

**Шифр «Економія»**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ  
ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ  
АВТОМОБІЛЬНОГО ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
НА АЛЬТЕРНАТИВНІ ГАЗОВІ ПАЛИВА**

## ЗМІСТ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                 | 3  |
| 1. Аналіз літературних джерел щодо конвертації на газове<br>паливо дизельних двигунів..... | 5  |
| 2. Шляхи переведення дизельних двигунів на газ.....                                        | 13 |
| 3. Розрахунок економічного ефекту переведення дизельного<br>двигуна на газ.....            | 19 |
| Висновки.....                                                                              | 25 |
| Список літератури.....                                                                     | 26 |

## ВСТУП

Велика частина силових приводів нафтогазового технологічного транспорту використовують двигуни з дизельними системами живлення. Дизельні двигуни технологічного транспорту нафтогазової галузі – це двигуни з потужністю у сотні кВт з питомою ефективною витратою дизельного палива понад 300 г/(кВт · год). Зазначені показники вимагають при роботі двигунів технологічного транспорту в нафтогазовій галузі великих витрат дизельного палива, вартість якого має тенденцію до постійного зростання. Також зазначені малофорсовані силові приводи нафтогазового технологічного транспорту мають високий залишковий ресурс і до списання будуть працювати ще не менше 10-15 років. Тому очевидною є економічна доцільність переходу для існуючих силових приводів технологічного транспорту нафтогазової галузі на дешевші альтернативні види палив. Серед них на особливу увагу заслуговує переведення експлуатованих в даний момент дизельних силових приводів технологічного транспорту нафтогазової галузі на газові палива, які є значно більш дешевою альтернативою дизельного палива.

Конвертація дизельних двигунів на газомоторне паливо можлива за різними схемами. В даний час вже є добре відомою та достатньо відпрацьованою технологія переведення дизелів на газодизельний режим, коли одночасно використовується подача як газу, так і дизпалива. Ця технологія разом з певними перевагами має і багато недоліків, один з головних – залишається необхідність подачі дизельного палива, що погіршує економічну доцільність переобладнання. Як показує практика, витрата дизельного палива в газодизельних двигунах є досить високою та для деяких режимів досягає 50 %.

Другий, поки що мало апробований варіант конвертації дизельних двигунів на газомоторне паливо – це чисто газовий або моногазовий режим, де конвертовані дизельні двигуни додатково обладнуються системами з іскровим запалюванням. Економічні переваги переведення дизельних силових приводів

нафтогазового технологічного транспорту на моногазовий режим пов'язані з наступним:

- моногазове паливо, в середньому, на 30-40 % дешевше за дизельне паливо, а дизельне паливо не подається взагалі;
- ресурс циліндропоршневої групи конвертованих двигунів, за рахунок більш плавного зростання тисків згорання, збільшується в 1,3-1,5 рази;
- приблизно вдвічі зростає періодичність заміни моторних олив та масляних фільтрів моногазових двигунів, за рахунок зниження нагароутворення, відсутності процесу змивання оливної плівки та зменшення розрідження моторної оливи;

Тому конвертація дизельних силових приводів нафтогазового технологічного транспорту, які зараз знаходяться в експлуатації, на моногазові двигуни з точки зору зниження витрат на паливно-мастильні матеріали та капітальний ремонт дизельних двигунів є актуальним завданням.

## **1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАКОРДОННИХ І ВІТЧИЗНЯНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Про суттєві перспективи переобладнання дизельних двигунів у газові з іскровим запалюванням свідчить створення моногазових двигунів провідними світовими виробниками автомобільних двигунів та автомобілів, які вже широко використовуються на автомобільному транспорті. Причому переобладнання дизельних двигунів здійснюється як на зріджену пропан-бутанову суміш (рис.1), так і на стиснутий або зріджений природний газ (рис. 2) [1].



