

УДК 663

**С.В. Бойченко**, проф., д.т.н.  
**Л.М. Черняк**, асист.  
**О.В. Полякова**, асист.  
**О.О. Степенко**, студ.

## ЕКОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГАЗОРІДИННИХ ПАЛИВ

Національний авіаційний університет  
E-mail: test@nau.edu.ua  
E-mail: a\_danny@inbox.ru

*Розглянуто можливість упровадження газорідних палив у наземному транспорті та авіації. Досліджено експлуатаційні властивості газорідних палив, переваги та недоліки порівняно з традиційними рідкими паливами.*

**газоподібний компонент, експлуатаційні властивості, технологія застосування, токсичність**

### Вступ

Серед різних видів горючих газів найбільш застосовують як моторне паливо суміші газоподібних вуглеводнів, одержаних із природного та попутного нафтового газів. Експлуатаційні властивості й особливості застосування газових палив визначаються властивостями їхніх компонентів.

Переваги запропонованого способу використання газового палива полягають у можливості швидкого переходу з рідкого палива на газоподібне й навпаки без істотних конструктивних змін базового варіанта двигуна.

### Постановка завдання

До природного газу, що використовують у стисненому вигляді як моторне паливо, ставлять такі специфічні вимоги:

- відсутність пилу й рідкого залишку;
- мінімальна вологість.

Вимога мінімальної вологості унеможливує закупорення каналів паливної системи, спричинене замерзанням і випаданням гідратів унаслідок дроселювання й зниження температури газу під час заправлення автомобіля (рис. 1, 2).

У разі насичення палив вуглеводневими газами й використання газорідних палив у реальних погодних умовах за певних умов можливе утворення кристалогідратів. Це може призвести до забивання фільтрів і закупорювання трубопроводів.

Гідрати індивідуальних газоподібних вуглеводнів або їх сумішей складаються з нестехіометричних сполук, додатків клітинного типу – клатратів.

Газові гідрати мають кристалічну ґратку, утворену молекулами води. Порожнини ґратки заповнені поглиненими вуглеводнями [1].

За експериментальними даними гідрати утворюються з моменту появи центрів кристалізації, які зазвичай формуються на поверхнях поділу у процесі:

- контакту вода–газ, вода–зріджений газ, зріджений газ–вологий газ;
- конденсації води з об'єму газу й на пухирцях газу під час його барботування через воду;
- контакту вода–метал, зумовленого сорбцією газу, розчиненого у воді.

Метан утворює прямолінійні структури кристали гідрату, етан – звивисті і ниткоподібні, пропан – розгалужені й безладні структури. Природні гази, що включають різні вуглеводні, утворюють змішані гідрати зі складною кристалічною розгалуженою структурою (рис. 2).

Основними компонентами зріджених пропан-бутанових газів, відомих на практиці за назвою зріджених нафтових газів, є пропан і бутан.

