

Локомотивтерге отын ретінде сұйылтылған табиғи газды қолдану перспективалары

¹*БАУБЕКОВ Ермек Ельтаевич, т.ғ.д., профессор, baubekov3@mail.ru,

¹БАҚЫТ Ғабит Бақытұлы, PhD, профессор, gaba_b@bk.ru,

²СӘРСЕНОВ Қуантхан Жанарбекұлы, докторант, kuantkhans@gmail.com,

²МУЗДЫБАЕВА Альфия Сеитовна, т.ғ.к., профессор, muzdybaeva@mail.ru,

³ГРАЧЕВ Владимир Васильевич, т.ғ.д., доцент, v_grach@mail.ru,

¹Логистика және көлік академиясы, Қазақстан, Алматы, Шевченко көшесі, 97,

²«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Өскемен, А.К. Протозанов көшесі, 69,

³Император Александр I Санкт-Петербург мемлекеттік көлік университеті, Ресей, Санкт-Петербург, Московский даңғылы, 9,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қазақстанның табиғи ресурстарының бай қоры және дизель отынының жыл сайынғы бағасының жоғарылап отыруы, дизель отынын тұтыну барысында шығарынды газдардан бөлінетін зиянды заттардың жоғары көрсеткіштерін төмендету үшін сұйылтылған табиғи газ отынын теміржол жылжымалы құрамында отын ретінде қолдану Қазақстан темір жолы үшін өзекті мәселе болып табылады. Мақалада локомотивтер үшін сұйылтылған табиғи газды қозғалтқыштар үшін баламалы отын ретінде қолдану келешегі мен мүмкіндіктері негізделген. Әр түрлі отын түрлері бойынша қоршаған ортаға шығарынды газдардың тигізетін үлесіне талдау жүргізе отырып, тигізетін зардап мөлшері зерделенген. Газды отынның қосымша отын ретінде қолданудың шетелдік тәжірибесіне талдау жүргізе отырып, газды отынның жану және экологиялық көрсеткіштерінің артықшылықтары зерделеніп, локомотивтер үшін қолдану негізделген. Сұйылтылған табиғи газ отынын дизель отынына қосымша ретінде қолдану арқылы дизельдік қозғалтқыштардың жұмыстық көрсеткіштеріне оң әсер ететіндігі анықталды.

Кілт сөздер: теміржол көлігі, сұйылтылған табиғи газ, газ-дизельді қозғалтқыш, баламалы отындар, қозғалтқыштардың тиімділігі, экологиялық көрсеткіштер.

Кіріспе

Қазақстанның теміржол көлігі пойыздардың тартымына 700-800 мың тоннадан астам дизель отынын жұмсайды, ол мұнай өнімдерінің тапшылығының ұлғаюынан туындаған жүктеменің тұрақты өсуімен жеткізіледі. Келешекте мұнай өнімдерінің азаюы мен өндіру көлемінің одан әрі төмендеуі болжанады. Дизель отынын тұтынудың айтарлықтай төмендеуіне оны газ-моторлы отынмен алмастыру арқылы қол жеткізуге болады (магистральдық локомотивтер отынмен 70-80% дейін және маневрлік локомотивтер газ-дизельді локомотивтермен 50% дейін) [1].

Қазіргі уақытта табиғи газды әртүрлі көлік түрлерінде мотор отыны ретінде пайдалану Қазақстанның энергетикалық стратегиясының құрамдас бөлігі болып табылады. Темір жол желілерінде газды тепловоздарды құру және енгізу қоршаған ортаның ластануын, әсіресе қалалар аумағындағы тепловоздардың маневрлік паркінің жұмысы кезінде азайтуды, сондай-ақ тапшы ди-