**Рисунок 1 - Freightliner 120 на пропан-бутане**



**Рисунок 2 – Автомобіль Volvo-460 на зрідженому метані**

В зазначеному напрямку проводять роботи такі відомі світові концерни як Freightliner, Cammins, Volvo, MAN, Mercedes, Scania, Iveco та інші, які вже розробили для нової комерційної техніки на основі дизельних двигунів газові з іскровим запалюванням.

Більш детально зупинимось на аналогічних роботах з переобладнання дизельних двигунів у газові, які проводились в країнах пострадянського простору.

Одним з найбільш потужних автовиробників, де здійснюється конвертація дизельних двигунів є автозавод КамАЗ, де вже до десятка моделей автомобілів пропонуються для роботи на газомоторному паливі. Наприклад, автозаводом пропонується споживачам автомобіль КамАЗ-65115-32 (рис. 3), дизельний двигун якого конвертований на стиснутий природний газ [2].



**Рисунок 3 - Автомобіль КамАЗ-65115-32**

У конвертованому двигуні демонтовані дизельні форсунки та встановлені свічки запалювання з індивідуальними котушками, а камера згорання в поршні розточена так, щоб ступінь стиску двигуна знизилась з 17,0 до 12,0. У впускній системі двигуна встановлений газоповітряний змішувач та два дозатора подачі газоповітряної суміші на кожний ряд циліндрів. Паливна система автомобіля

КамАЗ-65115-32 складається з балонів стиснутого газу в кількості 9 штук, загальний об'єм балонів складає  $182 \text{ м}^3$  стиснутого природного газу при максимальному тиску 20 МПа. Потужність конвертованого двигуна залишилось такою ж самою, як і у базового дизельного двигуна – 221 кВт (300 к.с.)

Цікавою є тенденція обладнання автобусів дизельними двигунами конвертованими на газ. Наприклад, тільки Нефтекамський автомобільний завод на даний момент випускає **сім!** моделей автобусів, які працюють на газомоторному паливі [3]. В гамі продукції Нефтекамського автомобільного заводу є міські, приміські і навіть шкільні автобуси. Для прикладу розглянемо модель автобуса НЕФА3-5299-0000040-51 (рис. 4). Пасажиромісткість автобуса – 116 чол., повна маса – 18800 кг. Двигун встановлюється виробництва Мерседес-Бенц, моделі М906 LAG.EEV/1, робочим об'ємом – 6,8 л, потужністю – 205 кВт. Паливо у автобуса НЕФА3-5299-0000040-51 – стиснутий природний газ.



**Рисунок 4 - Автобус НЕФА3-5299-0000040-51**

Досить нетрадиційну концепцію LNG, тобто кріогенно-зріджений метан вирішили впроваджувати на Мінському автомобільному заводі [4] на шасі з мотором ЯМЗ-536 (рис.5). Головна перевага перед стиснутим метаном у



кріогенно-зрідженого – більший запас ходу. Середня витрата палива автомобіля – 35 літрів на 100 км, що забезпечує запас ходу в 1440 км. Крім того, кріогенно-зріджений метан дещо дешевше за стиснутий природний газ.



**Рисунок 5 - Газобалонна система автомобіля МАЗ-536  
на зрідженому метані**

Бак для кріогенно-зрідженого метану об'ємом 450 літрів та вміщує паливо, кількість якого еквівалентна 308 кубічним метрам стиснутого природного газу. Інакше кажучи, для стиснутого природного газу це був би тридцять один 50-



літровий балон, маса яких складали би близько двох тонн. Виграш в цій масі дає прибавку в вантажопідйомності автомобіля і одночасно суттєво спрощує компоновку газової апаратури. Основна проблема кріогенно-зрідженого метану: зріджений газ зберігається кріогенним способом при температурі близько  $-190^{\circ}\text{C}$ . Бак може витримати ці параметри за температури навколишнього середовища плюс  $20-40^{\circ}\text{C}$  до двох тижнів, після чого аварійні клапани почнуть скидання тиску.