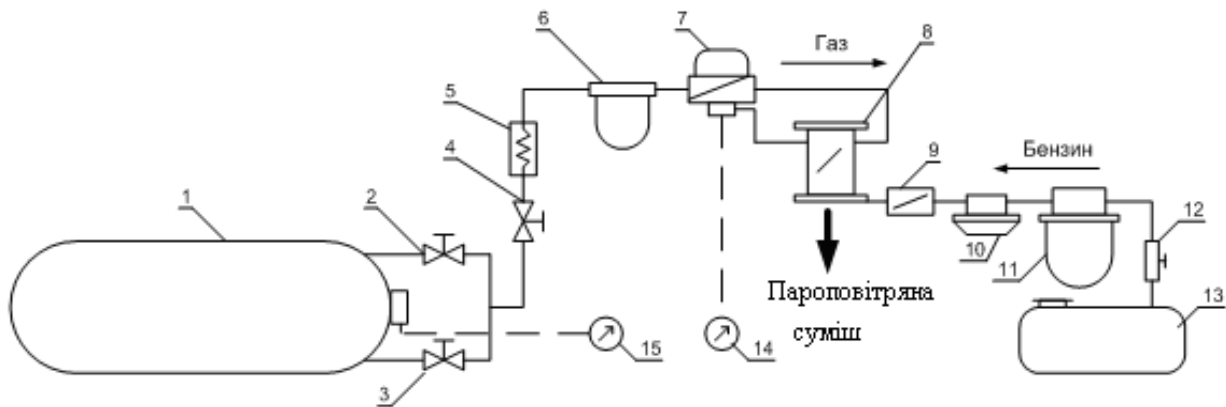
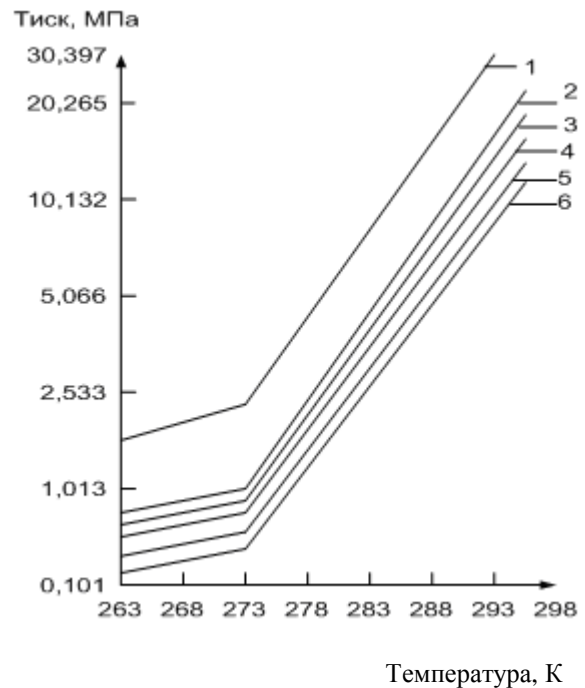
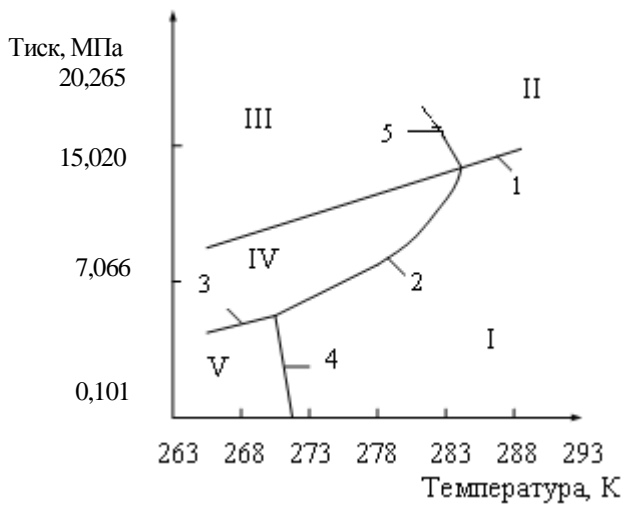
Крім того, у них утримується небагато етану й пропілену.

За температури 20°C бутан скраплюється, якщо тиск становить 0,103 МПа, а пропан — 0,716 МПа. Тому для збереження рідкого стану за вищих температур (до +45, +50 °C) пропан-бутанова суміш перебуває в паливному балоні під тиском 1,6 МПа.

Важливою перевагою газових палив порівняно з нафтовими є кращі екологічні характеристики й насамперед зменшення викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами двигуна. Такими речовинами є оксид вуглецю CO, оксиди азоту NO<sub>x</sub>, сумарні вуглеводні C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> й у випадку застосування етильованих бензинів — сполуки свинцю.

Паливні системи газорідних автомобілів і автобусів майже повністю уніфікована (рис. 3).

Переобладнати на газове паливо можна не тільки бензиновий, але й дизельний двигун як вантажної, так і легкової автомашини. Але для цього треба цілком змінювати штатну систему живлення дизеля. Насамперед потрібно відзначити, що на одному газі дизельний двигун працювати не може. Газ не може загорятися від стиску, як дизельне паливо, оскільки температура його самозапалювання набагато вища: близько 700°C проти 320-380°C у дизельного палива [2–3].