зель отынын табиғи газбен алмастыруды қамтамасыз етеді. Қозғалтқыш ретінде пайдаланылатын газ отынының энергетикалық және физикалық көрсеткіштері мұнайдан алынатын отындарға қарағанда бірқатар термодинамикалық және экологиялық артықшылықтар береді. Зерттеу нәтижелері мен табиғи газ қозғалтқыштарының жұмыс тәжірибесі улы заттардың шығарындылары көмірсутек компоненттері мен азот оксидтері бойынша 1,5-2 есе азаятынын көрсетеді. Газдизель процесіне көшкен кезде шығарында газдардың (ШГ) түтіні айтарлықтай төмендейді, газдизель қозғалтқыштарының үнемділігі артады (2-5%-ға), ресурс, жөндеу аралық жүтіріс және қозғалтқыш майының қызмет ету мерзімі артады (20-40%-ға) [2]. Алайда теміржол көлігінде газды енгізу үшін бірқатар мәселелерді шешу қажет:

- біріншіден қолданыстағы дизельдерді маневрлік тепловоздарды ең аз құрылымдық өзгерістермен газ отынына жаңғырту мүмкіндігі мәселесін шешу;

- екіншіден тепловозда газ отынының жеткілікті қорын сақтау мәселелерін шешу үшін газ баллонды немесе криогенді резервуарларды қосымша орналастыру қажет;

- үшіншіден, газдандыру кезінде локомотивтерді ішінара жаңғырту, локомотив деполары мен пайдалану полигонын қайта жаңарту, табиғи газды сұйылту-сығымдау станцияларын салу және газбен толтыру станциялары талап етіледі.

Материалдар мен әдістер

Қазақстанның бастапқы энергетикалық ресурстарын тұтыну құрылымында бүгінгі таңда газдың үлесі шамамен 15%-дан астамын құрайды. Елдің газ қорларының көлемін және отынның осы түрін пайдаланудың орасан зор экономикалық және экологиялық әсерін ескере отырып, бұл жағдайды қолайлы деп санауға болмайды. Бүгінгі таңда Қазақстанның 17 облысының 11-і ішінара газдандырылды.

Қазақстанда газды қолдану үшін үлкен мүмкіндік бар – бұл оны көлікке арналған дизель отынын немесе бензинді ауыстыру бөлігінде тамаша балама болып табылады. Сонымен қатар, газ отыны қоршаған ортаға ең аз зиян келтіретін «таза» отын түрлеріне жатады.

Баламалы энергия көздері мен жергілікті отынды пайдаланудың стратегиялық мақсаттары:

- жаңартылмайтын отын-энергетикалық тұтынуды азайту;

- отын-энергетика кешенінен экологиялық жүктемені азайту;

- орталықтандырылмаған тұтынушыларды және отынды алыс және маусымдық әкелумен өңірлерді қамтамасыз ету;

- шалғайдан тасымалданатын отынға жұмсалатын шығындарды азайту.

Баламалы энергетиканы дамыту қажеттілігі оның келесі мәселелерді шешудегі рөлімен анықталады:

- орталықтандырылмаған энергиямен жабдықтау аймақтарында халықты тұрақты жылумен және электрмен жабдықтауды және өндірісті қамтамасыз ету;

- халықты энергиямен жабдықтаудың және орталықтандырылған энергиямен жабдықтау аймақтарында өндірістің кепілдендірілген минимумын қамтамасыз ету;

- көлік құралдарының энергетикалық қондырғыларынан зиянды шығарындыларды азайту.

