

Biblid: 0354-9496(2009) 14: 2/3, p.65-74
UDK: 631.372

Naučni rad
Scientific paper

ANALIZA KONSTRUKTIVNIH I EKSPLOATACIONIH SVOJSTAVA AKTUELNIH SISTEMA ZA NAPAJANJE MOTORA PRIRODNIM GASOM

ANALYSIS OF STRUCTURAL AND EXPLOITATIONAL PROPERTIES OF ACTUAL NATURAL GAS ENGINE FUEL SYSTEMS

*Torović T., Nikolić N., Antonić Ž., Klinar I., Dorić J.**

REZIME

Od nastanka motora SUS u industrijski razvijenim zemljama neprestano postoji želja da se tečna goriva naftnog porekla zamene odgovarajućim alternativnim gorivom. Nažalost, čovečanstvo još nije uspelo da pronađe idealno gorivo za motore SUS. Praktičnom primenom i ispitivanjem više alternativnih goriva, pokazalo se da je u bliskoj budućnost jedino prirodni gas dostojna zamena za konvencionalna tečna goriva.

Neke procene govore da u svetu danas postoji oko deset miliona vozila sa pogonom na prirodni gas, sa tendencijom njihovog stalnog porasta. Kod nas je primena prirodnog gasa kao pogonskog goriva motornih vozila u samom začetku. U okviru ovoga rada daju se neka konstruktivna i eksploataciona svojstva aktuelnih sistema za napajanje motora prirodnim gasom uz rezultate njihove konkretne primene na jednom traktorskom motoru.

Ključne reči: vozilo, motor, gorivo, prirodni gas, sistem, generacija

SUMMARY

In industrial developed countries there is intention to replace liquid fuels of oil origine with proper alternative fuel since the appearance of IC engines. Unfortunately, mankind have not yet succeeded to find ideal fuel for IC engines. Application and testing of alternative fuels have shown that merely natural gas is adequate substitution for conventional liquid fuels.

Some estimates show that there are about ten million natural gas vehicles in the world with continual growing tendency. Usage of natural gas as a fuel in motor vehicles is at the very beginning in our country. Some structural and exploitational properties of actual natural gas engine fuel systems as well as the results of their application on a particular agricultural

* dr Tripo Torović, mr Nebojša Nikolić, mr Života Antonić, dr Ivan Klinar, Jovan Dorić, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, tel. 485-2372, e-mail: ttmot@uns.ac.rs

tractor engine have been given in the paper.

Key words: vehicle, engine, fuel, natural gas, system, generation

UVOD

Ideja korišćenja prirodnog gasa kao goriva za motore SUS nije nova. Daleke, 1915. godine zabeležena je prva primena prirodnog gasa u transportnim sredstvima [1], a od samog nastanka motora SUS u industrijski razvijenim zemljama pojavila se ideja da se tečna goriva naftnog porekla zamene nekim alternativnim gorivom. To je naročito došlo do izražaja poslednjih nekoliko desetina godina, što se povezuje sa naglim porastom broja motornih vozila, nastankom naftne krize, pooštavanjem zakonskih normi o sadržaju toksičnih komponenti u produktima sagorevanja i porastom cene nafte. Danas se izvode opsežna istraživanja sa zadatkom pronalazjenja raspoloživog, jeftinog i ekološki čistog goriva za motore SUS. Može se reći da čovečanstvo još uvek nije uspeo da pronađe idealno gorivo za motore SUS, ali praktičnom primenom i ispitivanjem više alternativnih goriva, pokazalo se da je prirodni gas odmah primenljivo i najbolje rešenje kada je u pitanju bliska budućnost. To je danas najčistije i najjeftinije gorivo, a pri tom je bezbedno u eksploataciji i ima ga u relativno dovoljnim količinama. Mnoge zemlje sveta su donele nacionalne programe za konverziju svojih transportnih sredstava sa konvencionalnih goriva na prirodni gas. Evropska ekonomska komisija je 2001. godine donela rezoluciju kojom se predviđa da se do 2020. godine prevede na prirodni gas oko 10% transportnih sredstava Evrope, što bi činilo populaciju od 23 miliona motornih vozila i zahtevalo eksploataciju oko 47 milijardi kubnih metara prirodnog gasa na godišnjem nivou [11,14]. Nacionalni program Japana predviđa da već 2010. godine u Japanu bude oko milion motornih vozila na gas. Statistički podaci iz prve polovine 2008. godine govore da su svetski lideri Argentina (1 703 156 - svako drugo vozilo) i Brazil (1 532 844), a evropski Italija (432900) [3,14]. Prema podacima Ruske nacionalne asocijacije za gas iz 2007. godine broj vozila koja koriste prirodni gas u svetu je 6 364 000 (od ukupno 780 miliona), sa tendencijom neprestanog njihovog porasta. Procenjuje se da će do 2020. godine u svetu biti 40÷45 miliona vozila na prirodni gas [2]. Primena prirodnog gasa kao pogonskog goriva motornih vozila u Srbiji je u samom začetku (u ovom trenutku nešto više od 100 vozila) [12].