У газодизельному режимі у двигун подають два палива;

- основне дизельне (але в меншій кількості, ніж у базовому);
- додаткове газове (паливо для заміщення).

Основне дизельне паливо відіграє роль «запальної» дози для запалення інтегральної газоповітряної паливної суміші.

Ступінь заміщення додатковим паливом залежить від декількох факторів, передусім від типу газового палива (метану або пропану), досконалості встановлюваної додаткової газопаливної апаратури і базової дизельної апаратури.

Чим більше автомобіль піддається навантаженню, тим більше він заощаджує дизельного палива (рис. 4).

Ідеальний варіант – це рух завантаженого автомобіля по трасі, найбільш невдалий – рух по місту, часті зупинки, повільне пересування в заторах. На практиці витрата по трасі становить 75% газу на 25% дизельного палива, у міському режимі 60/40.

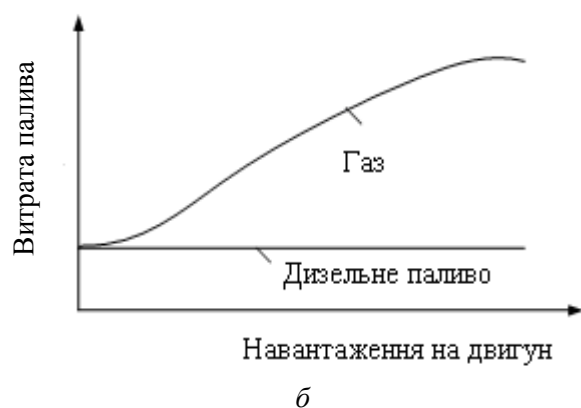


Рис. 4. Графіки залежності витрати палива від навантаження на двигун:  
а – автомобіль, який працює на дизельному паливі;  
б – автомобіль, який працює на газодизельному паливі

З явних економічних переваг використання систем газодизель, крім економії на вартості дизельного палива, слід виокремити (табл. 1):

- зниження зношування циліндро-поршневої групи;
- зниження навантаження на кривошипно-шатунний механізм, оскільки газ горить плавніше за дизельне паливо;
- олива не «змивається» зі стінок циліндрів, згоряння відбувається рівномірніше;
- олива повільніше втрачає свої властивості, інтервал заміни масла можна збільшити в 1,5–2 рази;
- зниження утворення нагару у двигуні;
- зниження димності вихлопу;
- за роботи в режимі газодизель не виникає детонації;
- потужність автомобіля не зменшується.
- 1 м<sup>3</sup> метану дорівнює 1 л дизельного палива;
- в один балон уміщується 12 м<sup>3</sup> метану
- ресурс двигуна у разі правильного налагодження незмінний.

Таблиця 1

**Хімічний склад відпрацьованих газів дизеля та газодизеля [3]**

Параметр	Дизель	Газодизель
Оксиди вуглецю, г/(кВт·год)	5,5	4,3
Вуглеводні, г/(кВт·год)	2,3	1,7
Оксиди азоту, г/(кВт·год)	11,7	8,0
Димність, %	35	10

Однак масові викиди оксидів азоту NO<sub>x</sub> за змішаного регулювання майже не збільшуються через ріст на більших навантаженнях і зниження на малі.

На першому етапі впровадження пропонується експлуатація літальних апаратів (ЛА) із двигунами, що працюють на авіаційному сконденсованому паливі, одержуваному з нафтового газу.

Авіаційне сконденсоване паливо (ТУ 39-1547-91) являє собою суміш висококиплячих вуглеводневих газів:

- пропану;
- бутану;
- пентану;
- гексану.

Авіаційне сконденсоване паливо за декількома експлуатаційними показниками перевершує авіаційний гас. Це паливо дешевше, екологічно чистіше й менш агресивне щодо конструкційних й ущільнювальних матеріалів.