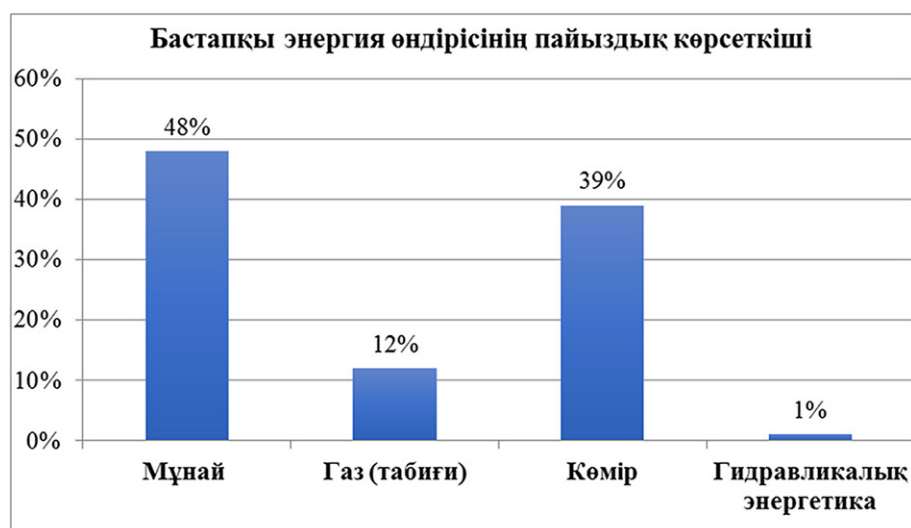
Қазіргі уақытта Қазақстан экономикасының энергетикалық секторын дамытудың негізгі ағымдағы көрсеткіштері 1-кестеде, 1 және 2-суреттерде келтірілген.

Нәтижелер

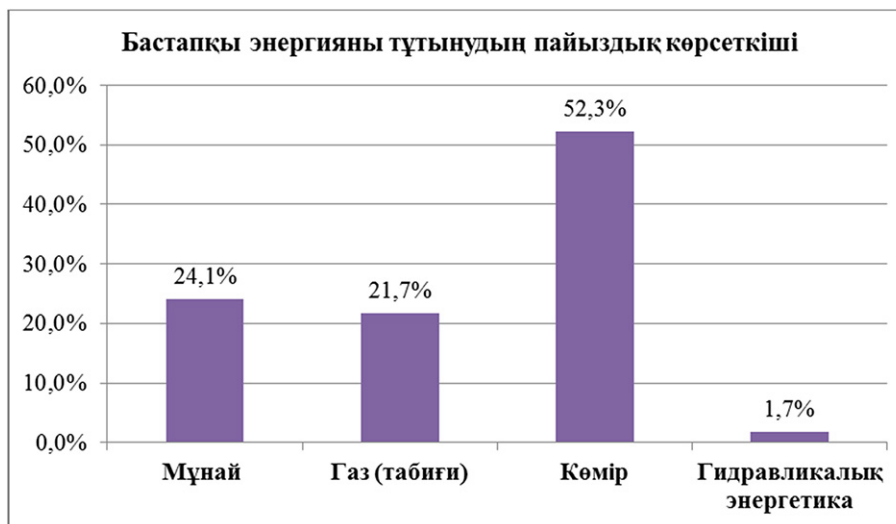
Табиғи газды қолдануды дамытуды ынталандыратын маңызды фактор экологиялық проблемалар болып табылады. Ірі қалалар мен агломерациялардың ауасын ластауға көліктің үлесі

1-кесте – Қазақстан экономикасының энергетикалық секторының көрсеткіштері

Энергия көздері	Бастапқы энергия өндірісі, %	Бастапқы энергияны тұтыну, %
Мұнай	48	24,1
Газ (табиғи)	12	21,7
Көмір	39	52,3
Гидравликалық энергетика	1	1,7



1-сурет – Бастапқы энергия өндірісінің пайыздық көрсеткіші



2-сурет – Бастапқы энергияны тұтынудың пайыздық көрсеткіші

ластанудың барлық түрлері бойынша 50-ден 90%-ға дейін құрайды. Сондықтан көлік құралдарының іштен жану қозғалтқыштарының шығатын газдарының уыттылығын төмендетуге қойылатын талаптар үнемі артып келеді. Сонымен қатар, газ қозғалтқышының отынына ауысу көмірқышқыл газының (негізгі парниктік газ) шығарындыларын 13%-ға, азот оксидтерін 15-20%-ға азайтады, пайдаланылған газдардың түтінін 8-10 есе азайтады және қорғасын қосылыстарының шығарындыларын толығымен жояды [3]. Демек, атмосфераға зиянды заттардың шығарылу деңгейі бойынша сығылған табиғи газ тек электр энергиясынан төмен. Сарапшылардың пікірінше, болашақ метанның артында.