Ще однією цікавою тенденцією є обладнання спецтехніки дизельними двигунами конвертованими на газ.

Наприклад, АТ „Клинцевській автокрановий завод” випускає модель автокрана КС-55713-5К-1 (рис. 6) вантажопідйомністю 25 тон на стиснутому метані [5]. За інформацією від заводу-виробника витрати на паливо знижуються на 70 % при забезпеченні потужності конвертованого двигуна на тому ж рівні, як і у базового дизеля. Згідно технічної документації АТ „Клинцевській автокрановий завод”, крім зменшення витрат на паливно-мастильні матеріали, також додатково знижуються викиди шкідливих речовин більше, як в два рази. Загальний об’єм встановлених балонів складає 1040 літрів ( $9 \cdot 80\text{л} + 2 \cdot 160\text{л}$ ), що дозволяє закачувати в систему живлення двигуна  $208\text{ м}^3$  метану.

Досить амбітну програму випуску спецмашин реалізовує широко відомий виробник спецтехніки Арзамаській завод комунального машинобудування [6], де зараз споживачам пропонується три моделі автомобілів з спеціальними кузовами, які призначені для роботи на стисненому природному газі. Наприклад, заводом випускається модель КО-829БГ для обслуговування та ремонту автомобільних доріг (рис. 7).

Паливна система автомобіля КО-829БГ складається з балонів для стиснутого газу в кількості 13 штук, які змонтовані в спеціальному каркасі за кабіною

автомобіля. Загальний об'єм балонів складає 1120 літрів або 224 м<sup>3</sup> стиснутого природного газу (при тиску 20 МПа).



**Рисунок 6 - Автокран моделі КС-55713-5К-1  
з двигуном на стиснутому метані**

Двигун – конвертований на метан сучасний дизель під екологічні норми Євро-4 з турбонаддувом повітря та охолоджувачем надувного повітря

(інтеркулером) робочим об'ємом 11,76 літра та максимальною потужністю 221 кВт (300 к.с.)

Є досвід використання конвертованих дизельних двигунів в газіві, що встановлені на спецтехніку і в Україні. Наприклад, на КрАЗе випускається модель КрАЗ-5401 з двигуном Mercedes-Benz M906LAG (рис. 8), що працює на метані, потужністю 280 к.с. [7].



**Рисунок 7 - Спецавтомобіль КО-829БГ**



**Рисунок 8 - Спецавтомобіль КрАЗ-5401**

Паливна система автомобіля КрАЗ-5401 складається з балонів для стиснутого газу в кількості 9 штук, загальний об'єм яких складає 1155 літрів

стиснутого природного газу за максимального тиску 20 МПа. Були виконані промислові випробовування автомобіля та встановлено, що витрата метану, в середньому, для автомобіля КрАЗ-5401 складає 35 м<sup>3</sup> газу. Витрата дизпалива в тих же умовах для аналогічного автомобіля КрАЗ-Н12.2 на дизпаливі, склала, в середньому, 32 літра.

