

# Вібрації в техніці та технологіях



**К. Рагульскіс**

Всеукраїнський науково-технічний журнал  
"ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ"

ISBN 5-7763-9123

Поштовий індекс 40229

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОСВЯТЛЕННЯ УКРАЇНИ

Свідоцтво про державну реєстрацію № 511серія КВ від 04.05.1994 р.

Дане періодичне видання включено до переліку наукових видань,  
затверджених ВАК України (Бюлетень ВАК України № 4, 1999 р.).

Номер друкується згідно з рішенням Вченої ради ВДАУ (протокол № 1 від 28 вересня 2006 р.).

**ЗАСНОВНИК**

**Вінницький державний аграрний університет**

За сприяння

Національної ради України з машинознавства - української комісії **FTM**

Інституту проблем міцності НАН України

Національної гірничої академії України

Вінницького національного технічного університету

Національного технічного університету України  
"Київський політехнічний інститут"

Національного університету "Львівська політехніка"

Полтавського національного університету ім. Юрія Кондратюка

Харківського державного технічного університету сільського господарства  
ім. Петра Василенка

**Національна редакційна колегія**

**Головний редактор**

д. т. н., проф. **Берник П.С.** (м. Вінниця)

**Редактор номеру**

д.т.н. проф. **Сердюк Л.І.** (м. Полтава)

**Заступники головного редактора:**

д. т. н., проф. **Іскович-Лотоцький Р.Д.** (м.Вінниця)

к. т. н., проф. **Повідайло В.О.** (м. Львів)

д.т.н., проф., член-кор. РАТН **Бабічев А.П.** (м. Ростов-на-Дону, Росія)

**Відповідальний секретар – Берник М.П.**

**Члени редакційної колегії:**

д.т. н., проф. **Афтаназів І.С.** (м. Львів)

д. т. н., проф. **Бобир М.І.** (м. Київ)

д. т. н., проф., чл.-кор. УААН **Войтюк Д.Г.** (м. Київ)

д. т. н., Проф., чл.-кор. УААН **Гуков Я.С.** (м. Київ)

к. т. н., проф. **Джемелінський В.В.** (м. Київ)

к. т. н., проф. **Дудніков А.А.** (м. Полтава)

д. т. н., проф., акад. УААН **Заїка П.М.** (м. Харків)

д. т. н., проф. **Зіньковський А.П.** (м. Київ)

д. т. н., проф. **Костогрив С.Г.** (м. Хмельницький)

д. т. н., проф. **Кузьо І.В.** (м. Львів)

д. т. н., проф., чл.-кор.УААН **Кушнар'ов А.С.** (м. Мелітополь)

д. т. н., проф. **Ловейкін В.С.** (м. Київ)

к. т. н., проф., чл.-кор. УААН **Мазоренко Д.І.** (м. Харків)

д. т. н., проф., член-кор. НАНУ **Матвеев В.В.** (м. Київ)

д. т. н., проф. **Надуть В.П.** (м. Дніпропетровськ)

д. т. н., проф. **Посвятенко Е.К.** (м. Київ)

к. т. н., доц. **Паламарчук І. П.** (м. Вінниця)

д. т. н., проф. **Ройзман В.П.** (м. Хмельницький)

д. т. н., проф. **Седуш В.Я.** (м. Донецьк)

д. т. н., проф. **Сердюк Л.І.** (м.Полтава)

к. т. н., проф. **Середа Л.П.** (м.Вінниця)

д. т. н., проф. **Сілін Р.І.** (м.Хмельницький)

д. т. н., проф. **Струтинський В.Б.** (м. Київ)

д. т. н., проф. **Шульженко М.Г.** (м. Харків)

д. т. н., проф. **Франчук В.П.** (м.Дніпропетровськ)

д. т. н., проф. **Яковенко В.Б.**(м.Київ)

**Зарубіжні члени редакційної колегії:**

д.т.н., проф., акад. РАН **Блехман І.І.** (м.Санкт-Петербург, Росія)

др. **Бубуліс А.** (м. Каунас, Литва)

д.т. н., проф. **Копилов Ю.Р.** (м. Воронеж, Росія)

д.т.н., проф. **Лакуста І.Г.** (м. Кишинів, Молдова)

д.т.н., проф. **Серга Г.В.** (м. Краснодар, Росія)

д.т.н., проф. **Субач А.П.** (м. Рига, Латвія)

д.т.н., проф. **Войнаровський Юзеф** (м. Глівіца, Польща)

д. т. н., проф., акад. РАН **Фролов К.В.** (м. Москва, Росія)

д. т. н., Проф. **Яцун С.Ф.** (м. Курск, Росія)

Технічне редагування - М.П. Берник

Комп'ютерний набір - Н.П. Кушнір

Обкладинка - М.П. Берник

**Адреса**

21008, Вінниця, вул. Сонячна, 3,

**Редакції:**

ВДАУ, редакція журналу "Вібрації в техніці та технологіях",

тел. (8-0432) 57-44-94, 35-70-84 (просити 137) факс (8-0432) 46-28-64

e-mail: [bernik@vsau.org](mailto:bernik@vsau.org)

**Банківські реквізити:**

Банк УДК у Вінницькій області, ВДАУ МФО 802015, код 00497236,

р/рах. №35229011000514, код платника ПДВ 004972302286

Анісімов В. Ф.

Рябошапка В. І.

Вінницький  
державний  
аграрний  
університет

УДК 40.721

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ ДЛЯ РОБОТИ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

*Рассмотрены характеристики газообразных топлив, возможности их применения для автотракторных двигателей, предложена схема работы тракторного газодизеля.*

*Charakteristik of gaseous fuel, the possibility of its usage for autotractor engines are considered, the scheme of the traktor gasdiesel work is proposed.*

Для роботи двигунів внутрішнього згорання найбільш розповсюдженим джерелом енергії є рідкі види нафтових палив: бензини, керосини, дизельні палива, соляріві оливи, мазути. Широке їх застосування пов'язане з великою теплотворністю віднесеною до одиниці об'єму, що дозволяє використовувати відносно невеликі ємкості для запасу пального. Однак вартість нафтових палив за останні роки значно зросла, що не може не вплинути на собівартість виробленої продукції, зокрема в сільському господарстві. Все це спонукає до пошуку інших – альтернативних джерел енергії.

Таку альтернативу рідким нафтовим паливам можуть скласти горючі гази, вартість яких менша за бензини та дизельні палива [1].

Відомо, що для повного та найбільш ефективного згорання, паливо повинно бути добре перемішане з повітрям. Найкраще змішуються з повітрям газоподібні палива. Така важлива властивість газів, як моторного палива, дає можливість їх широкого застосування в двигунах внутрішнього згорання і отримання, при цьому, техніко-економічного ефекту, так як газове паливо по своїм моторним якостям набагато краще, наприклад за дизельне [2].

Крім того, при переведенні двигунів на газ, покращуються їх екологічні показники. Так, наприклад робота газодизеля на стисненому природному газі характеризується меншою димністю відпрацьованих газів порівняно з дизелем у 2 – 4 рази [3].

Такі переваги газоподібних палив спонукають серйозно задуматись над перспективою їх використання для роботи автотракторних двигунів.

Доцільність застосування того чи іншого газу залежить від таких показників:

компонентного складу, октанового чи метанового числа, питомої теплоти згорання (об'ємної та масової), швидкості поширення полум'я, стехометричного складу суміші з повітрям, границями займистості по коефіцієнту надлишку повітря, критичної температури та тиску переходу газу в рідкий стан тощо. Крім того при виборі того чи іншого газу необхідно врахувати тип двигуна та його конструкцію.

При використанні скрапленого нафтового газу (СНГ) система живлення двигуна газом складається зі сталюого балона, розрахованого на тиск 1,67 МПа, двоступінчастого редуктора низького тиску з дозуючим економайзерним пристроєм, випаровувача, газового змішувача, електромагнітного клапана та фільтра, трубопроводів, манометрів, вентилів, клапанів тощо. По такій схемі працюють двигуни з зовнішнім сумішоутворенням та примусовим запаленням від електричної іскри; в основному це двигуни легкових та деяких вантажних автомобілів.

Існують також способи застосування СНГ для роботи газодизельних двигунів. Дослідження в цьому напрямку проводилися М. Д. Мамедовою [4] на судовому двигуні ЗД6 при зовнішньому та внутрішньому способах утворення суміші газу з повітрям.

У якості палива застосовувався скраплений газ, що складається з 50% пропану і 50% бутану. Переобладнання дизеля для роботи на скрапленому газі здійснювалося за допомогою серійних вузлів та деталей.

В результаті експериментів були зроблені висновки, що дослідний дизель забезпечує гарантовані заводом показники роботи як на дизельному так і на газодизельному режимах. Однак, при переведенні двигуна на

газодизельний процес при зовнішньому сумішоутворенні, витрата запальної дози рідкого палива складала не менше 25 – 30% загальної витрати.