Табиғи газдың тағы бір артықшылығы – қауіпсіздік деңгейінің жоғарылауы, өйткені оның физикалық-химиялық қасиеттері пропанға қарағанда қауіпті емес.

Автомобильдердің, кемелердің, ұшақтардың, тепловоздардың және барлық стационарлық қондырғылардың қозғалтқыштарынан шығатын газдар атмосфераның зиянды заттармен жаһандық ластануының көзі болып табылады. Өртүрлі көлік түрлерінен ластаушы заттардың шығарындылары 2-кестеде келтірілген.

Табиғи газды ХХІ ғасырдағы отын ретінде айтудың негізгі факторларының қатарына мыналар жатады:

- табиғи газдың дәлелденген әлемдік қорлары мұнай қорларынан едәуір асып түседі;

- мұнайды ауыстыруға болмайтын шаруашылық салаларының мүддесі үшін оны босату үшін оны шикізаттың басқа түрлерімен алмастыру қажеттілігі;

- өндіру, тасымалдау, өңдеу, сату және пайдалану кезіндегі экологиялық қауіпсіздіктің жоғары дәрежесі;

- энергия тасымалдаушы немесе шикізат ретінде қолданған кезде жоғары тұтынушылық

қасиеттер;

- бағаның жоғары тұрақтылығы және сәйкесінше соңғы тұтынушылар үшін экономикалық тартымдылық.

Бүгінгі таңда табиғи газ отын-энергетикалық тепе-теңдіктің негізі болып табылады және көлікте газ отынын қолданудың кең перспективаларын анықтайтын факторлар кешені бар.

Табиғи газдың құрамы ол өндірілген кен орнына байланысты, бірақ оның негізгі бөлігі әрқашан метан, көлемі бойынша кемінде 85% құрайды. Мұндай метан құрамы бар газды мұнай кен орындарында да өндіруге болады, бірақ бұл жағдайда ол мұнай емес, табиғи болып саналады. Табиғи газдың басқа компоненттері метан сериясының жеңіл көмірсутектері болып табылады: этан, пропан, қалыпты бутан және изобутан, пентандар [2]. Метан қоспаларының жалпы мөлшері 15%-дан аспайды, оның гомологтарының саны: 10%-ға дейін этан, 7%-ға дейін пропан және 7%-ға дейін пентан және жоғары қаныққан көмірсутектер. Табиғи газдың құрамдас бөлігі 3-кестеде келтірілген.

Жану жылуы қозғалтқыштың жұмысына тікелей әсер ететін параметр емес. Қозғалтқыштың жұмыс процесінің қуат көрсеткіштеріне қозғалтқышқа кіретін ауа-отын қоспасының жану жылуы әсер етеді. Ең үлкен қуатты жану кезінде көлем бірлігінде ең көп жылу шығаратын қоспаны қолданатын қозғалтқыштан тең жағдайда күту керек.

Егер стехиометриялық қоспаның жануы кезінде жанудың ең үлкен толықтығы орын алса, онда отынның әр түрі үшін қозғалтқыштың қуат көрсеткіштері дәл осындай қоспаның жану жылуымен анықталады [1].

Талқылау

Теміржол көлігінде қозғалтқыштарды пайдаланудың өзіндік ерекшеліктері бар, олар көліктің осы түрінде газ отынын қолдануға әсер

2-кесте – Көлік түрлері бойынша қоршаған ортаға ластанушы заттардың шығарындылары, мың тонна

№	Көлік түрі	CO	C _n H _m	NO _x	C	SO ₂	Ph	Барлығы
1	Автокөлік	8175	1229	1580	46	215,1	3,1	11824,2
2	Ішкі су көлігі	14	10	38	4	14	<1	80
3	Теңіз көлігі	13	9	33	3	34	<1	92
4	Әуе көлігі	67	17	54	<1	14	<1	152
5	Теміржол көлігі	185	54	604	5	23	<1	871
6	Жол машиналары	147,1	23,8	58,5	2,2	6,9	0,03	238,5