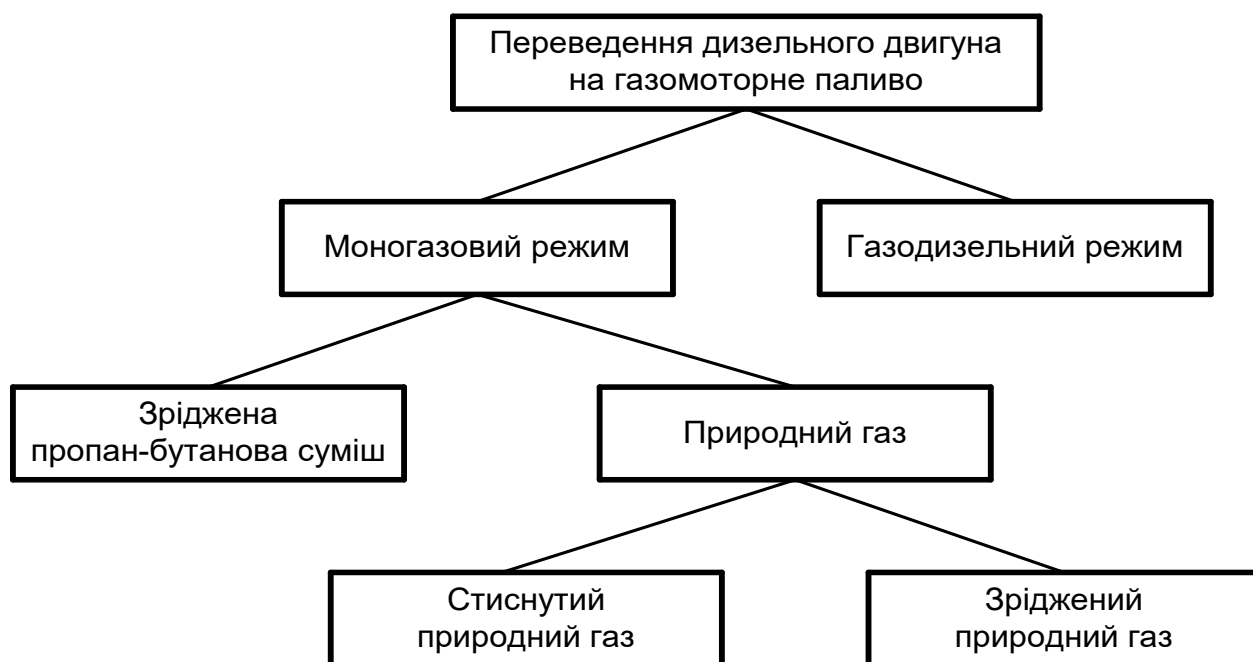
## 2. ШЛЯХИ ПЕРЕВЕДЕННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА ГАЗ

Дизельний двигун можна переобладнати на газодизельний або моногазовий режими. В першому випадку до газового палива подається запальна доза дизельного палива, яка виробниками газодизельних систем позиціонується в межах 25-40 %, а в реальних умовах експлуатації досягає і 50 %. Очевидно, що з врахуванням необхідності подачі дорогого дизельного палива більш вигідною альтернативою газодизельного режиму є подавання тільки чистого газу або моногазовий режим. Варіанти переобладнання дизельних двигунів в газіві зображені на рис. 9.

Переобладнання на моногазовий режим дизельних двигунів автомобілів та спецтехніки може здійснюватись на стиснутий або зріджений природний газ або на зріджену пропан-бутанову суміш. Може використовуватись вакуумна (механічна) система подачі газомоторного палива або електронна. Може встановлюватись газова апаратура першого, другого, третього, четвертого або п'ятого покоління.

Дизельний двигун за своєю конструкцією може бути переобладнаний для роботи з газобалонним обладнанням як на метані (на стиснутий або зріджений), так і на пропан-бутані (рис. 9). На сьогоднішній день вартість пропан-бутанової суміші на заправках України є навіть нижчою за метан.

Точна вартість переобладнання та терміну окупності залежить від динаміки цін на паливо, конструктивних особливостей та режимів роботи конвертованого двигуна, виду та моделі газобалонного обладнання, об'єму і кількості газових балонів, інших чинників і може змінюватись в широких межах. Вивчення досвіду зарубіжних і вітчизняних розробок свідчить, що дизельні двигуни, які конвертовані в газіві, мають високі тягово-динамічні та економічні характеристики, а за показниками екологічної безпеки істотно перевершують базові дизельні двигуни.



**Рисунок 9 - Напрямки конвертації дизеля на газ**

Конвертація дизельного двигуна в моногазовий, на відміну від переобладнання бензинових двигунів, вимагає серйозних змін в конструкції базового дизеля.