При роботі двигуна з внутрішнім сумішоутворенням результати досліджень показали, що оптимальна кількість запальної дози дизельного палива, з точки зору рівномірності роботи двигуна, становить 15 – 20 %. Однак, щоб отримати характеристики двигуна, довелося збільшити запальну дозу до 40 %. Крім цього такий двигун потребує суттєвих змін в конструкції паливної апаратури високого тиску.

Враховуючи те, що дизель ЗД6 по своїм технічним характеристикам близький до автотракторних дизелів, цілком можлива робота цих двигунів по газодизельному циклу на СНГ.

Скраплений нафтовий газ відноситься до висококалорійних газів [5]; його нижча теплота згоряння складає 45670 кДж/кг. По відношенню до бензину марки АИ-93 (ГОСТ 2084-77) цей показник більший в 1,04 рази, а до дизельного палива марки "Л" (ГОСТ 305-82) – в 1,08 рази.

До цих газів відносяться вуглеводні, які переходять із газоподібного стану в рідкий при температурі навколишнього середовища й порівняно невеликих надлишкових тисках.

Необхідний надлишковий тиск для переходу газу в рідкий стан збільшується при підвищенні температури і становить для температури навколишнього середовища +45°C – 1,57 МПа.

Основними вуглеводневими сполуками, що входять до складу скраплених газів, є етан, етилен, пропан, пропилен, бутан і бутілени.

В основному СНГ складається з пропану та бутану. Завдяки ідентичності будови молекул пропану і бутану їхня суміш підкоряється правилу адитивності, тобто параметри суміші пропорційні параметрам окремих компонентів.

Об'єм бутан-пропанового палива при переході з газоподібного стану в рідкий зменшується приблизно в 300 раз і концентрація теплоти в одиниці об'єму скраплених газів лише на 35-50% менша, ніж у рідкого нафтового палива. Тому суттєвої різниці в транспортуванні та зберіганні скраплених газів порівняно з рідкими паливами немає, за виключенням того, що ємності та трубопроводи розраховані на тиск 1,67 МПа.

ГОСТ 27578-87 передбачає дві марки скраплених вуглеводневих газів: ПЕА – пропан-бутан автомобільний, застосовується в діапазоні температур навколишнього

середовища від +45 °С до – 20 °С; ПА – пропан автомобільний, застосовується в діапазоні температур навколишнього середовища від – 20 °С до – 35 °С; ЭПА – етан-пропан автомобільний, застосовується згідно ТУ 38.1011184-89 при більш низьких температурах.

За своїми фізико-хімічними та економічними показниками СНГ повинен відповідати вимогам, наведеним в табл. 1.

При використанні стисненого природного газу (СПГ) система живлення двигуна газом складається з товстостінних балонів високого тиску, що розраховані на тиск 20 МПа, підігрівника газу, редуктора високого тиску, двоступінчастого редуктора низького тиску, дозуючого та змішувального пристрою, електромагнітного клапана та фільтра, трубопроводів, манометрів, вентилів, клапанів тощо. По такій схемі працюють двигуни з зовнішнім сумішоутворенням та примусовим запаленням від електричної іскри; як правило це двигуни вантажних автомобілів та автобусів.

Стиснений природний газ відноситься до висококалорійних газів [5]; його нижча теплота згоряння складає 32600 кДж/кг. Відношення нижчої теплоти згоряння СПГ до цього ж показника для бензину марки АИ-93 (ГОСТ 2084-77) становить 0,74, а для дизельного палива марки "Л" (ГОСТ 305-82) – 0,75.

Це автомобільне паливо отримують шляхом стискання природного газу на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС) у газові акумулятори, з яких заправляють автомобілі. Запаси природного газу в світі досить великі. В залежності від родовища способи одержання природних газів можна розділити на власне природні, побіжні (нафтові) і газы газоконденсатних родовищ.

Власне природні газы одержують з свердловин газових родовищ. Вони мають високі показники по теплотворності і вмістові найбільш якісного компонента – метану. У них, як правило, відсутні шкідливі домішки.

Побіжні газы одержують при видобутку нафти. Ресурси їх досить значні, так як на одну тону видобутої нафти виділяється від 50 до 100 м<sup>3</sup> газу. Основним компонентом побіжних газів також є метан. Крім метану побіжні газы містять велику кількість важких вуглеводнів.

Газы газоконденсатних родовищ містять значно менше важких вуглеводнів, ніж побіжні, і за своїм складом наближаються до власне природних газів.

Метан, котрий є основним складовим компонентом природних газів, володіє всіма позитивними якостями газоподібних палив: великою теплотворністю, нормальною швидкістю згоряння, тощо. Крім того, метан є нетоксичним газом.

Для одержання заданих параметрів газових двигунів кількість метану в стиснутих газах повинна бути регламентована в межах (95  $\pm$  5) %.

При використанні газів, в двигунах із запаленням від електричної іскри важливу роль відіграє октанове число – показник, що характеризує стійкість палива до детонаційного згоряння. Октанове число СПГ складає 105, що не порівнюється з жодним сортом бензину.

Однак при роботі двопаливних двигунів на СПГ, зменшується їх потужність на 16 – 20% порівняно з їх роботою на бензині. Це пояснюється вимогливістю газових двигунів до більших ступенів стиску [6] та меншим значенням нижчої теплоти згоряння СПГ.

Найбільш доцільно застосовувати СПГ на двигунах із зовнішнім сумішоутворенням та запалюванням невеликої дози дизельного палива від стиску, яка в свою чергу запалює газоповітряну суміш (газодизелі); до них належать двигуни вантажних автомобілів,

автобусів та тракторів. Для забезпечення газодизельного процесу в автомобільних дизелях використовується схема роботи газобалонного автомобіля КамАЗ [6].

Розроблено також різні схеми системи живлення тракторних газодизелів на базі італійських тракторів [3]. Однак такі схеми потребують багато додаткових пристроїв, що ускладнює конструкцію не без того ускладненого двигуна.

Найбільш простою виявилась схема, що розроблена для двигуна КамАЗ 7409.10, по якій працюють також газодизельні двигуни ЯМЗ на автомобілях КраЗ і МАЗ, RABA-MAN – на автобусах "Ікарус" [7].

На основі досліджень літературних джерел [3, 4, 6, 7] та опираючись на досвід водіїв газобалонних автомобілів КамАЗ, пропонується застосувати дану схему для переобладнання тракторних двигунів сімейства Д-240, які служать енергетичними засобами на тракторах Мінковського тракторного заводу, тракторі Т-70С, на вантажних автомобілях заводу імені Лихачова і Горьківського автомобільного заводу та ін., і є найбільш розповсюдженими і універсальними дизелями середнього класу. Схема, переобладнаного тракторного дизеля представлена на рис 1.

Таблиця 1

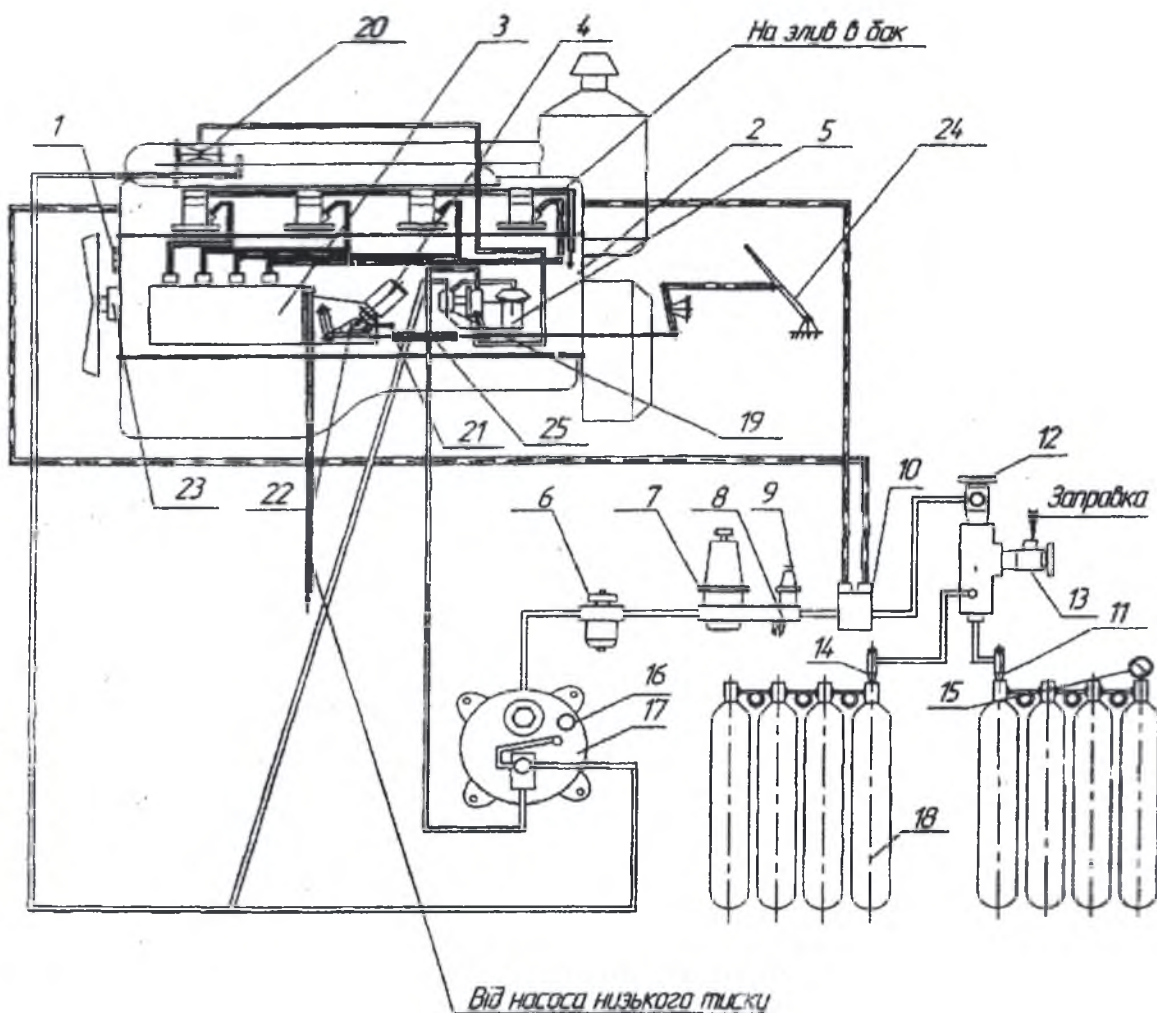
## Фізико-хімічні і експлуатаційні показники СНГ