Результати досліджень, проведених у Центральному інституті авіаційного моторобудування, Центральному аерогідродинамічному інституті ім. проф. Н.Е. Жуковського, Державному науково-дослідному інституту цивільної авіації, Науково-дослідному і проектному інституті газоперероблення й конструкторських бюро ім. С.В. Ільюшина й А.С. Яковлева показали можливість та й ефективність переходу на газ не тільки вертольотів, але й літаків. Причому такий різновид газового палива, як АСКТ-Б, можна заправляти безпосередньо в паливні баки літаків місцевих авіаліній типу Іл-114, Як-40 за температури на землі не вище +5 °С.

На другому етапі впровадження в авіаційну й космічну техніку газових палив об'єкт дослідження – криогенні вуглеводневі палива із широким температурним діапазоном рідкого стану (АСКТ-К).

Основними компонентами таких палив є пропан і бутан, що мають досить високі експлуатаційні характеристики. Вони входять до складу природного, нафтового й нафтозаводських газів, з яких можуть бути виділені в досить великих кількостях.

Питома теплота згоряння палива АСКТ-К на 6–7 % вища, ніж авіаційних гасів.

Характеристики палива АСКТ-К особливо вигідно відрізняються від відповідних характеристик криогенного метанового палива (КМТ).

Температура кипіння палива АСКТ-К за нормального тиску не нижча за мінус 40 °С, температура замерзання – не вища, ніж КМТ, а температурний діапазон рідкого стану близький до газового: 145 °С (у метанового палива 21 °С).

За об'ємною теплою згоряння палива АСКТ-К перевершує метанове паливо в 1,5, за густиною – у 1,5–1,6, за хладоресурсом – у 1,3 рази. При цьому значна частина хладоресурсу палива АСКТ-К, на відміну від метанового палива, перебуває в рідкій фазі, що дозволяє створювати компактні системи охолодження (кондиціонування).

Широкий температурний діапазон рідкого стану значно полегшує транспортування й зберігання палива АСКТ-К у наземних умовах і використання його на борту ЛА. У разі невеликого надлишкового тиску (0,6 МПа) воно залишається рідким навіть за додатних температур.

Небезпека виникнення аварійної ситуації (у разі порушення теплоізоляції) через перегрів палива АСКТ-К малоімовірна, у той час, як для КМТ така небезпека можлива.

Паливо АСКТ-К дозволяє робити доведення авіаційної й космічної техніки, починаючи з помірковано низьких температур.

Порівняно із КМТ для його розміщення на борту ЛА потрібно приблизно в 1,5 рази менший об'єм баків (рис. 5).

За цим показником паливо АСКТ-К поступається авіаційному газу ТС-1 лише на 4–8 %.

Таким чином, масогабаритні характеристики ЛА на паливі АСКТ-К та авіаційному газі ТС-1 майже однакові, а отже, близькими виявляться й льотні характеристики ЛА.

На відміну від КМТ пропан-бутанова паливна система ЛА мало відрізняється від штатної.

Порівняно з авіаційним гасом паливо АСКТ-К має вищі термостабільність, екологічні показники, менш агресивне щодо конструкційних, гумотехнічних й ущільнювальних матеріалів. Ще одна перевага палива АСКТ-К перед метановим паливом його запаси можна довгостроково й без втрат зберігати за температури навколишнього середовища і охолоджувати до криогенних температур лише стільки палива, скільки необхідно для заправки чергового ЛА.

За такої технології немає потреби мати в аеропорту великі криогенні ємкості й потужні системи утримання палива в зрідженому стані. Це спрощує й здешевлює технологічні операції з паливом АСКТ-К. Сировинних ресурсів нафтового газу для виробництва палива АСКТ-К достатньо для надзвукових і гіперзвукових ЛА та навіть космічних ракет, потреби яких у паливі в найближчі роки навряд чи будуть великими.

Крім того, у процесі очищення природного газу вивільняється сировина для виробництва палива АСКТ-К у кількостях, достатніх для перспективної авіації й космонавтики.