Оскільки дизельний двигун є двигуном, займання палива в якому здійснюється при нагріванні від стиснення робочої паливної суміші, то стандартний дизельний двигун не може працювати на газовому паливі, так як газомоторне паливо має істотно більш високу температуру займання у порівнянні з дизельним паливом (наприклад, дизпаливо – 300-330 °С, пропан – 466 °С), яка не може бути досягнута при ступенях стиску, що використовуються в сучасних автомобільних дизельних двигунах.

Другою причиною, за якою дизельний двигун не зможе працювати на газовому паливі є явище детонації – це вибухоподібне горіння палива, яке виникає при високій степені стиснення. Для дизельних двигунів використовуються ступінь

стиснення паливо-повітряної суміші від 14 до 22, а газовий двигун повинен мати ступінь стиску до від 12 до 13.

Необхідно відмітити, що зменшення степені стиску у переобладнаних дизельних двигунах, що переобладнувались в газові, було виконано, як правило, за рахунок розточування камери згоряння в поршні базового дизеля. Однак експериментальні дослідження показують, що навіть незначні зміни форми камер згоряння в поршнях призводять до значних змін у процесах теплогазомасообміну та згорання. Тому оптимізація камери згоряння автомобільного конвертованого дизельного двигуна потребує серйозних розрахункових і експериментальних робіт для забезпечення високих потужнісних, економічних та екологічних показників двигуна.

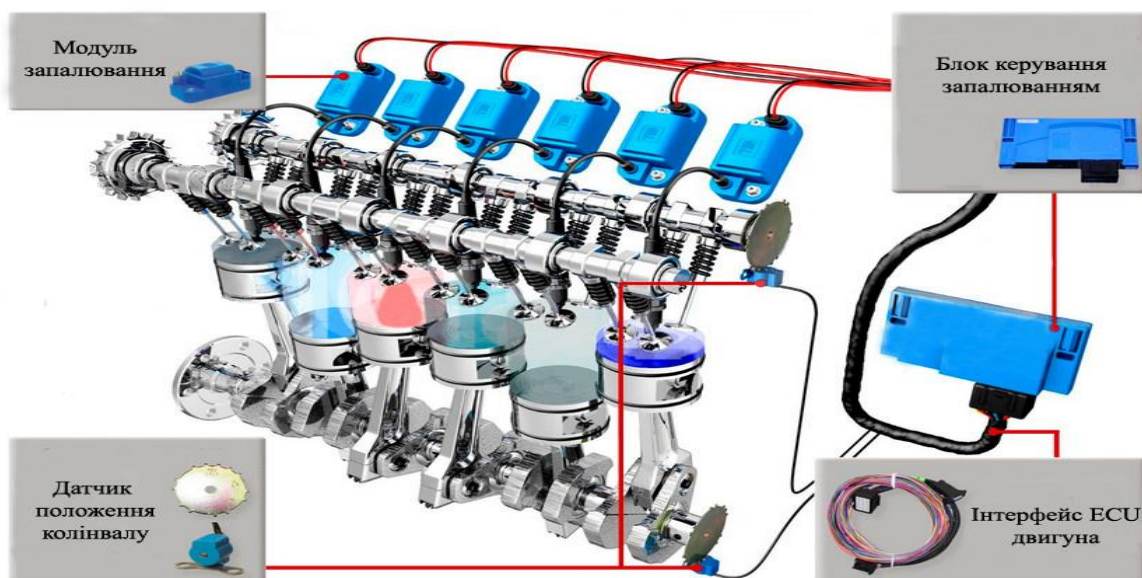
В загальному для конвертації автомобільних дизельних двигунів на газове паливо необхідно виконати наступне:

1. змонтувати систему запалення;
2. виконати настройку системи управління двигуном;
3. зменшити ступінь стиснення базового дизельного двигуна;
4. встановити газобалонну апаратуру.

Реалізація першого та другого пунктів конвертації дизельних двигунів автомобілів на газ потребує найбільш серйозних зусиль. Кафедрою автомобільного транспорту ІФНТУНГ пропонується обладнувати дизельні двигуни сучасними електронними цифровими системами запалення власної розробки та виробництва (рис. 10) та виконувати настройку системи управління двигуном.

