеу үшін автомобиль қозғалысы процесінде өнімсіз энергия шығындарын тікелей сипаттайтын кейбір интегралды көрсеткіштер қажет. Төменде біз энергияның интегралды көрсеткіштерін алу үшін жасалған теориялық есептеулерді ұсынамыз. Олар кейінірек экологиялық жүргізу дағдыларын бағалау үшін біздің эксперименттік жұмысымызда қолданылды.

Экологиялық жүргізудің интегралды энергетикалық көрсеткіштері. Ұсынылған энергетикалық тәсілге сәйкес бағдардағы автомобиль қозғалысының бүкіл жолы үш түрлі фаза (бөлік) түрінде ұсынылған: қалыптасқан (тұрақты), жоғарылайтын (екпіндеу) және төмендейтін (баяулау) жылдамдықтармен. Екпіндеу жолы – S_a автомобильдің нөлден үлкен үдеуімен жолдың барлық бөліктерін қамтиды. S_d баяулау жолы – нөлден төмен үдеумен жолдың барлық бөліктері. Ал тұрақты қозғалыс жолы – S_C тұрақты жылдамдықпен жолдың барлық бөліктерін қамтиды.

Тұрақты қозғалыс фазасында қозғалтқыштан автомобильдің жетек доңғалақтарына жеткізілетін барлық энергия E_c жол мен ауаның кедергісін (автомобильдің жылжуын E_{tc}) жеңуге жұмсалады:

$$E_c = E_{tc} = \int_{S_c} (P\psi + Pw) \cdot dS, \text{ Дж.} \quad (2)$$

мұндағы: S – автомобиль жүрген жол, m ; $P\psi$ – жолдың жалпы қарсыласу күші, N ; PW – аэродинамикалық кедергі күші, N .

Екпіндету фазасында автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілген энергия E_a автомобильді жылжытуға және кинетикалық энергияны жинауға жұмсалады:

$$E_a = E_{ta} + E_k, \text{ Дж.} \quad (3)$$

Автомобиль қозғалысына қолданылатын энергияны сипаттайтын тәуелділіктің бірінші қосылғышы (3) тұрақты қозғалыс фазасына ұқсас анықталады:

$$E_{ta} = \int_{S_a} (P\psi + Pw) \cdot dS, \text{ Дж.} \quad (4)$$

Екінші қосылғыш автомобильді екпіндету үшін қажет энергия мөлшерін сипаттайды (автомобильдің инерция күшін жеңу):

$$E_k = \int_{S_a} \delta \cdot G_a \cdot j \cdot dS, \text{ Дж.} \quad (5)$$

мұндағы δ – автомобильдің айналмалы салмағын есепке алу коэффициенті; j – автомобильдің курстық үдеуі, m/s .

Автомобильдердің көптеген түрлері үшін баяулау фазасында қозғалтқыштың энергиясы автомобильдің жетек доңғалақтарына жеткізілмейді (тек шамадан тыс жүктеме жағдайларын қоспағанда) және автомобильдің қозғалысы кинетикалық энергияны азайту арқылы толығымен жүзеге асырылады. Демек, баяулау фазасында E_d автомобильдің қозғалысы кезінде жұмсалған энергия үдеу фазасында сақталған кинетикалық энергияға тең ($E_d = E_k$). E_d мәнін баяулау фазасының қозғалыс параметрлері арқылы да анықтауға болады:

$$E_d = - \int_{S_d} \delta \cdot G_a \cdot j \cdot dS, \text{ Дж.} \quad (6)$$

E_d энергиясы ішінара автомобильді жылжыту үшін қолданылады және тежеу кезінде ішінара бөлінеді:

$$E_d = Et_d + E_b, \text{ Дж.} \quad (7)$$

Тендеудің (7) бірінші қосылғышы үдеу және тұрақты қозғалыс фазаларында да анықталады:

$$Et_d = \int_{S_d} (P\psi + Pw) \cdot dS, \text{ Дж.} \quad (8)$$

Тендеудің (7) екінші қосылғышы тежегіш құрылғыларында таратылатын энергияны білдіреді. Көлік ағыны жағдайында E_b жалпы шығындардан едәуір шаманы құрайды және объективті факторларға да (жол қозғалысын ұйымдастыруға байланысты мәжбүрлі аялдамалар, қозғалысқа басқа қатысушылардың кедергілері және т.б.), сондай-ақ автомобильді басқаратын жүргізушіге (оның қозғалыс процесінде дұрыс жүру қабілеті, жиі және кенеттен тежелуден аулақ болу, екпіндеу кезінде жиналған энергияны тиімді пайдалану) байланысты болады. Жалпы жағдайда, тежеу кезіндегі баяулау мәні неғұрлым төмен болса, тежегіш құрылғыларында энергия аз бөлінеді және сәйкесінше кинетикалық энергия пайдалы жұмыс істейді (көлік құралының қозғалысы). Сондықтан, тең қозғалыс жағдайында E_b автомобильді үнемді жүргізу шеберлігін сипаттайды. E_b анықтау үшін келесі тәуелділікті қолданамыз:

$$E_b = E_d - Et_d \quad (9)$$

Автомобильдің жетекші доңғалақтарына тартылған қозғалтқыштың жалпы энергиясы E_{Σ} үдеу фазаларының тиісті энергиясынан және тұрақты қозғалыстан тұрады, өйткені бұрын қабылданғандай, баяулау кезеңінде қозғалтқыштан энергия берілмейді:

$$E_{\Sigma} = E_c + E_a \quad (10)$$

Бұрын алынған тәуелділіктерді қолдана отырып, (10) тендеу түрлендірілді:

$$E_{\Sigma} = Et_c + Et_a + Et_d + E_b \quad (11)$$

Алғашқы үш қосынды (11) барлық жол бойында жол мен ауаның кедергісін жеңуге арналған қозғалтқыштың механикалық энергиясының шығындарын құрайды (автомобильдің қозғалысы):

$$Et = Et_c + Et_a + Et_d \quad (12)$$

Сонда (11) тәуелділік өзгереді:

$$E_{\Sigma} = Et + E_b \quad (13)$$

Et шамасын бүкіл өткен S жолына сәйкес келетін интегралдау шегімен бір интегралмен анықталады:

$$Et = \int_S (P\psi + Pw) \cdot dS, \text{ Дж.} \quad (14)$$

Жоғарыда келтірілген энергетикалық көрсеткіштерді практикалық анықтау мүмкіндігін алу үшін келесі ықшамдаулар қабылданды:

1) Жол мен ауаның кедергісін жеңуге жұмсалатын энергия шығындары Et сәйкес жол мәндеріне $P\psi$ және Pw күштерінің орташа мәндерінің қосындысының көбейтіндісі ретінде көрсетілді.

2) оң және теріс үдеулердің барлық мүмкін болатын аралығы үдеудің орташа шамасымен сипатталатын диапазондарға бөлінген. Екпіндеу мен баяулау фазасының үдеуінің әрбір мәні тиісті диапазонға жатқызылған.

3) E_k және E_d шамаларын анықтайтын интегралдар тиісті сомаларға ауыстырылды.

Қозғалыстың энергетикалық көрсеткіштері бойынша отын шығынын есептеу үшін автомобильдің жетекші доңғалақтарында механикалық энергия бірлігін алу кезінде отын шығынын анықтайтын отынның меншікті шығыны пайдаланылды:

$$QS = g_e \cdot E, \text{ кг}, \quad (15)$$

мұндағы QS – отын шығыны, кг; E – энергия, Дж; g – меншікті отын шығыны, кг/Дж.

Отынның меншікті шығынын өлшеу бірлігі ретінде г/кВт·сағ қолдану әдетке айналған. Сондықтан қайта есептеу коэффициентіне тәуелділік қолданылды: $g = g_e \cdot C$, мұндағы g_e – отынның нақты шығыны, г /кВт·сағ; C – қайта есептеу коэффициенті $3,77 \cdot 10^{-10}$.

Іс жүзінде отынның нақты шығындарының мәндерін қозғалтқыштың сипаттамаларын қолдана отырып, тиісті қозғалыс фазаларының орташа жүктеме және жылдамдық режимдеріне сәйкес шамамен анықтауға болады.