З погляду економіки впровадження палива АСКТ-К повинне передувати впровадженню метанового палива [4–5].

Основне завдання етапу впровадження – придбання досвіду роботи з газовими паливами (табл. 2).

Таблиця 2

## Експлуатаційні властивості деяких видів авіаційних сконденсованих палив

Характеристика	Етапи впровадження	
	Перший	Другий
Паливо	АСКТ	АСКТ-К
Температура, °С	+45...-90	-40... -180
Діапазон рідкого стану, °С	135	145
Ціна теплової одиниці	0,5...0,6	0,6...0,8
Матеріали, %		
конструкційні	100	50
уцільнювальні	100	50
теплоізоляційні	Немає потреби	0
Двигуни	Незначна модернізація	Модернізація
Паливні баки	Зразок	Прототипи
Паливна система	Мала доробка	Доробка
Система кондиціонування повітря	Високоєфективна	Високоєфективна
Наземна інфраструктура	Є	Є
Заводи з виробництва палива	Є	Дообладня

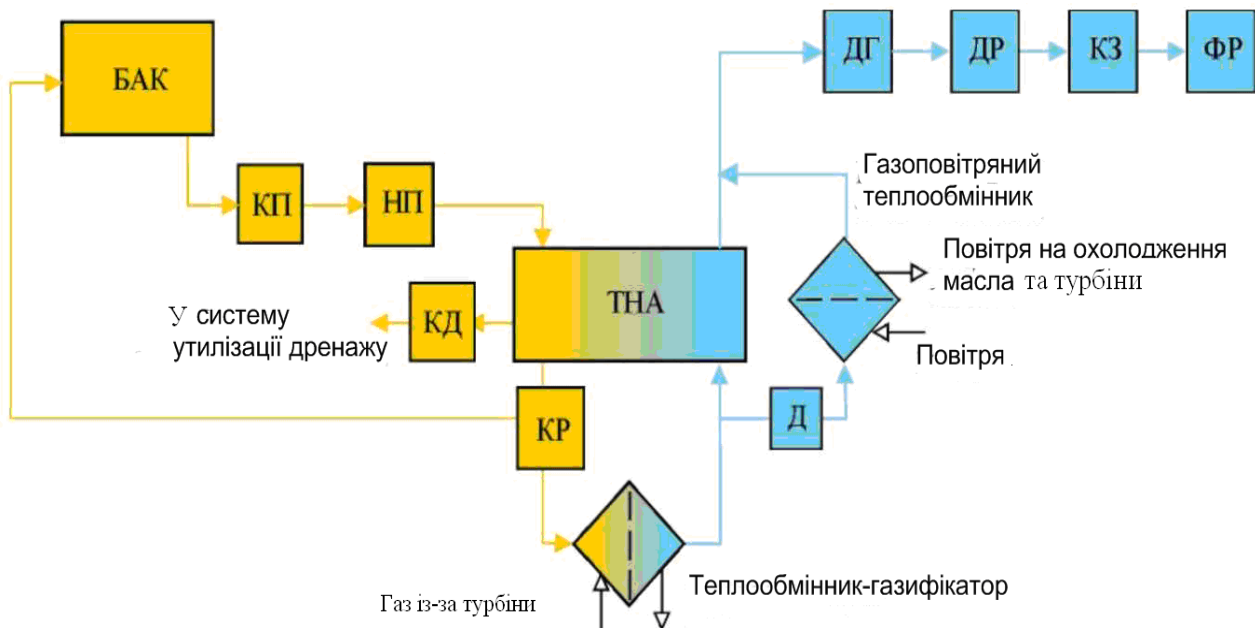


Рис. 5. Паливна система двигуна на криогенному паливі:

- КП – кран пожежний;
- НП – насос підкачувальний;
- КР – кран розподільний;
- КД – клапан дренажний;
- ТНА – турбонасосний агрегат;
- Д – дросель;
- ДГ – дозатор паливного газу;
- ДР – датчик витрати газу;
- КЗ – клапан запірний;
- ФР – форсунки