Для довготривалої експлуатації двигуна ступінь стиснення треба знижувати до 12-13 за рахунок збільшення внутрішнього об'єму камери згоряння. Це реалізовується шляхом розточки днища поршнів або під головку блока циліндрів додатково встановлюються прокладки.





**Рисунок 10 – Загальна будова системи запалення для конвертації дизельного двигуна**

Демонтаж головки блока та встановлення додаткових прокладок під головку блока циліндрів є порівняно не складною операцією і може виконуватись, наприклад, на АТП або СТО. При розрахунках третього пункту конвертації дизельних двигунів автомобілів на газ використовувалась середня вартість таких робіт по станціях технічного обслуговування автомобілів України.

Газобалонне обладнання пропонується та необхідно монтувати на профільних сертифікованих підприємствах з метою максимального забезпечення вимог техніки безпеки. Вартість моделей газобалонного балонного обладнання та його монтажу бралась як середня по станціях технічного обслуговування і монтажу ГБО України.

На даний момент кафедрою автомобільного транспорту в університеті було переобладнано для роботи на зрідженій пропан-бутановій суміші дизельний двигун робочим об'ємом 1,7 л моделі X17DTL автомобіля Опель Астра 2000 р.в.

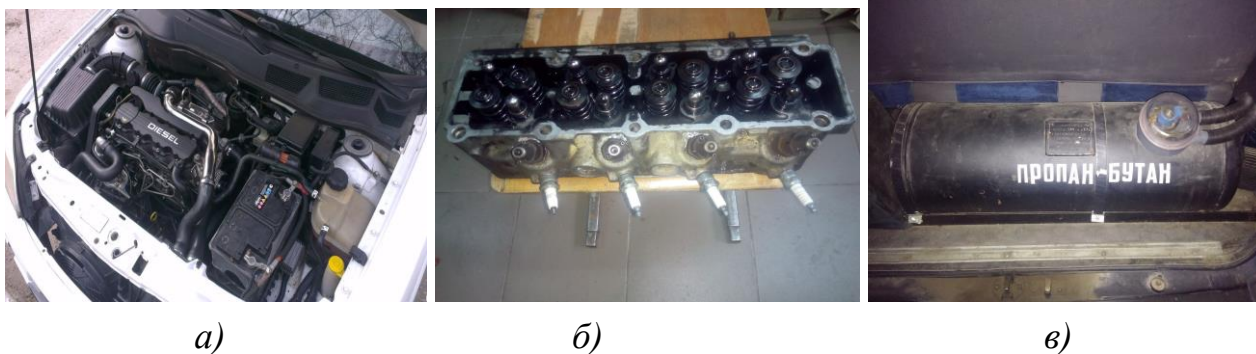
Коротка технічна характеристика переобладнаного дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Коротка технічна характеристика переобладнаного дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра

| №<br>п/п | Назва параметра                                                     | Значення                                                                             |
|----------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Базовий двигун                                                      | Дизельний, з електронною системою впорскування Bosch EDC 15M                         |
| 2        | Конвертований двигун                                                | Газовий (пропан-бутанова суміш), з системою електронного управління розробки ІФНТУНГ |
| 3        | Робочий об'єм двигуна, см <sup>3</sup>                              | 1669                                                                                 |
| 4        | Номінальна потужність, кВт (к.с.)                                   | 50 (68)                                                                              |
| 5        | Частота обертання колінвала при експлуатаційній потужності, об./хв. | 4500                                                                                 |
| 6        | Степінь стиску базового дизельного двигуна                          | 22,0                                                                                 |
| 7        | Степінь стиску конвертованого газового двигуна                      | 13,1                                                                                 |

Для переведення дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра (рис. 11) на газ було виконано наступне: знижена степінь стиску двигуна; змонтовано пропан-бутанову газову апаратуру італійського виробництва; встановлена оригінальна мікропроцесорна DIS-система запалення розробки

кафедри автомобільного транспорту; оптимізована робота системи управління двигуном.