Экологиялық жүргізу шеберлігін бағалау кезінде интегралды энергия көрсеткіштерін пайдалану жүргізушінің көлік ағынында қозғалу кезінде екпіндету мен тежеудің үнемді режимдерін сақтау қабілетін анықтауға болады. Теориялық есептеулер осы интегралды көрсеткіштерді алуға мүмкіндік берді. Іс жүзінде, экологиялық жүргізу дағдыларын бағалау үшін энергия көрсеткіштерін есептеуді жылдамдық, жол және үдеу [20] мәндерін қолдана отырып, біріктірілген есептеу бағдарламалық жасақтамасы бар құрылғы жүргізе алады.

Эксперименттік зерттеулер және олардың нәтижелерін талдау. Экологиялық жүргізуді үйрету және экологиялық жүргізу шеберлігін бағалау процесінде алынған интегралды энергия көрсеткіштерінің жарамдылығын растау үшін біз екі эксперимент жүргіздік. Эксперименттің мақсаты әртүрлі деңгейдегі жүргізушілердің интегралды энергия көрсеткіштерін тіркеу және жүргізушінің көлік құралын жылжытуға жұмсалған энергия мөлшерін азайта алатындығын бағалау болды. Егер кейбір жүргізушілер бұл мақсатқа көлік ағынындағы қозғалыс ережелері мен режимдерін бұзбай қол жеткізе алса, онда басқа жүргізушілер де сондай шеберлік деңгейіне жету үшін үйретілуі мүмкін. Бұдан әрі оқыту әдістемесі ретінде энергетикалық тәсілді және оқудағы прогресс критерийі ретінде интегралды энергетикалық көрсеткіштерді пайдалана отырып, экологиялық жүргізу дағдыларын жаттықтыруға болады.

Мұнда ұсынылған жүргізуші шеберлігін бағалаудың энергетикалық әдісі қалалық нысандарды салу үшін жүк тасымалдаумен айналысатын ірі көлік компаниясында сыналды. Компания КамАЗ автомобильдерін қолданды (толық салмағы 19 тонна, жүк көтергіштігі 10 тонна, жұмыс көлемі 10850 см^3 сегіз цилиндрлі дизельді қозғалтқышпен, 10 сатылы механикалық беріліс қорабымен жабдықталған). Экспериментке бірдей жүк көліктерінде және бірдей қалалық бағдарларда жұмыс істейтін әртүрлі біліктіліктегі 30 жүргізуші қатысты. Компанияда қолданылатын ішкі біліктілік жүйесіне сәйкес жүргізушіге біліктілік санатын беру бірнеше критерийлер бойынша жүзеге асырылады (жүргізу өтілі, апатсыз жүргізу өтілі, қосымша жүргізушілік оқудан өту), бірінші сынып, екінші сынып және үшінші сынып. Бірінші сынып жүргізуші шеберлігінің жоғарғы деңгейіне, үшінші сынып төменгі деңгейге сәйкес келеді. Бірінші, екінші және үшінші сынып жүргізушілері іріктемеде тең ұсынылды ($N = 10$).

Біздің зерттеуімізде автомобиль қозғалысының энергетикалық көрсеткіштерін өлшеу арнайы тіркеу аппаратурасымен жүргізілді [19, 20].

Деректерді талдаудың бірінші кезеңінде біз біліктілігі әртүрлі деңгейдегі (жоғары, орташа, төмен) жүргізушілер басқаратын автомобильдердің орташа отын шығыны қалай

болатынын тексердік. Бір факторлы дисперсиялық талдау отын шығынында «жүгі бар» жағдайлар үшін топтар арасындағы айырмашылықтар бар екенін көрсетті ($F(2, 29)=44,489$, $p=0,000$). Бонферрони тестімен жүргізілген апостериорлық салыстырулар бірінші сыныпты жүргізушілер басқаратын жүк көліктері екінші сыныпты жүргізушілер басқаратын жүк көліктеріне қарағанда аз отын тұтынғанын көрсетті ($p = 0,000$). Екінші сынып жүргізушілері, өз кезегінде, үшінші сынып жүргізушілеріне қарағанда отын шығынын аз ($p = 0,001$) жұмсады. Осындай нәтижелер жүксіз сапарлар үшін де алынды.