Sa prirodnim gasom kao pogonskim gorivom mogu da rade, kako benzinski, tako i dizel motori. Razlike u radnom procesu, konstrukciji i sistemima upravljanja benzinskih i dizel motora su dovoljno izučene. Cilj autora je da ukaže da prirodni gas danas predstavlja jedino dostupno gorivo, sposobno da dostojno zameni dizel gorivo i benzin.

KONSTRUKTIVNO-KONCEPCIJSKA REŠENJA SISTEMA ZA NAPAJANJE MOTORA PRIRODNIM GASOM

Korišćenje prirodnog gasa kao goriva za motore SUS moguće je izvoditi u dva oblika:

- ◆ sabijeni (komprimovani) prirodni gas (KPG), sa početnim pritiskom u rezervoaru do 20 MPa,
- ◆ tečni prirodni gas (TPG), sa radnim pritiskom u rezervoaru do 0.5 MPa.

Sistemi za napajanje motora prirodnim gasom se, znači, međusobno razlikuju shodno obliku njegove primene. Danas u svetu postoji oko 50 svetskih kompanija koje proizvode više od 150 modela sistema za prirodni gas (ne postoje domaći proizvođači). Međusobne razlike u pojedinim modelima su samo u nekim tehničkim nijansama, a sve ozbiljnije svetske firme iz

automobilske industrije osvojile su serijsku proizvodnju vozila sa motorom koji koristi prirodni gas kao pogonsko gorivo. U 2008. godini Fiat je italijanskom tržištu ponudio oko 62 000 vozila na prirodni gas (5% od njegove ukupne proizvodnje), dok je kompanija Opel tokom 2008. godine prodala u Austriji, Nemačkoj, Švajcarskoj i Švedskoj oko 75 000 takvih vozila [15].

Po svojim fizičko-hemijskim svojstvima prirodni gas je blizak tečnim gorivima, pa nisu potrebne znatne konstruktivne izmene motora, da bi mogao da koristi prirodni gas kao pogonsko gorivo.

Primena prirodnog gasa može biti u tzv. "mono-fuel" verziji, u kojoj se izvodi nešto radikalnija rekonstrukcija motora (stepen sabijanja prilagođen za rad sa prirodnim gasom), kada je motor prilagođen da koristi isključivo prirodni gas. U ovom slučaju fizičko-hemijske karakteristike prirodnog gasa dolaze do punog izražaja i njegova primena daje najpotpuniji efekat.

Moguća je primena prirodnog gasa u motorima SUS još u dve verzije: "bi-fuel" i "dual-fuel". Ove verzije primene prirodnog gasa zahtevaju manji stepen rekonstrukcije motora, ali prirodni gas ne može u potpunosti da iskaže svoje prednosti u odnosu na tečna goriva.

Bi-fuel verzija predstavlja varijantu primene prirodnog gasa u oto motorima, kada motor može da koristi obe vrste goriva (kako benzin tako i prirodni gas), ali ne istovremeno (koristi ili jedno ili drugo). U ovom slučaju vozilo zadržava svoj osnovni (originalni) sistem napajanja tečnim gorivom, a dopunski se oprema sistemom napajanja prirodnim gasom. Znači, to je varijanta kada vozilo poseduje dva ravnopravna sistema napajanja gorivom. Stepent sabijanja motora ostaje na nivou stepena sabijanja koji je pogodan za rad motora sa tečnim gorivom (benzinom). U ovakvoj varijanti karakteristike prirodnog gasa kao goriva za motore SUS ne ispoljavaju se u potpunosti.

Dual-fuel verzija susreće se kod konverzije dizel motora u motore na prirodni gas. Ovo je verzija kod koje motor na nekim režimima radi istovremeno na obe vrste goriva (dizel gorivo i prirodni gas - "gasodizel") ili samo na dizel gorivo (prazan hod). U režimu istovremene primene obe vrste goriva (srednja i visoka opterećenja), dizel gorivo se koristi u maloj količini (pilot doza do 25% od potrošnje kad motor radi samo na dizel gorivo), kao izvor paljenja smeše prirodnog gasa i vazduha. Prirodni gas ima mali cetanski broj (≈ 10), odnosno visoku temperaturu samopalenja ($650 \div 700^{\circ}\text{C}$), koja je znatno viša od temperature samopalenja dizel goriva ($320 \div 380^{\circ}\text{C}$), pa je nemoguće koristiti prirodni gas u originalnom dizel procesu (stepent zagrejanosti sabijene smeše prirodnog gasa i vazduha nije dovoljan da dođe do njenog samopalenja). Ovakva konverzija se izvodi obično kod težih motornih vozila, traktora, kombajna i drugih poljoprivrednih i građevinskih mašina.