3-кесте – Табиғи газдың құрамдас бөлігі

Табиғи газдар	Массалық құрамы, %	Стехиометриялық отын қоспасының жану жылуы,	
		кДж/кг	кДж/м ³
Метан	92	45000-51000	3380
Этан	5		
Пропан	2		
Бутан	1		

етеді. Локомотивтің өнімділігі жүктемеден де, сыртқы жылдамдықтан да ерекшеленеді, өйткені бұл жағдайда иінді біліктің айналу жиілігі де, отынның циклдік берілуі де өзгереді. Сапалық реттеу кезінде қоспаның құрамы немесе сандық реттеу кезінде қоспаның мөлшері өзгеруі керек. «Краусс-Маффи» фирмасымен [4] (Германия) сығылған кокс газымен ($Q_H = 20866$ кДж/м³) жұмыс істейтін, қуаты 176 кВт ұшқыннан тұтанатын төрт тактілі газ қозғалтқышы бар маневрлік тепловоз салынды. 20 МПа қысымдағы газ қоры жалпы сыйымдылығы 1080 л болатын тоғыз цилиндрге орналастырылған цилиндрлер машинист кабинасының артындағы тепловоздың жақтауында орналасқан.

Газ-дизель процесін қолдана отырып газды модификацияны жасау кезінде міндеттер қойылды:

- жылу заряды бойынша 12-15% шегінде тұтану отынының шығынын алу;

- қозғалтқыштың іске қосу қасиеттерін сақтау;

- қарапайым және сенімді реттеу жүйесін құру;

- қозғалтқыш тораптарын минималды өзгерту және отынның бір түрінен екіншісіне жылдам ауысуды жүзеге асыра отырып, тек дизель отынымен жұмыс істеу мүмкіндігін сақтау.

Елімізде және шетелде жүргізіліп жатқан балама отындардан көмірден, тақтатастардан, табиғи газдан және басқа материалдардан алынған синтетикалық отындарды қарастыруға болады. Мұндай отындарға, мысалы, метанол және диметил эфиірі (CH₃-O-CH₃) жатады. Диметил эфиірі жақсы моторлы және экологиялық қасиеттерге ие және оны метанол өндіру процесінде алуға болады. Алайда, елде синтетикалық отындарды

өндіретін тәжірибелі қондырғылар ғана бар немесе құрылуда және оларды алудың қолданыстағы технологиялық процестері әлі экономикалық тұрғыдан тиімді емес, өйткені олар үлкен энергия шығындарын қажет етеді.

Тепловоздарда қолдануға ең дайыны – табиғи газ (метан). Сонымен қатар, табиғи газдың энергетикалық және физикалық сипаттамалары дизельмен салыстырғанда шамамен 10%-ға жоғарылаған массалық калория, 1,5-2 есе жақсартылған экологиялық көрсеткіштер, майлау майының жұмыс істеу мерзімін 30-40%-ға ұлғайту – газдизель локомотивтері жұмысының неғұрлым жоғары экономикалық, экологиялық және ресурстық көрсеткіштерін алуға мүмкіндік береді. Осылайша, тепловоздарды мотор отынымен тұрақты қамтамасыз ету, оны сатып алу шығындарын азайту, сондай-ақ экологиялық көрсеткіштерді арттыру мәселесін шешудің ең нақты және тиімді бағыты табиғи газды қолдану болып табылады.

Локомотивтермен газ отынының шығынын есептеу газ отынына ауысқан кезде осы машинаның негізгі көрсеткіштерін анықтауды талап етеді. Қозғалтқыш конструкциясының өзгеруі оның жұмыс көрсеткіштеріне қатысты емес. Локомотивтің жұмыс көрсеткіштері оған газ сақтауға арналған қосымша ыдыстарды орналастыруға байланысты өзгереді. Сыйымдылықтарды орнату тепловоз өлшемдерінің ұлғаюына әкеледі, бұл белгілі бір шектерге дейін локомотив жұмысының үнемді нәтижелеріне әсер етпейді [5].