## Висновки

Важливою перевагою газорідних палив порівняно з нафтовими є кращі екологічні характеристики й насамперед зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами, двигуна. У процесі насичення газом палив, відбувається зменшення його в'язкості, густини, коефіцієнта поверхневого натягу, що у свою чергу полегшує процес попередньої підготовки палив, його випаровування і сумішоутворення. Корозійна агресивність нижча, ніж товарних палив, що дозволяє застосовувати в паливних системах конструкційні матеріали. Температура кристалізації газотурбінних палив нижча, ніж товарних палив, що дає можливість застосовувати палива зі збільшеною температурою кінця кипіння.

## Література

1. *Зайцев В.* Газовое ноу-хау России / В. Зайцев, В. Брещенко // Нефть России. – 2007. – № 12. – С. 90–92.

2. *Михайлов Б.* Газодизель. Дизель может работать и на газе / Б. Михайлов// Рига автомобильная. – 2006. – №162. – С. 45–47.

3. *Зайцев В.* Стратегия развития транспортных и энергетических систем Севера, Сибири и Дальнего Востока на основе газотопливной технологии / В. Зайцев // Экономические стратегии. – 2004. – №8. – С. 52–55.

4. *Дубовкин Н. О.* Возможности широкой модификации вертолетов семейства Ми-8 и других летательных аппаратов для работы на газовом топливе и ее эффективности для некоторых регионов России / Н.О. Дубовкин // Экономические стратегии. – 2005. – №2. – С. 50–52.

5. *Яновский Л.* Проблемы и перспективы применения криогенных углеводородных топлив / Л. Яновский // Нефть России. – 2007. – № 5. – С. 80–82.

Стаття надійшла до редакції 19.02.10.

**С.В. Бойченко, Л.Н. Черняк, Е.В. Полякова, О.А. Степенко**

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ТОПЛИВ

Национальный авиационный университет

### газообразный компонент, технология применения, токсичность, эксплуатационные свойства

Среди разных видов горючих газов наиболее применимы в качестве моторного топлива смеси газообразных углеводородов, получаемые из природного и нефтяного газов. Эксплуатационные свойства и особенности применения газовых топлив зависят от свойств их компонентов. Преимущества данного способа использования газового топлива определяются возможностью быстрого перехода на работу из жидкого топлива на газообразное и наоборот, без существенных конструктивных изменений базового варианта двигателя. К природному газу, который используют в сжатом состоянии в качестве моторного топлива, предъявляют специфические требования к отсутствию пыли, жидкому остатку, минимальной влажности. Требования связаны с исключением возможности закупорки каналов топливной системы из-за замерзания и выпадения гидратов в результате дросселирования и снижения температуры газа при заправке автомобиля. Преимуществом газовых топлив по сравнению с нефтяными являются лучшие экологические характеристики и, в первую очередь, уменьшение выбросов вредных веществ с отработанными газами двигателя: оксида углерода CO, оксидов азота NOx, суммарных углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, и в случае применения этилированных бензинов – соединений свинца. Для переоборудования на газовое топливо бензинового и дизельного двигателей грузовой и легковой автомашин необходимо переделать штатную систему питания дизеля, поскольку на одном газе дизельный двигатель работать не может. Газ не может загораться от сжимания, как дизельное топливо, из-за высокой температуры его самовоспламенения (около 700°C вместо 320-380°C). В газодизельном режиме в двигатель подают два топлива: основное дизельное (в меньшем количестве, чем в базовом), дополнительное газовое (топливо для замещения). Основное дизельное топливо играет роль «воспламенительной» дозы для воспламенения интегральной газозоообразной топливной смеси. Степень замещения дополнительным топливом зависит от нескольких факторов: типа газового топлива (метана или пропана), совершенства устанавливаемой дополнительной газотопливной аппаратуры, базовой дизельной аппаратуры. На первом этапе предложено сосредоточить усилие на разработке и внедрении в эксплуатацию летательных аппаратов с двигателями, которые работают на авиационном сконденсированном топливе, получаемом из нефтяного газа. Авиационное сконденсированное топливо (ТУ 39-1547-91) представляет собой смесь высококипящих углеводородных газов: пропана, бутана, пентана, гексана. Авиационное сконденсированное топливо по ряду эксплуатационных показателей превосходит авиационный керосин. Это топливо дешевле, экологически чище и менее агрессивно к конструкционным и уплотнительным материалам. На втором этапе объектом исследований по внедрению в авиационную и космическую технику газовых топлив являются криогенные углеводородные топлива с широким температурным диапазоном жидкого состояния (АСКТ-К). Основные компоненты топлив АСКТ-К – пропан и бутан – обладают высокими эксплуатационными характеристиками. Они входят в состав природного, нефтяного и нефтезаводских газов, из которых могут быть выделены в достаточно больших количествах. Удельная теплота сгорания топлива АСКТ-К на 6–7 % выше, чем авиационных керосинов.