Konverzija benzinskog motora u motor na prirodni gas najčešće se susreće u bi-fuel verziji, a dizel motora u dual-fuel verziji.

Komplet dopunskih sistema za prirodni gas čini skup podsistema i elemenata, koji imaju zadatak da:

- ◆ na vozilu čuvaju rezerve prirodnog gasa (rezervoari);
- ◆ izvrše punjenje rezervoara gasom (ventili, slavine, cevovodi);
- ◆ dovedu gas iz rezervoara u motor (cevovodi, reduktori, grejači, prečistači);
- ◆ formiraju smešu goriva i vazduha (mešači, dozatori, brizgaljke);
- ◆ automatski upravljaju svim procesima u sistemu (birači goriva, elektromagnetni ventili, mikroprocesori);

- ♦ izvode kontrolno-merne i bezbednosne funkcije (pokazivači količine gasa, sigurnosni ventili, zvučni ili vizuelni signalizatori isticanja gasa i dr.).

Razvoj sistema za prirodni gas, stimulisan energetske, ekonomskim i ekološkim zahtevima sa izvesnim zakašnjenjem prati razvoj sistema za napajanje benzinskih i dizel motora. Za njihovu klasifikaciju obično se koristi termin "generacija". Prema složenosti tih sistema do danas postoji pet generacija [12,14]. Razlike između pojedinih generacija sistema za prirodni gas obično se utvrđuju na osnovu razlika u elementima podsistema za dovođenje gasa i elemenata podsistema upravljanja (inteligentno-dozirajućeg dela sistema), koji se obično lociraju u motorskom prostoru vozila. Elementi sistema koji se instaliraju van motorskog prostora vozila slični su kod svih generacija (rezervoar, oprema rezervoara, cevovodi, elementi za punjenje).

Idući od generacije ka generaciji obezbeđuje se tačnije doziranje gasa, manja njegova potrošnja, dobijaju povoljnije energetske, ekonomske i ekološke karakteristike motora, ali su zato sistemi konstruktivno sve složeniji i skuplji.

Prema načinu dovođenja gasa motoru mogu se izdvojiti dve grupe sistema:

- ♦ sistemi kod kojih se gas dovodi u motor posredstvom mešača, na račun potpritiska (ejektorski sistemi, koje neki autori nazivaju "gasni karburator" - prva i druga generacija);
- ♦ sistemi kod kojih se gas dovodi u motor putem brizgaljki, sa natpritiskom (injektorski sistemi, koje neki autori nazivaju "gasni brizgač" - treća, četvrta i peta generacija).

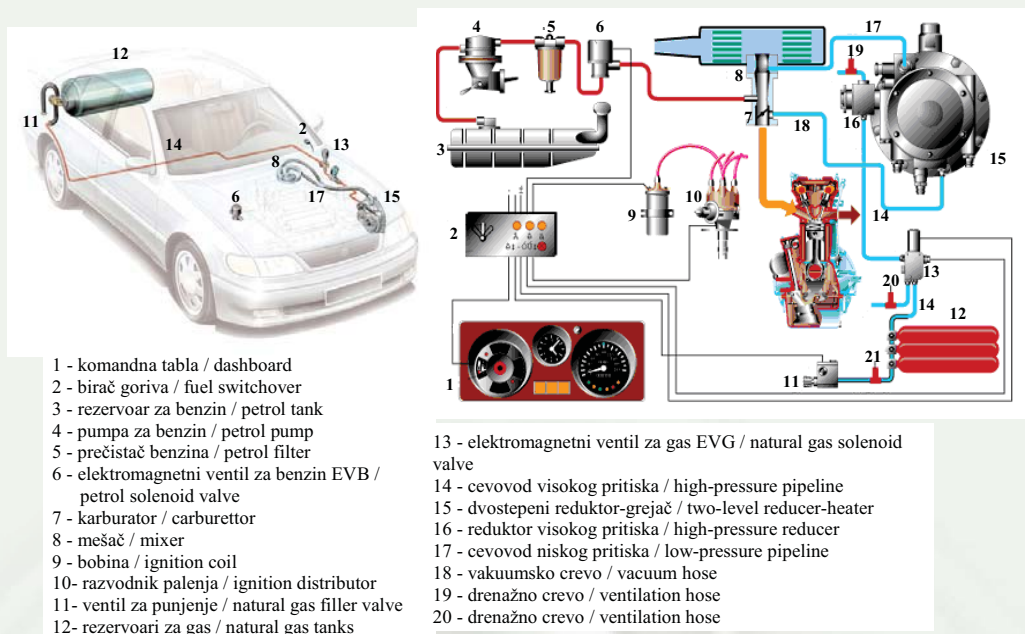
Takođe, prema načinu (principu) upravljanja, sistemi za prirodni gas mogu biti: vakuumski (upravljanje se izvodi posredstvom potpritiska u usisnom kolektoru) i elektronski.