Показник		Марка палива			Державний стандарт, що регламентує визначення показника
		ПБА	ПА	ЭПА	
Масові доли компонентів, %:	Сума метану та етану	Не нормується			10679 – 76
	Пропан	50 $\pm$ 10	90 $\pm$ 10	85 $\pm$ 10	10679 – 76
	Сума вуглеводнів С4 Н10 і вище	Не нормується			10679 – 76
Сума неграничних вуглеводнів, % не більше		6	6	6	10679 – 76
Об'ємна доля рідкого залишку при +40 °С, % не більше		Відсутня		Сліди	27578 – 87
Базова температура (°С) для регламентування максимального надлишкового тиску насичених парів 1,6 МПа		+45	+30	+ 5	27578 – 87
Те ж, для мінімального тиску 0,07 МПа		- 20	- 35	- 40	27578 – 87
Масова доля сірки та сірчистих сполук, %, не більше		0,01	0,01	0,01	22985 – 90
В тому числі сірководню, % не більше		0,003	0,003	0,003	22985 – 90
Вміст вільної води та лугів		Відсутні			22985 – 90

На тракторі тягового класу 1,4 можна розмістити вісім балонів, об'ємом 50 л: чотири на кабіні трактора і чотири збоку, на рівні моторної установки, що кріпляться за допомогою відкидних кронштейнів [3]. Балони 18 з'єднанні між собою товстостінними безшовними стінками і поділені на дві секції для збільшення надійності [8]. Кожна секція має свій витратний вентиль – 11 і 14 і приєднана до хрестовини, в якій розміщуються заправний 13 та загальний витратний 12 вентилі.

Підігрівання газу здійснюється за рахунок охолоджувальної рідини, що потрапляє з системи охолодження двигуна 1 в підігрівник 10.

Для зниження тиску газу від 20 МПа до атмосферного служать редуктори: високого тиску 7 та двоступінчастий низького тиску 17. Можливе застосування триступінчастого редуктора-підігрівника, який заміняє собою три вузли: редуктори високого та низького тиску і підігрівник.



**Рис.1. Схема системи живлення переобладнаного тракторного газодизеля**  
 1 — індуктивний датчик частоти обертання; 2 — двигун; 3 — паливний насос високого тиску; 4 — електромагніт; 5 — дозатор газу; 6 — електромагнітний клапан з фільтром; 7 — редуктор високого тиску; 8 — запобіжний клапан; 9 — сигналізатор аварійного вироблення газу; 10 — підігрівник газу; 11, 14 — витратні вентилі; 12 — магістральний вентиль; 13 — наповнювальний вентиль; 15 — манометр; 16 — датчик тиску; 17 — двоступінчастий редуктор низького тиску; 18 — балони; 19 — триходовий електромагнітний клапан; 20 — злишувач; 21 — датчик блокування; 22 — рухомий упор, 23 — зубчастий вінець; 24 — акселератор; 25 — пружна тяга керування подачею палива

Дозування подачі газу здійснюється за допомогою дозатора 5 дросельного типу, керування яким здійснюється з кабіни оператора за допомогою акселератора 24.

Щоб забезпечити роботу двигуна в газодизельному режимі, насос високого тиску 3 для подачі рідкого палива обладнують механізмом встановлення запальної дози, який обмежує переміщення важеля керування регулятором і тим самим обмежує дозу рідкого палива. Механізм представляє собою електромагніт 4, рухомий упор 22 та датчик блокування 21.

Для узгодження керування насосом 3 та дозатором 5 в систему тяг керування подачею палива входить пружна тяга 25, пружина якої жорсткіша за пружину регулятора. Таким чином керування подачею рідкого та газоподібного палива здійснюється синхронно при режимах малих навантажень і асинхронно при збільшенні навантаження.

Така схема роботи дає можливість зберегти велику ступінь стиску без суттєвих змін в конструкції двигуна, та легко переходити з газодизельного режиму в дизельний і навпаки. При роботі такого двигуна в газодизельному режимі передбачається збереження енергетичних показників базового дизеля, встановлення величини запальної дози в межах 10 – 20% від витрати при роботі на номінальному режимі останнього [3, 6, 7]. Це дає можливість зекономити витрату дизельного палива до 80% за рахунок заміщення його газом, як більш дешевшим видом палива. Крім того, при роботі газодизеля покращуються екологічні показники транспортного засобу [3].

Основні показники СПГ визначені ГОСТ 27577-87 „Газ природний стиснений для газобалонних автомобілів” (див. табл. 2).

Згідно стандарту температура газу, що заправляється в балони автомобіля, повинна бути не більш + 40 °С. При температурі навколишнього середовища вище +35 °С температура газу, що заправляється, повинна бути не більше ніж на +5 °С вище температури повітря. Температуру СПГ при заправці встановлюють за вимогою споживачів. Надлишковий тиск СПГ у момент закінчення заправки автомобілів повинен бути у межах 19,0 – 19,6 МПа. Його визначають за допомогою манометрів, встановлених на газонаповнювальних колонках автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС).

Густина газу теж відіграє велику роль, так як від цього показника залежить місткість для зберігання палива на автомобілі. Густина СПГ

Таблиця 2  
Фізико-хімічні і експлуатаційні показники СПГ [7]

Показник	Значення	Держстандарт (ГОСТ), що регламентує метод визначення показника
Нижча теплота згоряння, МДж/мі	32,6 – 36,0	22667 – 82
Відносна густина до повітря, не менше	0,56 - 0,62	22667 – 82
Розрахункове октанове число, не менше	105	Немає
Концентрація сірководню, г/мі, не більше	0,02	22387.2 – 83
Концентрація меркаптанової сірки, г/мі, не більше	0,036	22387.2 – 83
Маса механічних домішок, мг/мі, не більше	1,0	22387.4 – 77
Сумарна об'ємна доля негорючих компонентів, %	7,0	23781 – 87
Вміст води, мг/мі, не більше	9,0	20060 – 83

при нормальних атмосферних умовах (при 0 °С та 760 мм рт. ст.) складає близько 0,800 кг/мі, що значно збільшує місткість для зберігання палива на транспортному засобі; навіть при тиску до 19,6 МПа в одному балоні може зберігатися в середньому лише 10 мі. Через високий тиск збільшується й маса балонів, що призводить до збільшення загальної маси транспортного засобу. Це один із суттєвих недоліків СПГ, який гальмує його використання на газобалонних тракторах і автомобілях. Так, наприклад газодизельному автомобілю КамАЗ-53208 для забезпечення пробігу 400 км необхідно 10 сталевих балонів масою до 60 кг кожний, що значно збільшує масу автомобіля.

Цей недолік можна усунути при глибокому охолодженні природного газу до температури – 161,3 °С. При цьому газ переходить в рідкий стан.

Скrapлений природний газ (СкПГ) зберігається на транспортному засобі в ізотермічних балонах. Система живлення двигуна СкПГ принципово нічим не відрізняється від системи живлення двигуна СНГ, окрім конструкції балона.

Гази, які необхідно стискати через їх невелику при нормальних атмосферних умовах густину, можуть бути при досить низьких температурах перетворені в рідину (криогенні гази) і застосовуватися на автомобільному транспорті в рідкому вигляді. Температури, при яких зазначені гази перетворюються в рідкий стан при атмосферному тиску, становлять: метан – 161,3 °, окис вуглецю – 191,5 °, водень – 252,78 °С і т.п. По мірі підвищення тиску температура скраплення газу підвищується.

Так як головною складовою природного газу є метан (який до того ж вимагає для перетворення в рідину найменшого охолодження), тільки він, як правило перетворюється в рідкий стан.