Тепловоздарда газ отынын қолданудың орындылығын экономикалық бағалау осы жағдайда туындайтын жабдықтың ерекшеліктерін және жабдықтау шаруашылығын ұйымдастыруды ескеруді талап етеді. Газбалонды автомобильдерді

пайдалану, метан таситын кемелердің танктерін толтыру, сұйытылған криогендік газдарды тасымалдау, темір жол арқылы үлкен тәжірибе жинақталды. Теміржол көлігінде табиғи газды қолданудың экономикалық тиімділігі отынның жаңа түрімен және дизель отынымен локомотивтерді пайдалануға жұмсалған шығындардың айырмасы бойынша бағалануы тиіс. Пайдалану шығындарының негізгі баптарына мыналар жатады: отын, жабдықтау және майлау, тепловоз бригадаларын ұстау, станцияның локомотив бригадаларын ұстау, локомотивті жөндеу, қосымша капитал салымдарының амортизациясы. Капитал салымдарының баптары мыналарды көздейді:

- газ резервуарларын қоса алғанда, газ отын аппаратурасын орнату салдарынан тепловоздың құнын арттыру;

- тепловоздарды жабдықтауға арналған бекеттерді жабдықтау, газ отынымен локомотивтерді жөндеу мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін депоны қосымша қайта жабдықтау.

Алайда, бұл газ отынын қолдану перспективасы сарқып жатқан жоқ. Өздеріңіз білетіндей, сұйық отынның өсіп келе жатқан тапшылығы оны өндіруге кететін шығындардың өсуінен көрінеді.

Қорытынды

Дәстүрлі мұнай аудандарын пайдаланумен байланысты өнеркәсіптік мұнай қорларының географиялық орналасуының өзгеруіне байланысты сұйық отын өндірісін тұрақты деңгейде ұстап тұру жаңа мұнай аудандарын игеру немесе мұнайды терең өңдеу технологиясын қолдану есебінен шығындарды едәуір арттыруды талап етеді. Бұл жағдайлар дизель отынын өндіруге кететін шығындардың өсуіне әкеледі, нәтижесінде оның құны артады. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша келесідей тұжырымдарға келуге болады.

1. Мұнайды өндіру мен өңдеудің қымбаттауына байланысты дизель отыны құнының өсуі мұнай отынын неғұрлым ұтымды және үнемді пайдалану қажеттілігін талап етеді.

2. Табиғи газды дизель отынына қосымша ретінде қолдану дизельдің жұмысына оң әсер ететіні анықталды.

3. Жүргізілген талдау негізінде зерттеудің мақсаттары мен міндеттері тұжырымдалған.

Осылайша, газ-дизельді тепловоздың маңызды артықшылығы қымбат дизель отынын тұтынуды және зиянды шығарындыларының деңгейін төмендету болып табылады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Боксерман Ю.И. Перевод транспорта на газовое топливо: учебник. – М.: Недра, 1988. – 220 с.
2. Марков В.А., Козлов С.И. Топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей: учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 296 с.
3. Володин А.И., Сквородников Е.И., Анисимов А.С. Комплексный анализ термодинамических экономических и экологических характеристик тепловозных дизелей в условиях эксплуатации: Монография. – Омск, 2011. – 165 с.
4. Григорович Д.Н., Заручейский А.В. Опытная эксплуатация газотепловозов на Московской железной дороге // Транспорт на альтернативном топливе. Международный научно-технический журнал. – № 5 (23). – 2011. – С. 47-50.
5. Гапанович В.А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с.

Перспективы использования сжиженного природного газа в качестве топлива в локомотивах

¹*БАУБЕКОВ Ермек Ельтаевич, д.т.н., профессор, baubekov3@mail.ru,

¹БАҚЫТ Ғабит Бақытұлы, PhD, профессор, gaba_b@bk.ru,

²СӘРСЕНОВ Қуантхан Жанарбекұлы, докторант, kuantkhans@gmail.com,

²МУЗДЫБАЕВА Альфия Сеитовна, к.т.н., профессор, muzdybaeva@mail.ru,

³ГРАЧЕВ Владимир Васильевич, д.т.н., доцент, v_grach@mail.ru,

¹Академия логистики и транспорта, Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 97,

²НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. А.К. Протозанова, 69,

³Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 9,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Для казахстанской железной дороги актуальным вопросом являются богатые запасы природных ресурсов Казахстана и ежегодный рост цен на дизельное топливо, использование сжиженного природного газа в качестве топлива в железнодорожном подвижном составе для снижения высоких показателей вредных веществ, выделяемых из выхлопных газов при потреблении дизельного топлива. В статье обоснованы перспективы и возможности использования сжиженного природного газа в качестве альтернативного топлива для локомотивов в качестве двигателей. Исследована величина последствий с анализом доли вы-

бросов газов в окружающую среду по различным видам топлива. С проведением анализа зарубежного опыта использования газа в качестве дополнительного топлива изучены преимущества горения и экологических показателей газового топлива, обосновано применение для локомотивов. Установлено, что применение сжиженного природного газа в качестве добавки к дизельному топливу положительно влияет на рабочие показатели дизельных двигателей.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сжиженный природный газ, газодизельный двигатель, альтернативные виды топлива, эффективность двигателей, экологические показатели.

Prospects of Using Liquefied Natural Gas as Fuel in Locomotives

¹*BAUBEKOV Yermek, Dr. of Tech. Sci., Professor, baubekov3@mail.ru,

¹BAKYT Gabit, PhD, Professor, gaba_b@bk.ru,

²SARSENOV Kuantkhan, Doctoral Student, kuantkhans@gmail.com,

²MUZDYBAYEVA Alfiya, Cand. of Tech. Sci., Professor, muzdybaeva@mail.ru,

³GRACEV Vladimir, Dr. of Tech. Sci., Associate Professor, v_grach@mail.ru,

¹Academy of Logistics and Transport, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko Street, 97,

²NCJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», Kazakhstan, Oskemen, A.K. Protozanov Street, 69,

³Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Russia, Saint Petersburg, Moskovsky Avenue, 9,

*corresponding author.

Abstract. For the Kazakhstan railway, the current issue is the rich reserves of natural resources of Kazakhstan and the annual increase in diesel fuel prices, the use of liquefied natural gas as fuel in railway rolling stock to reduce the high rates of harmful substances released from exhaust gases when consuming diesel fuel. The article substantiates the prospects and possibilities of using liquefied natural gas as an alternative fuel for locomotives as engines. The magnitude of the consequences is investigated with the analysis of the share of gas emissions into the environment for various types of fuel. With the analysis of foreign experience in using gas as an additional fuel, the advantages of combustion and environmental indicators of gas fuel were studied, the use for locomotives was justified. It has been established that the use of liquefied natural gas as an additive to diesel fuel has a positive effect on the performance of diesel engines.

Keywords: railway transport, liquefied natural gas, diesel engine, alternative fuels, engine efficiency, environmental indicators.

REFERENCES

1. Bokserman Yu.I. Perevod transporta na gazovoe toplivo: uchebnik. – Moscow: Nedra, 1988. – 220 p.
2. Markov V.A., Kozlov S.I. Toplivopodacha mnogotoplivnih i gazodizel'nykh dvigatelei; uchebnik. – Moscow: Publ. MG TU n.a. N.E. Bauman, 2000. – 296 p.
3. Volodin A.I., Skovorodnikov E.I., Anisimov A.S. Kompleksnii analiz termodinamicheskikh ekonomicheskikh i ekologicheskikh harakteristik teplovoznih dizelei v usloviyakh ekspluatatsii: Monografiya. – Omsk, 2011. – 165 p.
4. Grigorovich D.N., Zarucheskii A.V. O pitnaya ekspluatatsiya gazoteplovoznov na Moskovskoi jeleznoy doroge. Transport na alternativnom toplive. Mejdunarodnii nauchno-tehnicheskii jurnal. – No. 5 (23). – 2011. – Pp. 47-50.
5. Gapanovich V.A. Energoberejenie na jeleznodorojnom transporte: uchebnik dlya vuzov. – Moscow: Publ. House MISiS, 2012. – 620 p.