Da bi se mogla doneti odluka o mogućnosti instalacije u vozilo ove ili one generacije sistema za prirodni gas, osim njihovih karakteristika potrebno je poznavati i karakteristike generacije osnovnog sistema za napajanje motora. Motori sa jednostavnijim osnovnim sistemom za napajanje zahtevaju i jednostavnije sisteme za prirodni gas. Osnovno pravilo pri izboru generacije sistema za prirodni gas u odnosu na osnovni sistem moglo bi da glasi: "ne mešati stilove" - ejektorski odgovara ejektorskom a injektorski odgovara injektorskom sistemu.

Zbog obimnosti, u okviru ovoga rada daje se princip rada prve generacije sistema za prirodni gas, za slučaj da se prirodni gas koristi u sabijenom stanju (KPG). Ovakav sistem može da se ugradi kao dopunski sistem u bilo koje putničko, malolitražno teretno vozilo ili mini autobus, koji imaju karburatorski motor kao pogonski agregat.

U zavisnosti od vrste i marke vozila, broj, dimenzije i masa rezervoara mogu biti različiti. Na shemi su prikazana tri rezervoara (12) u koje se smešta prirodni gas pod pritiskom od 20 MPa (1 litar zapremine gasa u tako sabijenom stanju ekvivalentan je 0.4 litra benzina). Svaki od rezervoara snabdeven je prelaznim ventilom koji, pored ostalog, u sebi sadrži "brzinski ventil" (zaustavlja isticanje gasa pri prekoračenju određene vrednosti brzine isticanja - u slučaju kada dođe do loma cevovoda visokog pritiska) i sigurnosni (temperaturni) ventil (sprečava razaranje rezervoara pri pojavi požara).

Svi rezervoari se istovremeno pune prirodnim gasom posredstvom ventila za punjenje (11). U telu ventila za punjenje smešten je još prečistač i uređaj za blokiranje startovanja motora ako crevo kompresora (crevo za punjenje) nije odvojeno od ventila za punjenje.



Slika 1. Shema principa rada sistema prve generacije za napajanje motora KPG-om
Figure 1. Operating principle scheme of the first generation CNG fuel system

Ventili na rezervoaru se redno vezuju posredstvom cevovoda visokog pritiska (14), izrađenog od nerđajućeg čelika (spoljašnjeg prečnika 10 mm, a unutrašnjeg prečnika 6 mm).

Na delu cevovoda visokog pritiska (od rezervoara do reduktor-grejača) gas se propušta kroz elektromagnetni ventil za gas (13), prilagođen za visoke pritiske.

Dvostepenom reduktoru (15) prisajedinjen je reduktor visokog pritiska (16) u kojem se izvodi umanjnjenje pritiska sa 20 MPa na 0.4÷0.6 MPa. Iz visokopritisnog dela reduktora (16) gas se uvodi u dvostepeni reduktor (15), gde se izvodi dalje umanjnjenje pritiska na vrednosti bliske atmosferskom. Za vreme procesa umanjnjenja pritiska od gasa se odvodi toplota (Joullle - Thomsonov efekat), pa se u cilju kompenzacije toplotnih gubitaka i sprečavanja zamrzavanja reduktora i njegovih ventila (za obezbeđenje protoka gasa) u specijalne prostore reduktora uvodi tečnost iz sistema hlađenja motora i obezbeđuje njena cirkulacija.

Pod dejstvom potpritiska u usisnom kolektoru gas se iz reduktora uvodi u cevovod niskog pritiska (17), kojim se dalje dovodi do mešača (8). U mešaču se formira smeša gasa i vazduha (sveža smeša), koja se dalje unosi u cilindre motora.

Da ne bi došlo do istovremenog napajanja motora benzinom i prirodnim gasom, posredstvom elektromagnetnog ventila za benzin EVB (6) vrši se prekid dovođenja benzina, pre početka dovođenja prirodnog gasa.