Осылайша, бұл үлгі үшін эксперименттің басында жасалған болжам расталды (жоғары білікті жүргізушілерде экологиялық шеберлік деңгейі жоғары болды), бұл талдаудың екінші кезеңін өткізуге мүмкіндік берді. Екінші кезеңде біз энергия көрсеткіштеріндегі айырмашылықтар отын тұтыну айырмашылықтарына әсер ететінін тексердік. Экспериментте алынған энергия көрсеткіштері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Біліктілігі әртүрлі жүргізушілердің жұмыс көрсеткіштері

Көрсеткіштер	жүкпен			жүксіз		
	3 сынып	2 сынып	1 сынып	3 сынып	2 сынып	1 сынып
Отын шығыны, QS , кг/100 км	58,9	56,3	53,7	28,0	27,2	25,8
Аялдамалар, NO, 1/км	0,56	0,55	0,58	0,56	0,5	0,62
Автомобиль жылдамдығы, VДВ, км/сағ	33,6	32,4	34,9	36,2	40,9	38,9
Трансмиссияның беріліс саны, Iaver	1,34	1,21	1,16	0,93	0,85	0,83
Меншікті энергетикалық көрсеткіштер						
E_{Σ} , Мj/100 км	733	694	670	328	324	309
E_a , Мj/100 км	560,7	510,8	511,9	290,3	266,7	255,5
E_c , Мj/100 км	172,3	183,2	158,1	37,7	57,3	53,5
E_b , Мj/100 км	211,7	199,9	154,8	175,2	139,0	130,1
S-3, %	1,9	1,65	1,23	2,43	2,02	1,48
S-4, %	0,94	0,90	0,46	2,30	0,96	1,18

Бір факторлы дисперсиялық талдау негізінде барлық энергия көрсеткіштері бойынша топтар арасындағы айырмашылықтарды дұрыс деп санауға болатындығы анықталды. «Жүгі бар» шарты жағдайында энергетикалық көрсеткіштерде топтар арасындағы айырмашылықтар бар: E_b үшін ($F(2,29) = 129 009$, $p = 0,000$), ал E_a үшін ($F(2,29)=33,359$, $p=0,000$).

Энергетикалық көрсеткіштер бойынша эксперимент деректерін талдау әртүрлі біліктілік топтарының энергетикалық көрсеткіштері айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетеді. Бұл үшінші және бірінші сынып жүргізушілерін салыстыру кезінде жақсы байқалады. Жүк тиелген автомобильдер үшін жетекші доңғалақтардағы энергия (E_{Σ}) 6-9 %-ға, ал E_a екпіндеу фазасындағы энергия 9-11 %-ға азайды. Автомобильдердің жүктелген күйі үшін ұқсас нәтижелер байқалады.

Тежегіш құрылғыларында таратылатын энергия E_b топтан топқа айтарлықтай 27 %-ға дейін өзгерді. Жоғары білікті жүргізушілер үшін бұл төмен. Тұрақты E_c қозғалысының энергия көрсеткіші бойынша жүргізушілер топтары арасында нақты айырмашылықтар табылған жоқ.

1-кестені мұқият зерттеп, бірінші және үшінші сыныпты жүргізушілердің көрсеткіштерін салыстыра отырып, бірінші сыныпты жүргізушілер тобында отын шығынын орташа есеппен 8 %-ға төмендетуге негізінен жетекші доңғалақтардағы E_{Σ} (6-9 %-ға азайды) энергияның төмендеуі есебінен қол жеткізілді. Ал бұл өз кезегінде екпіндету фазасында жұмсалған E_a энергияның 9-11 %-ға төмендеуі есебінен мүмкін болды.

Бұған 1 сынып жүргізушісінің жоғары берілісті қолдана отырып, екпіндеу қарқындылығын төмендету арқылы қол жеткізілді (Іср 11-13 %-ға төмендеді). Сызықтық отын шығынының азаюының маңызды себебі – екпіндеу фазасының энергиясының төмендеуімен қатар тежегіш құрылғылардағы оның таралу үлесі күрт төмендейді. E_b 26-27 %-ға төмендеді. Бұл үлкен теріс үдеулер (S3 және S4) диапазонындағы салыстырмалы қозғалыс жолының төмендеуіне және кішігірім баяулау режимінде өтетін жолдың өсуімен байланысты.