Нижче наведені основні фізичні характеристики рідкого метану (див. табл. 3).

Таблиця 3  
Фізичні властивості рідкого метану [9]

Показник	Значення
Питома вага в газоподібному стані при 15 °С і 760 мм рт. ст., кг/мі	0,68
Питома вага в рідкому стані при – 161,3 °С і 760 мм рт. ст., кг/л	0,416
Зменшення об'єму при скрапленні	у 613 разів
Температура кипіння при 760 мм рт. ст., °С	– 161,3
Критична температура, при якій метан не може вже залишатися в рідкому стані, °С	– 82,5
Тиск у балоні в момент переходу всього рідкого метану у газоподібний стан (критичний тиск), Мпа	4,4
Кількість теплоти, яка необхідна на випаровування 1 кг зрідженого метану при – 161,3 °С і 760 мм рт. ст., кДж/кг	523,7

У зв'язку з тим, що при температурах вище – 82,5° метан не може перебувати в рідкому стані, то зріджений метан варто зберігати в теплоізольованих балонах (типу термосів) з ефективною надійною теплоізоляцією. У закритій посудині тиск парів скрапленого метану буде також залежати від температури, як і тиск скраплених нафтових газів. У табл. 4

наведені значення тиску парів метану при різних температурах.

Інші властивості скрапленого метану зберігаються такими ж, як у стиснутого. Так як в процесі виробництва скрапленого метану всі сторонні домішки або виморожуються, або відокремлюються у вигляді газоподібного залишку, скраплений метан виходить хімічно чистим і є, таким чином ідеальним автотракторним паливом.

Таблиця 4  
Тиск парів рідкого метану при різних температурах [8]

Тиск, МПа	Температура, °С
0,10	– 161,3
0,20	– 152,8
0,29	– 146,8
0,39	– 142,1
0,49	– 138,3
0,59	– 134,8
0,69	– 131,8
0,78	– 129,2
0,88	– 126,7
9,81	– 124,4
1,18	– 120,4
1,37	– 116,7
1,57	– 113,5
1,77	– 110,5
19,62	– 107,7
24,52	– 101,8
29,43	– 96,5
34,33	– 91,8
39,24	– 87,7

Тому, найбільш перспективним видом газоподібних палив є СкПГ, так як він дає можливість використати всі переваги природного газу та усуває його головний недолік – низьку теплоту згорання віднесену до одиниці об'єму. Крім того, на думку К.Чирикова [10] вдосконалення способів зберігання та отримання СкПГ в перспективі буде лише перехідним етапом для переходу до скрапленого водню у якості палива для двигунів внутрішнього згорання.

При розгляді перспектив використання моторних газових палив, не залишається поза увагою біогаз. Біогаз складається в основному з метану (до 60-70%); а також з хімічно активних домішок: аміак, окис вуглецю, сірководень, які руйнують балони і газову апаратуру. Тому біогаз, призначений для використання в якості моторного палива,



потребує ретельного очищення від шкідливих речовин, наприклад за допомогою окислів заліза, що реагують із сірководнем, утворюючи суху сірку. Регенерація окислів заліза здійснюється за допомогою промивання їх повітрям. Для видалення вологи може застосовуватись абсорбційна сушилка. Описані вище заходи знижують рентабельність біогазу, особливо для використання його у якості моторного палива, так як затрати на його виробництво наприклад в країнах Західної Європи та США вищі вартості дизельного палива [3].

### Висновки

1. Горючі гази як моторне паливо, можуть складати альтернативу рідким нафтовим паливам по технічним, економічним, та екологічним показникам.

2. Для роботи газодизеля найбільш доцільно використовувати стиснений природний газ, який дає можливість заміщення дизельного палива до 80%, зберігаючи при цьому номінальні енергетичні, підвищуючи екологічні показники та здешевлюючи роботу двигуна за рахунок меншої вартості газоподібного палива порівняно з нафтовим.

3. При переобладнанні дизеля для роботи на СПГ частіше застосовується схема системи живлення газом із зовнішнім утворенням, яка не вимагає суттєвих змін в конструкції двигуна та дає змогу швидко переходити з дизельного режиму в газодизельний і навпаки.

4. Використання скрапленого природного газу є перспективним напрямком для розвитку газобалонних тракторів та автомобілів, завдяки тому, що цей газ поєднує в собі всі позитивні фізико-хімічні властивості природного газу та усуває основний його недолік – невелику теплоту згоряння в одиниці об'єму.

### Література

1. Иван Анисимов, Анатолий Яковенко, Валентина Макачук. Обоснование перевода тракторного парка на сжатый природный газ. V Міжнародна науково-технічна конференція "MOTROL'2005", Том 7. – Одеса: 2005, с. 11 – 12.
2. Равкинд А. А. Унифицированные газовые дизельные двигатели. – М.: Недра, 1967, с. 8.
3. Использование газа в качестве топлива для тракторов. Тракторы и двигатели, Серия 1, Вып. 1. – М.: 1989. – 27 с.
4. Мамедова М. Д. Работа дизеля на сжиженном газе. – М.: Машиностроение, 1980, с. 27 – 52.
5. Трушин В. М. Газовое оборудование и арматура для газобаллонных автомобилей (на сжатом природном газе). – Л.: Недра, 1990, с. 1– 26.
6. Трактори та автомобілі Ч. 1. Автотракторні двигуни: Навч. Посіб. / М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко, А. Т. Лебедев та ін.; За ред. Проф. А. Т. Лебедева. – К.: Вища шк., 2000, с. 167 – 175.
7. Газобаллонные автомобили: Справочник / А. И. Морев, В. И. Ерохов, Б. А. Бекетов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.
8. Газобаллонные автомобили: техническая эксплуатация / Кленников Е. В., Мартиров О. А., Крылов М. Ф. – М.: Транспорт, 1986. – 175 с.Г.
9. И. Самойль, И. И. Гольдблат. Газобаллонные автомобили: техническая эксплуатация – М.: Транспорт, 1986, с. 12 – 15.
10. К. Чириков. Двигатель, Двигатель, Двигатель. Завтра ДВС, а послезавтра?; Техника. Подписная научно-популярная серия. Практика восьмидесятых ..., Изобретения патенты, лицензии ..., Техника за рубежом. Знание новое в жизни, науке, технике. №2 1983, с. 46 – 52.

## ЗМІСТ

<i>Анісімов В. Ф., Рябошапка В. Б.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ ДЛЯ РОБОТИ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	1
<i>Берник П.С., Чубик Р.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНОЇ, ПЕРЕХІДНОЇ ТА ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЇ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН.....	8
<i>Біловод О.І.</i> ДО ПИТАННЯ ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАШИН І ШЛЯХІВ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ.....	12
<i>Гончаренко М. В., Пошивач Д. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПРУЖНИХ СИСТЕМ ПРИ СТОХАСТИЧНОМУ ПАРАМЕТРИЧНОМУ ВПЛИВІ.....	14
<i>Гончаренко С.М., Погорелова О.С., Постнікова Т.Г.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО РУХУ ВІБРОУДАРНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИЛИ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ.....	20
<i>Коц І. В., Петрусь В. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕМБРАННОГО НАСОСА З ГІДРАВЛІЧНИМ АВТОМАТОМ РЕВЕРСА.....	28
<i>Ланець О. С.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ВИСОКОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИМАСОВИХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ ТА СИНФАЗНИМ РУХОМ КОЛІВАЛЬНИХ МАС.....	34
<i>Насіковський А.Б., Коц І. В.</i> АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ.....	41
<i>Надутьий В.П., Ленда В.А., Андреев С.Ю., Макеев С.Ю., Новиков Н.Н., Верба Ю.В.</i> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СКВАЖИННЫХ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ РАБОЧЕГО АГЕНТА.....	46
<i>Паламарчук І.П., Липовий І.Г.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРОПЛАНЕТАРНОЇ РІЗАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	50
<i>Пентюк Б.М.</i> ОЦІНКА ФІЗИЧНОЇ ПРИРОДИ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА УЩІЛЬНУВАНІ ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ.....	54
<i>Тараненко Ю.К.</i> РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ВІБРОЧАСТОТНОГО ДАТЧИКА ЩІЛЬНОСТІ РІДИНИ.....	61
<i>Тищенко Л.Н., Харченко С.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕПАРАЦИОННОЙ И ФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА РАЗРАБОТАННОЙ ПЫЛЕОСАДОЧНОЙ КАМЕРОЙ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЗЕРНОВЫХ СЕПАРАТОРОВ.....	67
<i>Франчук В.П., Федоскин В.А., Плахотник В.В.</i> ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОТРАНСПОРТЕРА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	75
<i>Франчук В.П., Федоскина Е.В.</i> ВЛИЯНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ НА ДИНАМИКУ ВИБРАЦИОННОЙ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С НАКЛОННОЙ КАМЕРОЙ ДРОБЛЕНИЯ.....	78
<i>Цуркан О.В., Герасимов О.С.</i> МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРИГОТУВАННЯ СИПУЧИХ КОРМІВ.....	82
65 лет профессору Алимову Валерию Ивановичу.....	85
До відома авторів.....	86
Відомості про авторів.....	87

Всеукраїнський науково-технічний журнал  
"ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ"

ISBN 5-7763-9123

Поштовий індекс 40229

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОСВЯТЛЕННЯ УКРАЇНИ

Свідоцтво про державну реєстрацію № 511серія КВ від 04.05.1994 р.