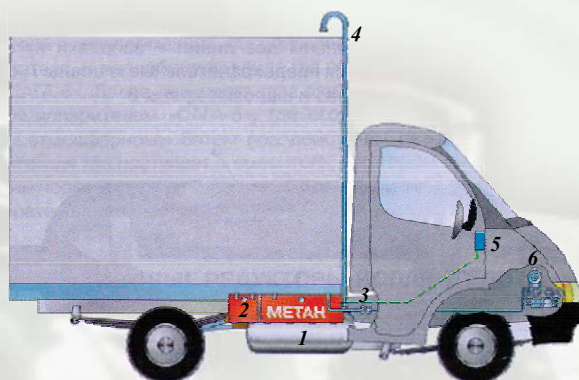
U slučaju da dođe do curenja prirodnog gasa na ventilima rezervoara (12), elektromagnetnom ventilu za gas (13) ili visokopritisnoj sekciji reduktor-grejača (16), posredstvom drenažnih cevi (21), (20) i (19) vrši se odvođenje gasa van prostora vozila.

Savremena tehnološka rešenja omogućuju i realizaciju primene tečnog prirodnog gasa u svojstvu goriva za motore SUS. Osnovna karakteristika sistema za korišćenje prirodnog gasa u tečnom stanju je posedovanje kriogenog rezervoara za čuvanje gasa, sa visokim vakuumsko-izolacionim svojstvima. Prirodni gas prelazi u tečno stanje pri atmosferskom pritisku i temperaturi -161°C (zapremina mu se umanja oko 600 puta) [7]. Određena zapremina tečnog prirodnog gasa ima tri puta veću masu nego ista ta zapremina komprimovanog prirodnog gasa (autonomnost vozila veća oko 3 puta). Jedna od mogućih varijanti razmeštaja pojedinih komponenti sistema za tečni prirodni gas u vozilu daje se na slici 2.

Prirodni gas se iz rezervoara (1) posredstvom magistralnog cevovoda (3) dovodi u reduktor-iskarivač (6), koji se zagreva tečnošću iz sistema za hlađenje motora. U reduktor-iskarivaču (6) gas isparava i redukuje mu se pritisak na približno atmosferski. Pod dejstvom potpritiska u usisnom kolektoru, gas se iz reduktor-iskarivača u isparenom stanju dovodi do mešača, gde se formira smeša gasa i vazduha. Obrazovana smeša usmerava se prema usisnim ventilima i dalje u cilindre motora.

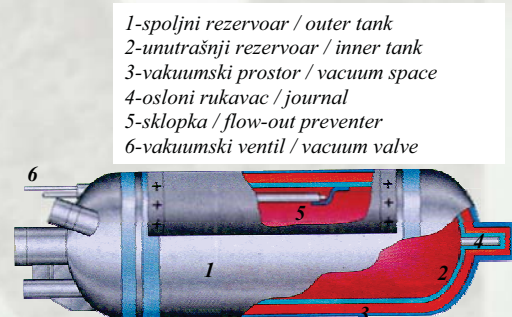
Kriogeni rezervoar je pomoću dve konzole i najmanje dve obujmice smešten na desnoj strani vozila. To je, u stvari, udvojeni cilindrični rezervoar (slika 3).

Radni pritisak unutrašnjeg rezervoara (2) je 0.5 MPa . Spoljašnja površina ovog rezervoara je prekrivena visokoefektivnim adsorpciono-izolacionim materijalom (u vakuumskom prostoru 3), obrazujući tako slojevitou izolaciju, a na krajevima se sa dva rukavca (4) oslanja u spoljašnjem rezervoaru (1).



- 1 - kriogeni rezervoar
cryogenic tank
- 2 - kontrolni ormarić
control box
- 3 - cevovodi
pipelines
- 4 - drenažna cev
ventilation pipe
- 5 - birač goriva
changeover switch
- 6 - reduktor-iskarivač
reducer-vaporizer

Slika 2. Razmeštaj komponenti sistema za napajanje TPG-om u vozilu
Figure 2. Position of components of the LNG fuel system in a vehicle



- 1-spoljni rezervoar / outer tank
- 2-unutrašnji rezervoar / inner tank
- 3-vakuumski prostor / vacuum space
- 4-osloni rukavac / journal
- 5-sklopka / flow-out preventer
- 6-vakuumski ventil / vacuum valve

Slika 3 Kriogeni rezervoar
Figure 3. Cryogenic tank

U gornjem delu unutrašnjeg rezervoara (2) nalazi se jedna sklopka (5), koja sprečava isticanje tečne faze gasa u drenažnu cev pri kretanju vozila po neravnom terenu. Na spoljašnjem rezervoaru se nalazi vakuumski ventil (6), posredstvom koga se održava zahtevani potpritisak u vakuumskom prostoru.

Rezervoar se puni gasom ne više od 90% njegove zapremine (kontrola se izvodi na osnovu manometra u kontrolnom ormariću ili pokazivača nivoa gasa na biraču goriva).

Količina smeštenog gasa u rezervoaru obezbeđuje približno istu kilometražu vozila kao i pri pogonu na benzin.