Жүргізушілер жұмысының көрсеткіштеріне салыстырмалы талдау жүргізу барысында энергетикалық көрсеткіштеравтомобильді жүргізу стилінің ерекшеліктерін көрсетеді және оған сандық баға беруге мүмкіндік береді деген қорытынды жасауға болады. Алынған нәтижелер сонымен қатар жүргізушінің көлік ағынының қозғалыс режимін бұзбай, автомобильдің қозғалыс режимдерін едәуір өзгертуге және автомобильдің тежегіш құрылғыларында таралған энергияның үлесін азайтуға мүмкіндігі бар екенін көрсетеді [21]. Сонымен қатар, экологиялық жүргізу дағдылары автомобильдің құрылымдық элементтерінің үлкен ресурсын қамтамасыз етуге және оның пайдалану сенімділігін сақтауға мүмкіндік береді [22].

Көлік компаниясының шектеулі мүмкіндіктеріне байланысты іріктеу мөлшері энергетикалық тәсілді пайдалану мәселелері бойынша көптеген регрессиялық талдау жүргізуге және барлық айтылған ұсыныстарды растауға мүмкіндік бермеді. Алайда, отын шығыны мен энергия көрсеткіштері арасындағы корреляцияны талдау (2-кесте) энергетикалық көрсеткіштермен өлшенетін жүргізу сипаттамаларының автомобиль отынына тигізетін айтарлықтай әсерін растайды. Отыншығыны көрсеткіштерімен ең күшті корреляция тежеу кезінде таралатын энергияға (E_b , $r=0,718$, $p=0,01$), сондай-ақ үлкен теріс үдеу диапазонындағы қозғалыс жолына (S-3 және S-4; $R=0,797$, $p=0,01$ және $R=0,683$, $p=0,01$) ие болды. E_a және E_b -ге тікелей әсер ететін беріліс коэффициенті (I_{aver}).

1-кесте. Энергетикалық көрсеткіштер мен отын шығынының корреляция коэффициенттері

	Q_s	E_a	E_c	E_b	E_z
Q_s	1	0,504	0,337	0,718	0,546
I_{aver}	0,746	0,800	0,321	0,786	0,792
S-3	0,797	0,651	0,587	0,881	0,758
S-3	0,683	0,414	0,732	0,872	0,609

Әртүрлі біліктілігі бар жүргізушілердің сапарларында тіркелген энергия көрсеткіштері мен отын шығынын талдау энергия көрсеткіштері экологиялық жүргізу шеберлігінің деңгейін және оны сандық бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Эксперимент көрсеткендей, E_a үдеткіш фазасының энергиясы мен E_b тежегіш құрылғысында бөлінетін энергия отын шығынын азайтады. Егер қалалық жағдайда E_b жалпы энергия шығындарының шамамен 30 %-ын құрайды деп есептесек, онда E_b төмендеуі отын үнемдеудің тиімді әдісі болып табылады.

Жүргізушінің тәжірибесін әрдайым жоғары деңгейде ұстау мүмкін емес [14], бірақ бз жүргізіп отырған тәжірибеілік сынаққа сай әрбір жүргізуші үнемді басқарудың энергетикалық көрсеткіштерін жақсарта алады деуге болады. Бірінші сынып жүргізушілері үшінші сынып жүргізушілерімен салыстырғанда Еб-нің 25 % төмендеуін қамтамасыз етті. Осыған байланысты эксперимент жүргізілген компанияда қолданылатын біліктілік жүйесі тек жүргізушінің еңбек өтілін ғана емес (жылдармен), еңбек өтілінің әртүрлілігі тұрғысынан оның сапасын, қосымша оқудан өту, оның ішінде үнемді жүргізуді де ескеру маңызды болды.