Дане періодичне видання включено до переліку наукових видань,  
затверджених ВАК України (Бюлетень ВАК України № 4, 1999 р.).

Номер друкується згідно з рішенням Вченої ради ВДАУ (протокол № 1 від 28 вересня 2006 р.).

**ЗАСНОВНИК**

**Вінницький державний аграрний університет**

**За сприяння**

Національної ради України з машинознавства - української комісії **IFOM**

Інституту проблем міцності НАН України

Національної гірничої академії України

Вінницького національного технічного університету

Національного технічного університету України  
"Київський політехнічний інститут"

Національного університету "Львівська політехніка"

Полтавського національного університету ім. Юрія Кондратюка

Харківського державного технічного університету сільського господарства  
ім. Петра Василенка

**Національна редакційна колегія**

**Головний редактор**

д. т. н., проф. **Берник П.С.** (м. Вінниця)

**Редактор номеру**

д.т.н. проф. **Сердюк Л.І.** (м. Полтава)

**Заступники головного редактора:**

д. т. н., проф. **Іскович-Лотоцький Р.Д.** (м.Вінниця)

к. т. н., проф. **Повідайло В.О.** (м. Львів)

д.т.н., проф., член-кор. РАТН **Бабічев А.П.** (м. Ростов-на-Дону, Росія)

**Відповідальний секретар – Берник М.П.**

**Члени редакційної колегії:**

д.т. н., проф. **Афтаназів І.С.** (м. Львів)

д. т. н., проф. **Бобир М.І.** (м. Київ)

д. т. н., проф., чл.-кор. УААН **Войтюк Д.Г.** (м. Київ)

д. т. н., Проф., чл.-кор. УААН **Гуков Я.С.** (м. Київ)

к. т. н., проф. **Джемелінський В.В.** (м. Київ)

к. т. н., проф. **Дудніков А.А.** (м. Полтава)

д. т. н., проф., акад. УААН **Заїка П.М.** (м. Харків)

д. т. н., проф. **Зіньковський А.П.** (м. Київ)

д. т. н., проф. **Костогрив С.Г.** (м. Хмельницький)

д. т. н., проф. **Кузьо І.В.** (м. Львів)

д. т. н., проф., чл.-кор.УААН **Кушнар'ов А.С.** (м. Мелітополь)

д. т. н., проф. **Ловейкін В.С.** (м. Київ)

к. т. н., проф., чл.-кор. УААН **Мазоренко Д.І.** (м. Харків)

д. т. н., проф., член-кор. НАНУ **Матвеев В.В.** (м. Київ)

д. т. н., проф. **Надуть В.П.** (м. Дніпропетровськ)

д. т. н., проф. **Посвятенко Е.К.** (м. Київ)

к. т. н., доц. **Паламарчук І. П.** (м. Вінниця)

д. т. н., проф. **Ройзман В.П.** (м. Хмельницький)

д. т. н., проф. **Седуш В.Я.** (м. Донецьк)

д. т. н., проф. **Сердюк Л.І.** (м.Полтава)

к. т. н., проф. **Середа Л.П.** (м.Вінниця)

д. т. н., проф. **Сілін Р.І.** (м.Хмельницький)

д. т. н., проф. **Струтинський В.Б.** (м. Київ)

д. т. н., проф. **Шульженко М.Г.** (м. Харків)

д. т. н., проф. **Франчук В.П.** (м.Дніпропетровськ)

д. т. н., проф. **Яковенко В.Б.**(м.Київ)

**Зарубіжні члени редакційної колегії:**

д.т.н., проф., акад. РАН **Блехман І.І.** (м.Санкт-Петербург, Росія)

др. **Бубуліс А.** (м. Каунас, Литва)

д.т. н., проф. **Копилов Ю.Р.** (м. Воронеж, Росія)

д.т. н., проф. **Лакуста І.Г.** (м. Кишинів, Молдова)

д.т. н., проф. **Серга Г.В.** (м. Краснодар, Росія)

д.т. н., проф. **Субач А.П.** (м. Рига, Латвія)

д.т.н., проф. **Войнаровські Юзеф** (м. Глівіца, Польща)

д. т. н., проф., акад. РАН **Фролов К.В.** (м. Москва, Росія)

д. т. н., Проф. **Яцун С.Ф.** (м. Курск, Росія)

Технічне редагування - М.П. Берник

Комп'ютерний набір - Н.П. Кушнір

Обкладинка - М.П. Берник

**Адреса**

21008, Вінниця, вул. Сонячна, 3,

**Редакції:**

ВДАУ, редакція журналу "Вібрації в техніці та технологіях",

тел. (8-0432) 57-44-94, 35-70-84 (просити 137) факс (8-0432) 46-28-64

e-mail: [bernik@vsau.org](mailto:bernik@vsau.org)

**Банківські реквізити:**

Банк УДК у Вінницькій області, ВДАУ МФО 802015, код 00497236,

р/рах. №35229011000514, код платника ПДВ 004972302286

Анісімов В. Ф.

Рябошапка В. І.

Вінницький  
державний  
аграрний  
університет

УДК 40.721

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ ДЛЯ РОБОТИ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

*Рассмотрены характеристики газообразных топлив, возможности их применения для автотракторных двигателей, предложена схема работы тракторного газодизеля.*

*Charakteristik of gaseous fuel, the possibility of its usage for autotractor engines are considered, the scheme of the traktor gasdiesel work is proposed.*

Для роботи двигунів внутрішнього згорання найбільш розповсюдженим джерелом енергії є рідкі види нафтових палив: бензини, керосини, дизельні палива, соляріві оливи, мазути. Широке їх застосування пов'язане з великою теплотворністю віднесеною до одиниці об'єму, що дозволяє використовувати відносно невеликі ємкості для запасу пального. Однак вартість нафтових палив за останні роки значно зросла, що не може не вплинути на собівартість виробленої продукції, зокрема в сільському господарстві. Все це спонукає до пошуку інших – альтернативних джерел енергії.

Таку альтернативу рідким нафтовим паливам можуть скласти горючі гази, вартість яких менша за бензини та дизельні палива [1].

Відомо, що для повного та найбільш ефективного згорання, паливо повинно бути добре перемішане з повітрям. Найкраще змішуються з повітрям газоподібні палива. Така важлива властивість газів, як моторного палива, дає можливість їх широкого застосування в двигунах внутрішнього згорання і отримання, при цьому, техніко-економічного ефекту, так як газове паливо по своїм моторним якостям набагато краще, наприклад за дизельне [2].

Крім того, при переведенні двигунів на газ, покращуються їх екологічні показники. Так, наприклад робота газодизеля на стисненому природному газі характеризується меншою димністю відпрацьованих газів порівняно з дизелем у 2 – 4 рази [3].

Такі переваги газоподібних палив спонукають серйозно задуматись над перспективою їх використання для роботи автотракторних двигунів.

Доцільність застосування того чи іншого газу залежить від таких показників:

компонентного складу, октанового чи метанового числа, питомої теплоти згорання (об'ємної та масової), швидкості поширення полум'я, стехометричного складу суміші з повітрям, границями займистості по коефіцієнту надлишку повітря, критичної температури та тиску переходу газу в рідкий стан тощо. Крім того при виборі того чи іншого газу необхідно врахувати тип двигуна та його конструкцію.

При використанні скрапленого нафтового газу (СНГ) система живлення двигуна газом складається зі сталюого балона, розрахованого на тиск 1,67 МПа, двоступінчастого редуктора низького тиску з дозуючим економайзерним пристроєм, випаровувача, газового змішувача, електромагнітного клапана та фільтра, трубопроводів, манометрів, вентилів, клапанів тощо. По такій схемі працюють двигуни з зовнішнім сумішоутворенням та примусовим запаленням від електричної іскри; в основному це двигуни легкових та деяких вантажних автомобілів.

Існують також способи застосування СНГ для роботи газодизельних двигунів. Дослідження в цьому напрямку проводилися М. Д. Мамедовою [4] на судовому двигуні 3Д6 при зовнішньому та внутрішньому способах утворення суміші газу з повітрям.

У якості палива застосовувався скраплений газ, що складається з 50% пропану і 50% бутану. Переобладнання дизеля для роботи на скрапленому газі здійснювалося за допомогою серійних вузлів та деталей.

В результаті експериментів були зроблені висновки, що дослідний дизель забезпечує гарантовані заводом показники роботи як на дизельному так і на газодизельному режимах. Однак, при переведенні двигуна на

газодизельний процес при зовнішньому сумішоутворенні; витрата запальної дози рідкого палива складала не менше 25 – 30% загальної витрати.