Čuvanje gasa u rezervoaru tzv. “bezdrnažno čuvanje“ ostvaruje se bez gubitaka u toku 72 sata posle punjenja (kod nekih rezervoara i više). Usled uticaja toplote iz atmosfere, rezervoar se zagreva, zbog čega se uvećava pritisak gasa u njemu. Da ne bi došlo do razaranja, posredstvom sigurnosnog ventila (koji se otvara pri dostizanju radnog pritiska $0.54 \div 0.57$ MPa) i drenažne cevi, ispušta se deo gasa u atmosferu (parna faza). Uspostavljanje određenog pritiska gasa u rezervoaru može se izvesti i posredstvom posebnog ventila (8, slika 4) smeštenog u kontrolnom ormariću.

Kontrolni ormarić (2, slika 2) nalazi se na samom rezervoaru i u principu se sastoji od dva odseka sa zasebnim poklopcima: odseka za punjenje (1, slika 4) i funkcionalnog odseka (2, slika 4).

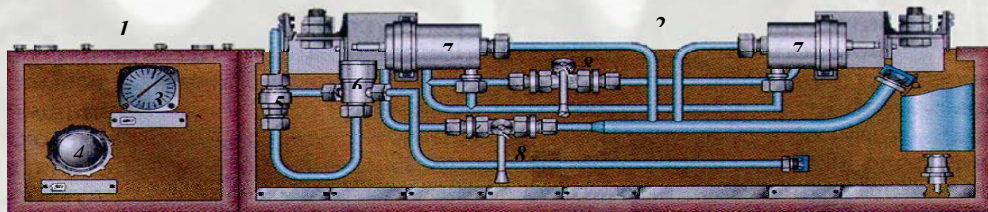
U odseku za punjenje (1) smešten je manometar (3) i ventil za punjenje i pražnjenje (4). U funkcionalnom odseku nalaze se: brzinski ventil (5), ventil za uključenje pojedinih faza goriva (6), sigurnosni ventil (7) i ventil umanjenja pritiska u rezervoaru (8).

Brzinski ventil (5) ima zadatak da obustavi isticanje gasa u slučaju loma magistralnog cevovoda. Ventil za uključenje pojedinih faza goriva izvodi svoju funkciju u zavisnosti od pritiska u rezervoaru. Pri pritisku manjem od 0.4 MPa obezbeđuje isticanje gasa iz tečne faze, a pri pritisku većem od 0.4 MPa iz gasovite faze.

Primena prirodnog gasa u tečnom stanju u odnosu na sabijeno (gasovito) stanje ima i svojih prednosti:

- ◆ manje gabaritne dimenzije i manja masa sistema;
- ◆ veća autonomnost vozila i manja potreba za procesom punjenja (vozilo duže na raspolaganju);
- ◆ manji radni pritisak i veća bezbednost u eksploataciji.

Posebno je interesantna primena prirodnog gasa u poljoprivredi (automobili, traktori, kombajni), gde se prema statističkim podacima danas troši $12 \div 15\%$ ukupne potrošnje tečnih goriva i gde troškovi pogonskog goriva dostižu i do 40% cene poljoprivrednih proizvoda [9]. Povećanje cena tečnih goriva može dovesti do nerentabilne proizvodnje i gašenja preduzeća.



Slika 4. Kontrolni ormarić

Figure 4. Control box

1- odsek za punjenje- filling section, 2- funkcionalni odsek-operation section, 3- manometar-manometer, 4- ventil za punjenje i pražnjenje-fill-in and fill-out valve, 5- brzinski ventil-speed valve, 6- ventil uključivanja faza-phase switchover valve, 7- sigurnosni ventil-safety valve, 8- ventil umanjenja pritiska-pressure reduction valve

PRIMENA PRIRODNOG GASA KAO ALTERNATIVNOG GORIVA U POLJOPRIVREDNOJ MEHANIZACIJI

Osnovni pogonski agregat u poljoprivrednoj mehanizaciji je dizel motor. Konvertovanje dizel motora na "čisto" gasni motor (mono fuel verziju) je neceleshodno, jer zahteva radikalnu rekonstrukciju motora i njeno svođenje na konstrukciju oto motora. Zato autori smatraju da je konvertovanje dizel motora poljoprivredne mehanizacije u motore na prirodni gas razumno izvoditi jedino u "gasodizel" verziji (dual-fuel verziji). Gasodizel verzija omogućuje konvertovanje bilo kog dizel motora u motor koji radi sa mešavinom dizel goriva i prirodnog gasa bez bitnijih izmena u konstrukciji motora i njegovog sistema napajanja.