Бір бағытта тіркелген отын шығынындағы айтарлықтай айырмашылықтар кейбір жүргізушілердің көлік ағынындағы қозғалыс ережелері мен режимдерін бұзбай, тежегіш құрылғыларында бөлінетін энергия үлесін азайта алатындығын көрсетеді. Жүргізушінің отынды үнемдеудің осы негізгі резервін пайдалану дәрежесі ең алдымен оның тактикалық дағдыларымен, яғни жол жағдайын қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету тұрғысынан ғана емес, сондай-ақ отынды ұтымды жұмсау тұрғысынан да болжау қабілетімен айқындалады. Бұл резервке іс жүзінде келесі әдістер арқылы қол жеткізуге болады:

- шамадан тыс қарқынды жеделдетуді болдырмау; барлық сыртқы реттегіші бар дизельді автомобильдерде бұған жоғары берілісте екпіндету есебінен қол жеткізіледі;
- жол жағдайының өзгеруін болжауда қажетсіз үдеуді жою немесе екпіндеудің соңғы жылдамдығын төмендету;
- қозғалыстың қауіпсіздігі қамтамасыз етілген жағдайда ғана тежеудің осы түрлерін пайдалану есебінен апаттық және қызметтік тежеулерді барынша азайту.

Осылайша, энергия көрсеткіштері экологиялық жүргізу дағдысын бағалауға және отын шығынын төмендетуге әкелетін жүргізу тәсілдерін анықтауға мүмкіндік беретіні анықталды.

Қорытынды. Көлік компанияларында отын шығыны шығындардың көп бөлігін құрайды, сондықтан қызметкерлерді экологиялық таза жүргізу стратегиясына үйрету үлкен қызығушылық тудырады. Сонымен бірге, мұндай компанияларда экологиялық көлік жүргізуді ілгерілету қазба отындарын тұтынуды және оларды жағуға байланысты СО₂ шығарындыларын азайту арқылы климатты өзгерту жөніндегі бастамаларды жүзеге асыруға ықпал етеді. Алайда, компанияларда көбінесе экологиялық көлік жүргізу дағдыларын бағалау құралдары жетіспейді.

Экологиялық жүргізу дағдыларын бағалауда энергетикалық тәсілді қолдану артықшылықтарды:

- энергия көрсеткіштері жүргізу дағдысын объективті (сандық) бағалауға мүмкіндік береді;
- бағалау процедурасын автоматтандыруға болады (жүргізушінің энергетикалық көрсеткіштері бағдарламалық түрде жазылады және нормативтік мәндермен салыстырылады).
- энергетикалық тәсілдің маңызды артықшылығы – отын шығынын тікелей өлшеусіз экологиялық жүргізу дағдыларын бағалау мүмкіндігі;
- бұдан басқа, энергетикалық индекстер қосымша борттық жабдықтың (ауаны баптау жүйесі және т.б.) жұмысымен немесе, мысалы, отын сапасымен емес, тек қана жүргізу стилінің сипаттамасымен (экологиялық жүргізу дағдысының деңгейімен) байланысты отын шығынының факторларын білдіреді;
- экологиялық дағдыларды бағалаудағы энергетикалық тәсіл – энергетикалық көрсеткіштерді есептейтін бағдарламалық жасақтамамен жабдықталған арнайы құрылғы арқылы немесе қолданыстағы борттық компьютерге бағдарламалық жасақтаманы орнату арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

Шектеулер мен жорамалдар. Біздің экспериментте екі түрлі қателер пайда болуы мүмкін: өлшеу құралының дәл еместігіне байланысты өлшеу қателері (спидометр) және өлшеу әдісіне байланысты қателер.

Спидометрлерді өлшеудің рұқсат етілген қателіктері БҰҰ Экономикалық Комиссиясының (БҰҰ ЕЭК, 2003 ж.) № 39 регламентінде көрсетілген. Экспериментте қолданылатын жүк автомобилінің түрі үшін ол 5 %-дан аспайды. Спидометр қатесі – бұл жүйелі қате және бір автомобиль үшін тұрақты. Бұл қате бір ғана автомобильді пайдалану арқылы жойылды.

Жол жағдайларының өзгеруіне байланысты өлшеу әдісінің қателігі жол жағдайларының ықтималды моделін қолдана отырып бағаланды. Жүк автомобильдері жүретін жол тегіс деп жіктелді. Есептік өлшеу қатесі 3,15 % құрады.