Sergey V. Boychenko, Larisa M. Chernyak, Elena B. Polyakova, Oleg O. Stepenko

## ECOLOGICAL PROPERTIES OF GAS-LIQUID FUELS

National Aviation University

### **aeriform component, non-toxic, running abilities, technology of application**

Gas hydrocarbons compounds, obtained on the base of natural and passing oil gas, have found more practical application like motor fuels among different types of burning gases. Operational properties and application characteristics of gas fuels are determined by the properties of their components. Advantages of this method concerning the use of gas fuels are delineated by the ability of the rapid passing to work from a liquid fuel on a gas and the back and by deficiency of substantial structural changes of base variant of engine. There are following requirements, which proffer to natural gas, uses in a compressed form as motor fuel: absence of dust and liquid rest, and also a minimum humidity. The last requirement is connected with the exception of fuel system channels clogging and which is related with freezing and fall of hydrates as result of throttle and fluid temperature decrease during filling a transport. Important advantage of gas fuels in compare with oil-derived fuels is better ecological characteristics and also a decrease of emissions discharge by engine waste gas. Carbon oxide CO, nitrogen oxide NO<sub>x</sub>, total hydrocarbons C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> and lead, in case of leaded gasoline use, are such well-known compounds. Adaptation of vehicle on gas fuel is possible both for gasoline and diesel engines both for truck and car transport. First of all it is necessary to appoint that diesel engine can't operate with gas fuel only. Gas can't ignite after compression like diesel fuel because of a temperature of its self ignition is significantly high (about 700 °C on the contrary 320–380°C for diesel). At gas-diesel regime two fuels are hit to the engine – basic diesel (but in less quantity in compare with basic), and additional – gas (fuel for displacement). At that basic diesel fuel plays a role of “ignition” dose to ignite an integral gas-air fuel compound. A degree of displacement an auxiliary fuel depends on a few factors, mainly on the type of gas fuel (methane or propane), a perfection of auxiliary gas-fuel system installation. On the first stage there is offer to concentrate efforts on development and implementation to a wide exploitation a car transport with engines, which will operate with aviation condensed fuel (ASKT), obtained on the base of oil gas. ASKT (TY 39-1547-91) is a compound of high-boiling hydrocarbons gases: propane, butane, pentane, hexane. ASKT is exceeded an aviagas in compare with some operational characteristics. This fuel is cheaper, ecological friendly and less aggressively in relation to construction and sealing materials. At that such type of gas fuel like a ASKT-B (propane free ASKT) can be fill directly to fuel tanks of regional aircrafts type Іл-114, Як-40 and others to temperature of surround environment on the earth not less +5° C (indicated temperatures are typical for some regions of Syberia and North till 10 months per year). On the second level a cryogenic hydrocarbon fuels with wide temperature range of liquid condition (ASKT-K) will be an object of investigations on the implementation to aviation and space techniques. Basic components of such fuels are propane and butane, which characterized by high operational properties. There are components of natural, oil-derived and oil-plants gases and they can be produce in large quantity. Combustion specific heat of ASKT-K is more above 6–7% in compare with aviation kerosene.