При роботі двигуна з внутрішнім сумішоутворенням результати досліджень показали, що оптимальна кількість запальної дози дизельного палива, з точки зору рівномірності роботи двигуна, становить 15 – 20 %. Однак, щоб отримати характеристики двигуна, довелося збільшити запальну дозу до 40 %. Крім цього такий двигун потребує суттєвих змін в конструкції паливної апаратури високого тиску.

Враховуючи те, що дизель ЗД6 по своїм технічним характеристикам близький до автотракторних дизелів, цілком можлива робота цих двигунів по газодизельному циклу на СНГ.

Скраплений нафтовий газ відноситься до висококалорійних газів [5]; його нижча теплота згоряння складає 45670 кДж/кг. По відношенню до бензину марки АИ-93 (ГОСТ 2084-77) цей показник більший в 1,04 рази, а до дизельного палива марки "Л" (ГОСТ 305-82) – в 1,08 рази.

До цих газів відносяться вуглеводні, які переходять із газоподібного стану в рідкий при температурі навколишнього середовища й порівняно невеликих надлишкових тисках.

Необхідний надлишковий тиск для переходу газу в рідкий стан збільшується при підвищенні температури і становить для температури навколишнього середовища +45°C – 1,57 МПа.

Основними вуглеводневими сполуками, що входять до складу скраплених газів, є етан, етилен, пропан, пропилен, бутан і бутілени.

В основному СНГ складається з пропану та бутану. Завдяки ідентичності будови молекул пропану і бутану їхня суміш підкоряється правилу адитивності, тобто параметри суміші пропорційні параметрам окремих компонентів.

Об'єм бутан-пропанового палива при переході з газоподібного стану в рідкий зменшується приблизно в 300 раз і концентрація теплоти в одиниці об'єму скраплених газів лише на 35-50% менша, ніж у рідкого нафтового палива. Тому суттєвої різниці в транспортуванні та зберіганні скраплених газів порівняно з рідкими паливами немає, за виключенням того, що ємності та трубопроводи розраховані на тиск 1,67 МПа.

ГОСТ 27578-87 передбачає дві марки скраплених вуглеводневих газів: ПЕА – пропан-бутан автомобільний, застосовується в діапазоні температур навколишнього

середовища від +45 °С до – 20 °С; ПА – пропан автомобільний, застосовується в діапазоні температур навколишнього середовища від – 20 °С до – 35 °С; ЭПА – етан-пропан автомобільний, застосовується згідно ТУ 38.1011184-89 при більш низьких температурах.

За своїми фізико-хімічними та економічними показниками СНГ повинен відповідати вимогам, наведеним в табл. 1.

При використанні стисненого природного газу (СПГ) система живлення двигуна газом складається з товстостінних балонів високого тиску, що розраховані на тиск 20 МПа, підігрівника газу, редуктора високого тиску, двоступінчастого редуктора низького тиску, дозуючого та змішувального пристрою, електромагнітного клапана та фільтра, трубопроводів, манометрів, вентилів, клапанів тощо. По такій схемі працюють двигуни з зовнішнім сумішоутворенням та примусовим запаленням від електричної іскри; як правило це двигуни вантажних автомобілів та автобусів.

Стиснений природний газ відноситься до висококалорійних газів [5]; його нижча теплота згоряння складає 32600 кДж/кг. Відношення нижчої теплоти згоряння СПГ до цього ж показника для бензину марки АИ-93 (ГОСТ 2084-77) становить 0,74, а для дизельного палива марки "Л" (ГОСТ 305-82) – 0,75.

Це автомобільне паливо отримують шляхом стискання природного газу на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС) у газові акумулятори, з яких заправляють автомобілі. Запаси природного газу в світі досить великі. В залежності від родовища способи одержання природних газів можна розділити на власне природні, побіжні (нафтові) і газы газоконденсатних родовищ.

Власне природні газы одержують з свердловин газових родовищ. Вони мають високі показники по теплотворності і вмістові найбільш якісного компонента – метану. У них, як правило, відсутні шкідливі домішки.

Побіжні газы одержують при видобутку нафти. Ресурси їх досить значні, так як на одну тону видобутої нафти виділяється від 50 до 100 м<sup>3</sup> газу. Основним компонентом побіжних газів також є метан. Крім метану побіжні газы містять велику кількість важких вуглеводнів.

Газы газоконденсатних родовищ містять значно менше важких вуглеводнів, ніж побіжні, і за своїм складом наближаються до власне природних газів.

Метан, котрий є основним складовим компонентом природних газів, володіє всіма позитивними якостями газоподібних палив: великою теплотворністю, нормальною швидкістю згорання, тощо. Крім того, метан є нетоксичним газом.

Для одержання заданих параметрів газових двигунів кількість метану в стиснутих газах повинна бути регламентована в межах (95 ± 5) %.

При використанні газів, в двигунах із запаленням від електричної іскри важливу роль відіграє октанове число – показник, що характеризує стійкість палива до детонаційного згорання. Октанове число СПГ складає 105, що не порівнюється з жодним сортом бензину.

Однак при роботі двопаливних двигунів на СПГ, зменшується їх потужність на 16 – 20% порівняно з їх роботою на бензині. Це пояснюється вимогливістю газових двигунів до більших ступенів стиску [6] та меншим значенням нижчої теплоти згорання СПГ.

Найбільш доцільно застосовувати СПГ на двигунах із зовнішнім сумішоутворенням та запалюванням невеликої дози дизельного палива від стиску, яка в свою чергу запалює газоповітряну суміш (газодизелі); до них належать двигуни вантажних автомобілів,

автобусів та тракторів. Для забезпечення газодизельного процесу в автомобільних дизелях використовується схема роботи газобалонного автомобіля КамАЗ [6].

Розроблено також різні схеми системи живлення тракторних газодизелів на базі італійських тракторів [3]. Однак такі схеми потребують багато додаткових пристроїв, що ускладнює конструкцію не без того ускладненого двигуна.

Найбільш простою виявилась схема, що розроблена для двигуна КамАЗ 7409.10, по якій працюють також газодизельні двигуни ЯМЗ на автомобілях КраЗ і МАЗ, RABA-MAN – на автобусах "Ікарус" [7].

На основі досліджень літературних джерел [3, 4, 6, 7] та опираючись на досвід водіїв газобалонних автомобілів КамАЗ, пропонується застосувати дану схему для переобладнання тракторних двигунів сімейства Д-240, які служать енергетичними засобами на тракторах Мінковського тракторного заводу, тракторі Т-70С, на вантажних автомобілях заводу імені Лихачова і Горьківського автомобільного заводу та ін., і є найбільш розповсюдженими і універсальними дизелями середнього класу. Схема, переобладнаного тракторного дизеля представлена на рис 1.

Таблиця 1

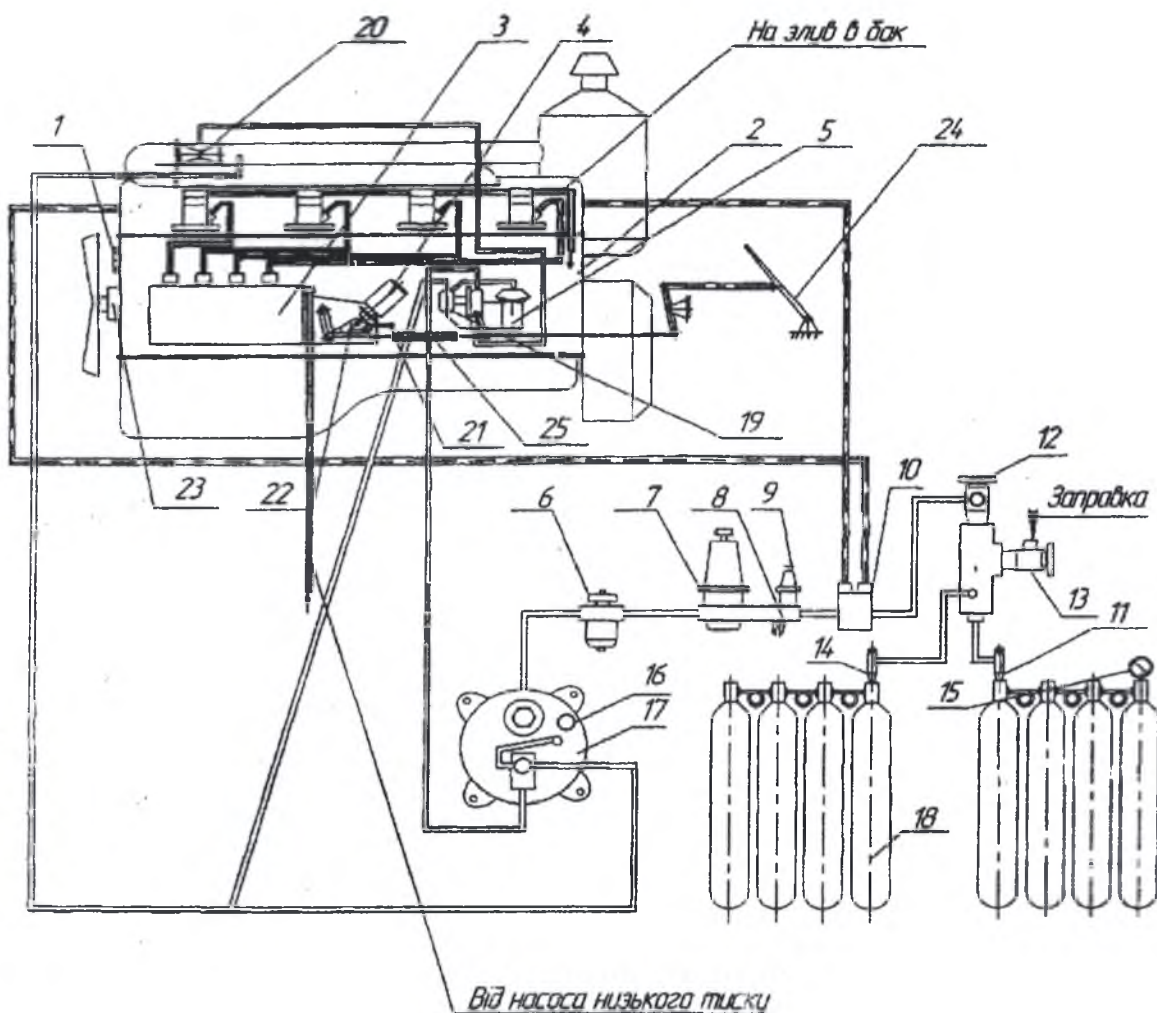
## Фізико-хімічні і експлуатаційні показники СНГ