Автомобильмен тасымалданатын жүктің салмағындағы ауытқуларды да атап өткен жөн. Ол жүктеудің техникалық жағдайларына байланысты рейстен рейске дейін өзгеруі мүмкін. Біздің бағалауымыз бойынша, ауытқулар 5 %-дан аспайды. Көрсеткіштерді өлшеу бірнеше рейстерде жүргізілгендіктен және жүктің салмағындағы мүмкін болатын айырмашылықтар кездейсоқ болғандықтан, біз бұл фактор анықталған топтар арасындағы айырмашылықтарға айтарлықтай әсер етпеді деп есептейміз.

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. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *J. Transport. Eng.*: 2002, 128 (2), 182-190 с.
3. Mudgal A., Hallmark S., Carriquiry A., Gkritza K., Driving behavior at a roundabout: a hierarchical Bayesian regression analysis. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 2014. 26, 20-26 с.
4. Wenjuan Li, Xudong Wang, Xue Leng and Meng Wang, «Modeling and simulation of automobile braking system based on kinetic energy conversion», 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008. – Pp. 1-3, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677741.
5. Hao, Ruru & Yang, Hangzheng & Zhou, Zhou. (2019). Driving Behavior Evaluation Model Base on Big Data From Internet of Vehicles. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*. 10. 78-95. DOI: 10.4018/IJACI.2019100105.
6. Saboohi Y., Farzaneh H. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. *Appl. Energy*, 2009.86 (10), 1925-1932.
7. Siero S., Boon M., Kok G., Siero F. Modification of driving behavior in a large transport organization: a field experiment. *J. Appl. Psychol*, 1989.74 (3), 417-423.
8. Zarkadoula M., Zoidis G., Tritopoulou E. Training urban bus drivers to promote smart driving: a note on a Greek eco-driving pilot program. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.*, 2007. 12, 449-451.
9. Barth M., Boriboonsomsin K. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.*, 2009. 14 (6), 400-410.
10. Ruddy M., Matthews L., Andrey J., Del Matto T. Eco-driver training within the City of Calgary's municipal fleet: monitoring the impact. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.*, 2013. 24, 44-51.
11. Ian Jeffreys, Genevieve Graves, Michael Roth. Evaluation of eco-driving training for vehicle fuel use and emission reduction: A case study in Australia / *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Volume 60, May 2018, Pages 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.017>
12. Ying Yao, Xiaohua Zhao, Jianming Ma, Chang Liu, Jian Rong. Driving Simulator Study: Eco-Driving Training System Based on Individual Characteristics / *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 2673 Issue 8, August 2019. <https://doi.org/10.1177/0361198119843260>
13. Wahlberg A.E. Long-term effects of training in economical driving: fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. *Int. J. Ind. Ergon*, 2007. 37, 333-343.
14. Duncan J., Williams Ph., Brown I. Components of driving skill: experience does not mean expertise. *Ergonomics* 1991. 34 (7), 919-937.

15. Rafael O. Medina, José Rogan, Max Ramirez, Benjamín A. Toledo, and Juan A. Valdivia , "Modeling interacting city traffic with finite acceleration and braking capacities", *Chaos* 29, 093136 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5095628>.
16. Qiang Fu; Xiaohua Zhao; Yiping Wu; and Yufei Chen. Potential Analysis of Eco-Lanes in Reducing Fuel Consumption and Emissions under the Condition of Cooperative Vehicle Infrastructure / CICTP 2020 : Advanced Transportation Technologies and Development-Enhancing Connections . 2020. DOI:10.1061/9780784482933.363
17. Tu, R.; Xu, J.; Li, T.; Chen, H. Effective and Acceptable Eco-Driving Guidance for Human-Driving Vehicles: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 7310. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127310>.
18. Lel, Yu & Zyryanov, I. & Il'bul'din, D. & Musikhina, O. & Glebov, I.. (2017). Methods of rational fuel consumption by the dump trucks in deep pits. *News of the Ural State Mining University*. 66-71. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-4-66-71.
19. Завалко А.Г. Способ определения экономичного режима движения автомобиля. В кн.: Казахстан 2030: региональные проблемы научно-технического прогресса. В кн.: Материалы XXXVI научно-технической конференции, Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998. стр. 8-12.
20. Завалко А.Г. Способ оценки качества экономичного управления автомобилем Патент Республики Казахстан №22396. Информационный бюллетень № 3, 15.03.2010. – Астана: Национальный институт интеллектуальной собственности.