Osnovne prednosti gasodizel varijante su:

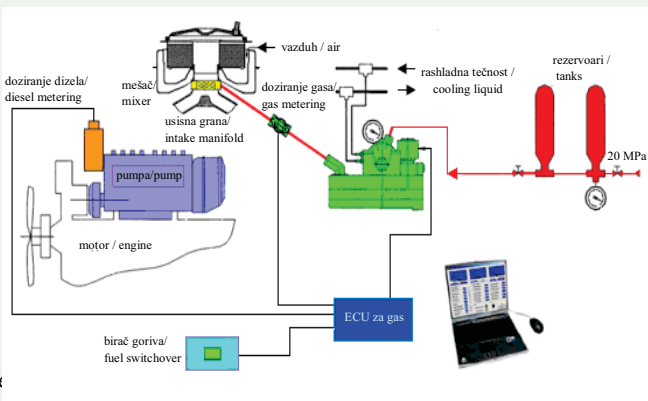
- ◆ održanje energetskih pokazatelja motora na nivou baznog motora;
- ◆ umanjjenje dimnosti produkata sagorevanja 2÷3 puta;
- ◆ umanjjenje potrošnje dizel goriva za oko 80% (na račun zamene prirodnim gasom);
- ◆ umanjjenje buke (za 3÷4dB) i vibracija motora;
- ◆ produženje radnog veka cilindarsko-klipne grupe (do 1.5 puta) i sredstva za podmazivanje (ulja);
- ◆ mogućnost konverzije motora koji se nalaze u eksploataciji;
- ◆ zadržavanje mogućnosti rada motora sa čistim dizel gorivom (za slučaj potrebe) i brzog prelaza sa jednog na drugo pogonsko gorivo;
- ◆ relativno prosta konverzija.

PRIMER KONVERZIJE JEDNOG TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA U DUAL-FUEL MOTOR

U februaru 2007.godine na kolhozu „Neljubino“ („Нелюбино“) u Tomskoj oblasti (Rusija) počeo je da se realizuje pilot projekat na konvertovanju mehanizacije toga kolhoza sa konvencionalnog goriva na prirodni gas. Do sada je konvertovanje izvedeno na traktoru K-701 i MTZ-82, automobilima ГАЗ i ЗиЛ i autobusu ПАЗ [16].

Ministarstvo poljoprivrede Ruske federacije je u svom naučno-istraživačkom institutu izvelo ispitivanje traktora K-701 [10], čija je principska shema prikazana na slici 5.

Na zadnjem poluramu traktora smešteno je 18 rezervoara od 50 litara (dve kasete po 9 rezervoara), što omogućuje motoru ЯМЗ-240Б da radi u "gasodizel" režimu najmanje 5 sati. Na pumpu visokog pritiska dopunski je ugrađen elektro-mehanički regulator, koji je aktivan samo u "gasodizel" režimu rada motora, a čije uključenje i isključenje se izvodi na komandu ECU. Pri aktivnom regulatoru tačno je definisan položaj regulatora pumpe visokog pritiska i položaj dozatora gasa, čime se definiše tačan odnos dizel goriva ("pilot doza") i prirodnog gasa.



Slika 5. Principska shema konve

Figure 5. Basic scheme of diesel - to - dual-fuel engine conversion for tractor K-701

Prema protokolu ispitivanja N° 07-87-02 (1010031) [10], neki od rezultata ispitivanja su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja traktora K-701 sa elektromehaničkim regulatorom
Table 1. The results of testing of tractor K-701 with electromechanical governor

Kvalitet rada / Work quality			
Osnovni pokazatelji motora ЯМЗ-240 БМ2		dizel režim	“gasodizel“ režim
Basic performance of the engine ЯМЗ-240 БМ2		diesel fuel regime	dual-fuel regime
- broj obrtaja pri maksimalnoj snazi	o/min	1920	1900
engine speed at peak power	rpm		
- maksimalna snaga	kW	197.3	202.8
peak power	kW		
- obrtni moment pri maksimalnoj snazi	Nm	982	1019
engine torque at peak power	Nm		
- časovna potrošnja goriva	kg/h	49.3	15.0/33.0*
fuel consumption	kg/h		
- specifična efektivna potrošnja goriva	g/kWh	250	237
brake specific fuel consumption	g/kWh		
- broj obrtaja pri maks. obrtnom momentu	o/min	1150	1500
engine speed at peak engine torque	rpm		
- maksimalni obrtni moment	Nm	1378	1276
peak engine torque	Nm		
- koeficijent elastičnosti obrtnog momenta	%	40	25
engine torque reserve	%		
Produktivnost / Productivity			
Tehnološka operacija		produktivnost ha/h, (troškovi py6/ha)	
Technology operation		productivity ha/h, (costs rub/ha)	
		dizel režim	“gazodizel“ režim
obrada (drljanje) pšeničnog strništa		8.4, (236.2)	8.2, (158.6)
cultivation (harrowing) of wheat stubble			
obrada (drljanje) strništa graška		7.5, (234.7)	7.3, (157.5)
cultivation (harrowing) of pea stubble			
obrada pšeničnog strništa kombinovanim agregatom		4.6, (303.6)	4.4, (190.2)
cultivation of wheat stubble by combined tools			
obrada (drljanje) strništa suncokreta		6.0, (290.2)	6.0, (161.2)
cultivation (harrowing) of sunflower stubble			
oranje pšeničnog strništa 25 cm		2.15, (290.2)	2.10, (178.8)
tillage of wheat stubble			