Показник		Марка палива			Державний стандарт, що регламентує визначення показника
		ПБА	ПА	ЭПА	
Масові доли компонентів, %:	Сума метану та етану	Не нормується			10679 – 76
	Пропан	50±10	90±10	85±10	10679 – 76
	Сума вуглеводнів C4 H10 і вище	Не нормується			10679 – 76
Сума неграничних вуглеводнів, % не більше		6	6	6	10679 – 76
Об'ємна доля рідкого залишку при +40 °С, % не більше		Відсутня		Сліди	27578 – 87
Базова температура (°С) для регламентування максимального надлишкового тиску насичених парів 1,6 МПа		+45	+30	+ 5	27578 – 87
Те ж, для мінімального тиску 0,07 МПа		- 20	- 35	- 40	27578 – 87
Масова доля сірки та сірчистих сполук, %, не більше		0,01	0,01	0,01	22985 – 90
В тому числі сірководню, % не більше		0,003	0,003	0,003	22985 – 90
Вміст вільної води та лугів		Відсутні			22985 – 90

На тракторі тягового класу 1,4 можна розмістити вісім балонів, об'ємом 50 л: чотири на кабіні трактора і чотири збоку, на рівні моторної установки, що кріпляться за допомогою відкидних кронштейнів [3]. Балони 18 з'єднанні між собою товстостінними безшовними стінками і поділені на дві секції для збільшення надійності [8]. Кожна секція має свій витратний вентиль – 11 і 14 і приєднана до хрестовини, в якій розміщуються заправний 13 та загальний витратний 12 вентилі.

Підігрівання газу здійснюється за рахунок охолоджувальної рідини, що потрапляє з системи охолодження двигуна 1 в підігрівник 10.

Для зниження тиску газу від 20 МПа до атмосферного служать редуктори: високого тиску 7 та двоступінчастий низького тиску 17. Можливе застосування триступінчастого редуктора-підігрівника, який заміняє собою три вузли: редуктори високого та низького тиску і підігрівник.



**Рис.1. Схема системи живлення переобладнаного тракторного газодизеля**  
 1 — індуктивний датчик частоти обертання; 2 — двигун; 3 — паливний насос високого тиску; 4 — електромагніт; 5 — дозатор газу; 6 — електромагнітний клапан з фільтром; 7 — редуктор високого тиску; 8 — запобіжний клапан; 9 — сигналізатор аварійного вироблення газу; 10 — підігрівник газу; 11, 14 — витратні вентилі; 12 — магістральний вентиль; 13 — наповнювальний вентиль; 15 — манометр; 16 — датчик тиску; 17 — двоступінчастий редуктор низького тиску; 18 — балони; 19 — триходовий електромагнітний клапан; 20 — зчепувач; 21 — датчик блокування; 22 — рухомий упор, 23 — зубчастий вінець; 24 — акселератор; 25 — пружна тяга керування подачею палива

Дозування подачі газу здійснюється за допомогою дозатора 5 дросельного типу, керування яким здійснюється з кабіни оператора за допомогою акселератора 24.

Щоб забезпечити роботу двигуна в газодизельному режимі, насос високого тиску 3 для подачі рідкого палива обладнують механізмом встановлення запальної дози, який обмежує переміщення важеля керування регулятором і тим самим обмежує дозу рідкого палива. Механізм представляє собою електромагніт 4, рухомий упор 22 та датчик блокування 21.

Для узгодження керування насосом 3 та дозатором 5 в систему тяг керування подачею палива входить пружна тяга 25, пружина якої жорсткіша за пружину регулятора. Таким чином керування подачею рідкого та газоподібного палива здійснюється синхронно при режимах малих навантажень і асинхронно при збільшенні навантаження.

Така схема роботи дає можливість зберегти велику ступінь стиску без суттєвих змін в конструкції двигуна, та легко переходити з газодизельного режиму в дизельний і навпаки. При роботі такого двигуна в газодизельному режимі передбачається збереження енергетичних показників базового дизеля, встановлення величини запальної дози в межах 10 – 20% від витрати при роботі на номінальному режимі останнього [3, 6, 7]. Це дає можливість зекономити витрату дизельного палива до 80% за рахунок заміщення його газом, як більш дешевшим видом палива. Крім того, при роботі газодизеля покращуються екологічні показники транспортного засобу [3].

Основні показники СПГ визначені ГОСТ 27577-87 „Газ природний стиснений для газобалонних автомобілів” (див. табл. 2).

Згідно стандарту температура газу, що заправляється в балони автомобіля, повинна бути не більш + 40 °С. При температурі навколишнього середовища вище +35 °С температура газу, що заправляється, повинна бути не більше ніж на +5 °С вище температури повітря. Температуру СПГ при заправці встановлюють за вимогою споживачів. Надлишковий тиск СПГ у момент закінчення заправки автомобілів повинен бути у межах 19,0 – 19,6 МПа. Його визначають за допомогою манометрів, встановлених на газонаповнювальних колонках автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС).

Густина газу теж відіграє велику роль, так як від цього показника залежить місткість для зберігання палива на автомобілі. Густина СПГ

Таблиця 2  
Фізико-хімічні і експлуатаційні показники СПГ [7]

Показник	Значення	Держстандарт (ГОСТ), що регламентує метод визначення показника
Нижча теплота згоряння, МДж/мі	32,6 – 36,0	22667 – 82
Відносна густина до повітря, не менше	0,56 - 0,62	22667 – 82
Розрахункове октанове число, не менше	105	Немає
Концентрація сірководню, г/мі, не більше	0,02	22387.2 – 83
Концентрація меркаптанової сірки, г/мі, не більше	0,036	22387.2 – 83
Маса механічних домішок, мг/мі, не більше	1,0	22387.4 – 77
Сумарна об'ємна доля негорючих компонентів, %	7,0	23781 – 87
Вміст води, мг/мі, не більше	9,0	20060 – 83

при нормальних атмосферних умовах (при 0 °С та 760 мм рт. ст.) складає близько 0,800 кг/мі, що значно збільшує місткість для зберігання палива на транспортному засобі; навіть при тиску до 19,6 МПа в одному балоні може зберігатися в середньому лише 10 мі. Через високий тиск збільшується й маса балонів, що призводить до збільшення загальної маси транспортного засобу. Це один із суттєвих недоліків СПГ, який гальмує його використання на газобалонних тракторах і автомобілях. Так, наприклад газодизельному автомобілю КамАЗ-53208 для забезпечення пробігу 400 км необхідно 10 сталевих балонів масою до 60 кг кожний, що значно збільшує масу автомобіля.

Цей недолік можна усунути при глибокому охолодженні природного газу до температури – 161,3 °С. При цьому газ переходить в рідкий стан.



Скrapлений природний газ (СкПГ) зберігається на транспортному засобі в ізотермічних балонах. Система живлення двигуна СкПГ принципово нічим не відрізняється від системи живлення двигуна СНГ, окрім конструкції балона.

Гази, які необхідно стискати через їх невелику при нормальних атмосферних умовах густину, можуть бути при досить низьких температурах перетворені в рідину (криогенні гази) і застосовуватися на автомобільному транспорті в рідкому вигляді. Температури, при яких зазначені гази перетворюються в рідкий стан при атмосферному тиску, становлять: метан – 161,3 °, окис вуглецю – 191,5 °, водень – 252,78 °С і т.п. По мірі підвищення тиску температура скраплення газу підвищується.

Так як головною складовою природного газу є метан (який до того ж вимагає для перетворення в рідину найменшого охолодження), тільки він, як правило перетворюється в рідкий стан.

Нижче наведені основні фізичні характеристики рідкого метану (див. табл. 3).