References

1. IEA, 2014. CO2 emissions from fuel combustion, 2014 ed. International Energy Agency, Paris, [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication / C02EmissionsTrends.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/C02EmissionsTrends.pdf) (accessed on 29.03.2016).
2. Ahn K., Rakha H., Trani A., Van Aerde, M. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *J. Transport. Eng.*: 2002, 128 (2), 182-190 с.
3. Mudgal A., Hallmark S., Carriquiry A., Gkritza K., Driving behavior at a roundabout: a hierarchical Bayesian regression analysis. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 2014. 26, 20-26 с.
4. Wenjuan Li, Xudong Wang, Xue Leng and Meng Wang, «Modeling and simulation of automobile braking system based on kinetic energy conversion», 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008. – Pp. 1-3, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677741.
5. Hao, Ruru & Yang, Hangzheng & Zhou, Zhou. (2019). Driving Behavior Evaluation Model Base on Big Data From Internet of Vehicles. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*. 10. 78-95. DOI: 10.4018/IJACI.2019100105.
6. Saboohi Y., Farzaneh H. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. *Appl. Energy*, 2009.86 (10), 1925-1932.
7. Siero S., Boon M., Kok G., Siero F. Modification of driving behavior in a large transport organization: a field experiment. *J. Appl. Psychol*, 1989.74 (3), 417-423.
8. Zarkadoula M., Zoidis G., Tritopoulou E. Training urban bus drivers to promote smart driving: a note on a Greek eco-driving pilot program. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 2007. 12, 449-451.
9. Barth M., Boriboonsomsin K. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.*, 2009. 14 (6), 400-410.
10. Rutty M., Matthews L., Andrey J., Del Matto T. Eco-driver training within the City of Calgary's municipal fleet: monitoring the impact. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.*, 2013. 24, 44-51.
11. Ian Jeffreys, Genevieve Graves, Michael Roth. Evaluation of eco-driving training for vehicle fuel use and emission reduction: A case study in Australia / *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Volume 60, May 2018, Pages 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.017>
12. Ying Yao, Xiaohua Zhao, Jianming Ma, Chang Liu, Jian Rong. Driving Simulator Study: Eco-Driving Training System Based on Individual Characteristics / *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 2673 Issue 8, August 2019. <https://doi.org/10.1177/0361198119843260>
13. Wahlberg A.E. Long-term effects of training in economical driving: fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. *Int. J. Ind. Ergon.* 2007. 37, 333-343.
14. Duncan J., Williams Ph., Brown I. Components of driving skill: experience does not mean expertise. *Ergonomics* 1991. 34 (7), 919-937.
15. Rafael O. Medina, José Rogan, Max Ramirez, Benjamín A. Toledo, and Juan A. Valdivia , "Modeling

- interacting city traffic with finite acceleration and braking capacities", *Chaos* 29, 093136 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5095628>.
16. Qiang Fu; Xiaohua Zhao; Yiping Wu; and Yufei Chen. Potential Analysis of Eco-Lanes in Reducing Fuel Consumption and Emissions under the Condition of Cooperative Vehicle Infrastructure / CICTP 2020 : Advanced Transportation Technologies and Development-Enhancing Connections . 2020. DOI:10.1061/9780784482933.363
 17. Tu, R.; Xu, J.; Li, T.; Chen, H. Effective and Acceptable Eco-Driving Guidance for Human-Driving Vehicles: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 7310. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127310>.
 18. Lel, Yu & Zyryanov, I. & Il'bul'din, D. & Musikhina, O. & Glebov, I.. (2017). Methods of rational fuel consumption by the dump trucks in deep pits. *News of the Ural State Mining University*. 66-71. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-4-66-71.
 19. Zavalko A.G. A technology of calculating economical modes of vehicle's movement]. In: *Kazakhstan 2030: regional problems of scientific and technological advance*. In: Proceedings of XXXVI Scientific and Technical Conference, Ust-Kamenogorsk: VKTU, 1998. pp. 8-12.
 20. 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.