* pilot potrošnja dizel goriva / potrošnja prirodnog gasa

ZAKLJUČAK

Danas, kada se zasigurno može reći da je završena epoha jeftine nafte, prirodni gas sa svojim resursnim, ekonomskim, ekološkim i bezbednosnim prednostima je najkorisnije, najčistije i najsigurnije dostupno gorivo za motore SUS. To je gorivo koje je dobro za vlasnika vozila, za motor i za okolinu.

Konverziju benzinskih motora koji se već nalaze u eksploataciji najracionalnije je izvoditi u bi-fuel verziji, a dizel motora u dual-fuel verziji. Pri serijskoj proizvodnji novoprojektovanih motora trebalo bi prednost dati mono-fuel verziji, kada karakteristike prirodnog gasa dolaze do punog izražaja. Zbog složenosti konstrukcije rezervoara u ovom trenutku bi bilo racionalno izvoditi konverziju sa sabijenim prirodnim gasom (KPG), a u nekom narednom periodu preći na tečni prirodni gas (TPG). Prema rezultatima radom prikazanih ispitivanja, vidi se da primena prirodnog gasa i u poljoprivremoj mehanizaciji ima potpuno opravdanje, jer je moguće uz bitan ekonomski efekat ostvariti produktivnost, ispuniti sve zahteve definisane tehničkim uputstvom i agrotehničkim merama kao i u slučaju primene konvencionalnih tečnih goriva.

Znači, veruje se da konverzija vozila na prirodni gas može naći široku primenu u svim privrednim oblastima, a posebno u poljoprivredi.

LITERATURA

- [1.] Афонин, С. : Газовое оборудование автомобилей, Легковые, грузовые, Устройство, установка, обслуживание, Практическое руководство, 2-е из., Батайск, Сверчок Ъ, 2008.
- [2.] Гурьянов Д. И.: Экологически чистый транспорт: направления развития, Инженер, технолог, рабочий. №2, 2001. – стр. 12-14.
- [3.] Жуков, С.: Природный газ – моторное топливо XXI века, Промышленность сегодня, №2, 2001. – стр. 12.
- [4.] Золотницкий, В. А.: Автомобильные газовые топливные системы, Астрель, Москва, 2006.
- [5.] Криницкий, Е. : Экологичность автотранспорта должен определять Федеральный закон, Автомобильный транспорт, №9, 2000. – стр. 34-37.
- [6.] Carroll, John: Natural Gas Hydrates, Gulf Professional Publishing, Burlington, USA, 2009.
- [7.] Луганский, Р.А.: Газобаллонное оборудование, Схемы установки ГБО в фото, Инструкция пользователя ГБО, Монолит, Киев, 2008.
- [8.] Nersesian L. Roy: Energy for the 21st Century, M. E. Sharpe, Armonk, New York, 2007.
- [9.] Панов, Ю. В.: Установка и эксплуатация газобаллонного оборудования автомобилей, Академия, Москва, 2007.
- [10.] Протокол испытаний № 07-87-02 (1010031), Российский научно-исследовательский институт по испытанию сельскохозяйственных технологий и машин, г. Новокубанск -3
- [11.] Torović, T., i dr.:Prirodni gas-"Gorivo XXI veka",Traktori i pogonske mašine, Vol.13, No 4, Novi Sad, 2008., st.25-32.
- [12.] Torović, T., i dr.:Konstrukcijsko-koncepcijska rešenja sistema za prirodni gas u mobilnim sistemima , Traktori i pogonske mašine, Vol.13, No 4, Novi Sad, 2008., st.33-42
- [13.] H. Ly: Effects of Natural Gas Composition Variations on the Operation, Performance, and Exhaust Emissions of Natural Gas-Powered Vehicles, International Association for Natural Gas Vehicles, 2002
- [14.] Časnji, F., Torović, T., Muzikravić, V.: Energetska efikasnost traktora, monografija, FTN, Novi Sad, 2009.
- [15.] <http://www.uralavtogas.ru>
- [16.] http://agro.tomsk.ru/ru/systema_iko/newtech/one_statan534-178-58.html.

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu: „Unapređenje energetske i ekološke efikasnosti traktora i mobilnih sistema“, evidencioni broj TP-20078, koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije.

Rad primljen: 16.10.2009.

Rad prihvaćen: 25.10.2009.