Таблиця 3  
Фізичні властивості рідкого метану [9]

Показник	Значення
Питома вага в газоподібному стані при 15 °С і 760 мм рт. ст., кг/мі	0,68
Питома вага в рідкому стані при – 161,3 °С і 760 мм рт. ст., кг/л	0,416
Зменшення об'єму при скрапленні	у 613 разів
Температура кипіння при 760 мм рт. ст., °С	– 161,3
Критична температура, при якій метан не може вже залишатися в рідкому стані, °С	– 82,5
Тиск у балоні в момент переходу всього рідкого метану у газоподібний стан (критичний тиск), Мпа	4,4
Кількість теплоти, яка необхідна на випаровування 1 кг зрідженого метану при – 161,3 °С і 760 мм рт. ст., кДж/кг	523,7

У зв'язку з тим, що при температурах вище – 82,5° метан не може перебувати в рідкому стані, то зріджений метан варто зберігати в теплоізольованих балонах (типу термосів) з ефективною надійною теплоізоляцією. У закритій посудині тиск парів скрапленого метану буде також залежати від температури, як і тиск скраплених нафтових газів. У табл. 4

наведені значення тиску парів метану при різних температурах.

Інші властивості скрапленого метану зберігаються такими ж, як у стиснутого. Так як в процесі виробництва скрапленого метану всі сторонні домішки або виморожуються, або відокремлюються у вигляді газоподібного залишку, скраплений метан виходить хімічно чистим і є, таким чином ідеальним автотракторним паливом.

Таблиця 4  
Тиск парів рідкого метану при різних температурах [8]

Тиск, МПа	Температура, °С
0,10	– 161,3
0,20	– 152,8
0,29	– 146,8
0,39	– 142,1
0,49	– 138,3
0,59	– 134,8
0,69	– 131,8
0,78	– 129,2
0,88	– 126,7
9,81	– 124,4
1,18	– 120,4
1,37	– 116,7
1,57	– 113,5
1,77	– 110,5
19,62	– 107,7
24,52	– 101,8
29,43	– 96,5
34,33	– 91,8
39,24	– 87,7

Тому, найбільш перспективним видом газоподібних палив є СкПГ, так як він дає можливість використати всі переваги природного газу та усуває його головний недолік – низьку теплоту згорання віднесену до одиниці об'єму. Крім того, на думку К.Чирикова [10] вдосконалення способів зберігання та отримання СкПГ в перспективі буде лише перехідним етапом для переходу до скрапленого водню у якості палива для двигунів внутрішнього згорання.

При розгляді перспектив використання моторних газових палив, не залишається поза увагою біогаз. Біогаз складається в основному з метану (до 60-70%); а також з хімічно активних домішок: аміак, окис вуглецю, сірководень, які руйнують балони і газову апаратуру. Тому біогаз, призначений для використання в якості моторного палива,

потребує ретельного очищення від шкідливих речовин, наприклад за допомогою окислів заліза, що реагують із сірководнем, утворюючи суху сірку. Регенерація окислів заліза здійснюється за допомогою промивання їх повітрям. Для видалення вологи може застосовуватись абсорбційна сушилка. Описані вище заходи знижують рентабельність біогазу, особливо для використання його у якості моторного палива, так як затрати на його виробництво наприклад в країнах Західної Європи та США вищі вартості дизельного палива [3].

### Висновки

1. Горючі гази як моторне паливо, можуть складати альтернативу рідким нафтовим паливам по технічним, економічним, та екологічним показникам.

2. Для роботи газодизеля найбільш доцільно використовувати стиснений природний газ, який дає можливість заміщення дизельного палива до 80%, зберігаючи при цьому номінальні енергетичні, підвищуючи екологічні показники та здешевлюючи роботу двигуна за рахунок меншої вартості газоподібного палива порівняно з нафтовим.

3. При переобладнанні дизеля для роботи на СПГ частіше застосовується схема системи живлення газом із зовнішнім утворенням, яка не вимагає суттєвих змін в конструкції двигуна та дає змогу швидко переходити з дизельного режиму в газодизельний і навпаки.

4. Використання скрапленого природного газу є перспективним напрямком для розвитку газобалонних тракторів та автомобілів, завдяки тому, що цей газ поєднує в собі всі позитивні фізико-хімічні властивості природного газу та усуває основний його недолік – невелику теплоту згоряння в одиниці об'єму.

### Література

1. Иван Анисимов, Анатолий Яковенко, Валентина Макачук. Обоснование перевода тракторного парка на сжатый природный газ. V Міжнародна науково-технічна конференція "MOTROL'2005", Том 7. – Одеса: 2005, с. 11 – 12.
2. Равкинд А. А. Унифицированные газовые дизельные двигатели. – М.: Недра, 1967, с. 8.
3. Использование газа в качестве топлива для тракторов. Тракторы и двигатели, Серия 1, Вып. 1. – М.: 1989. – 27 с.
4. Мамедова М. Д. Работа дизеля на сжиженном газе. – М.: Машиностроение, 1980, с. 27 – 52.
5. Трушин В. М. Газовое оборудование и арматура для газобаллонных автомобилей (на сжатом природном газе). – Л.: Недра, 1990, с. 1– 26.
6. Трактори та автомобілі Ч. 1. Автотракторні двигуни: Навч. Посіб. / М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко, А. Т. Лебедев та ін.; За ред. Проф. А. Т. Лебедева. – К.: Вища шк., 2000, с. 167 – 175.
7. Газобаллонные автомобили: Справочник / А. И. Морев, В. И. Ерохов, Б. А. Бекетов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.
8. Газобаллонные автомобили: техническая эксплуатация / Кленников Е. В., Мартиров О. А., Крылов М. Ф. – М.: Транспорт, 1986. – 175 с.Г.
9. И. Самойль, И. И. Гольдблат. Газобаллонные автомобили: техническая эксплуатация – М.: Транспорт, 1986, с. 12 – 15.
10. К. Чириков. Двигатель, Двигатель, Двигатель. Завтра ДВС, а послезавтра?; Техника. Подписная научно-популярная серия. Практика восьмидесятых ..., Изобретения патенты, лицензии ..., Техника за рубежом. Знание новое в жизни, науке, технике. №2 1983, с. 46 – 52.

## ЗМІСТ

<i>Анісімов В. Ф., Рябошапка В. Б.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ ДЛЯ РОБОТИ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	1
<i>Берник П.С., Чубик Р.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНОЇ, ПЕРЕХІДНОЇ ТА ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЇ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН.....	8
<i>Біловод О.І.</i> ДО ПИТАННЯ ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАШИН І ШЛЯХІВ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ.....	12
<i>Гончаренко М. В., Пошивач Д. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПРУЖНИХ СИСТЕМ ПРИ СТОХАСТИЧНОМУ ПАРАМЕТРИЧНОМУ ВПЛИВІ.....	14
<i>Гончаренко С.М., Погорелова О.С., Постнікова Т.Г.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО РУХУ ВІБРОУДАРНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИЛИ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ.....	20
<i>Коц І. В., Петрусь В. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕМБРАННОГО НАСОСА З ГІДРАВЛІЧНИМ АВТОМАТОМ РЕВЕРСА.....	28
<i>Ланець О. С.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ВИСОКОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИМАСОВИХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ ТА СИНФАЗНИМ РУХОМ КОЛИВАЛЬНИХ МАС.....	34
<i>Насіковський А.Б., Коц І. В.</i> АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ.....	41
<i>Надутьий В.П., Ленда В.А., Андреев С.Ю., Макеєв С.Ю., Новиков Н.Н., Верба Ю.В.</i> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СКВАЖИННЫХ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ РАБОЧЕГО АГЕНТА.....	46
<i>Паламарчук І.П., Липовий І.Г.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРОПЛАНЕТАРНОЇ РІЗАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	50
<i>Пентюк Б.М.</i> ОЦІНКА ФІЗИЧНОЇ ПРИРОДИ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА УЩІЛЬНУВАНІ ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ.....	54
<i>Тараненко Ю.К.</i> РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ВІБРОЧАСТОТНОГО ДАТЧИКА ЩІЛЬНОСТІ РІДИНИ.....	61
<i>Тищенко Л.Н., Харченко С.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕПАРАЦИОННОЙ И ФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА РАЗРАБОТАННОЙ ПЫЛЕОСАДОЧНОЙ КАМЕРОЙ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЗЕРНОВЫХ СЕПАРАТОРОВ.....	67
<i>Франчук В.П., Федоскин В.А., Плахотник В.В.</i> ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОТРАНСПОРТЕРА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	75
<i>Франчук В.П., Федоскина Е.В.</i> ВЛИЯНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ НА ДИНАМИКУ ВИБРАЦИОННОЙ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С НАКЛОННОЙ КАМЕРОЙ ДРОБЛЕНИЯ.....	78
<i>Цуркан О.В., Герасимов О.С.</i> МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРИГОТУВАННЯ СИПУЧИХ КОРМІВ.....	82
65 лет профессору Алимову Валерию Ивановичу.....	85
До відома авторів.....	86
Відомості про авторів.....	87