**Рисунок 11 - Дизельний легковий автомобіль Опель Астра конвертований на пропан-бутанову суміш: а - дизельний двигун моделі X17DTL; б – головка блока переобладнаного двигуна; в – газобалонна апаратура**

### **3. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ПЕРЕВЕДЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА НА ГАЗ**

Економічний ефект будемо розраховувати для технологічної установки для буріння та ремонту свердловин на базі автомобіля КрАЗ-6446 з ЯМЗ-238ФМ потужністю 320 к.с. (235 кВт).

Економія досягається в результаті використання газового палива, як різниця між витратами на одну мотогодину або на сто кілометрів пробігу на дизельне паливо до конвертації двигуна і витратами на газове паливо після конвертації з врахуванням витрат на газобалонне обладнання та монтаж. Переобладнання можливе як на метан, так і пропан-бутан в залежності від побажань замовника. В залежності від конструктивних особливостей конвертованого двигуна можливе залишення штатної дизельної системи живлення, яка буде використовуватись як резервна у випадку проблем з постачанням газу (в дизельному режимі двигун буде працювати з нижчою потужністю у зв'язку зі зниженням ступеня стиску конвертованого двигуна).

У зв'язку з нестабільним курсом національної грошової одиниці розрахунки окупності будемо проводити в доларах США за курсом Національного банку України на 01.06.2019 р. (26,80 грн./1 долар США).

Точна вартість переобладнання та терміну окупності розраховується у залежності від динаміки цін на паливо, конструктивних особливостей та режимів роботи конвертованого двигуна, виду газового палива, моделі газобалонного обладнання, об'єму і кількості газових балонів, інших чинників і може змінюватись в широких межах. Так, наприклад, вартість газобалонного обладнання першого покоління для 8-циліндрового двигуна починається від 300 доларів США, а четвертого покоління для того ж двигуна – від 900 доларів США.

Середня вартість одного літра дизельного палива на автозаправках України станом на 01.06.2019 р. року була 0,900 доларів США (24 грн. 13 коп.), вартість

одного кубічного метра метану – 0,548 доларів США (14 грн. 68 коп.) або 60,8 % від вартості дизпалива, вартість пропан-бутанової суміші – 0,493 доларів США (13 грн. 22 коп.) або 54,8 % від вартості дизпалива. Тому, з врахуванням ряду інших переваг пропан-бутанових газових систем, переобладнання дизельних двигунів нафтогазової галузі на даний момент представляється більш доцільним на пропан-бутанову суміш.

Для прикладу проведемо розрахунок окупності для підйомної установки УПА-60/80 з максимальним навантаженням на гаку 800 кН на шасі автомобіля КрАЗ-6446 з ЯМЗ-238ФМ. Згідно паспортних даних установки, вона споживає  $0,05 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \cdot \text{кН}$ . Прийmemo, що підйомна установка УПА-60/80 буде експлуатуватись при виконанні технологічних процесів з середнім навантаженням на гаку 600 кН, тоді витрата палива складе  $30 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$ . При середній густині дизельного палива  $835 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  витрата дизельного палива в літрах складе  $35,92 \frac{\text{л}}{\text{год}}$ . Заокруглимо цю цифру до  $36 \frac{\text{л}}{\text{год}}$ .

Одним з основних чинників, які впливають на економічну доцільність переобладнання дизельних двигунів нафтогазової галузі при їхньому переведенні на газомоторні палива є співвідношення між витратою дизельного та газового палив. Зазначене співвідношення між витратою дизельного та газомоторного палив залежить, в основному, від виду газового палива (стиснений природний газ або зріджена пропан-бутанова суміш) та покоління газобалонної апаратури. Тому проведений аналіз відносних витрат газомоторних палив, усереднені результати якого наведені в таблиці 2. В зазначеній таблиці не наводяться дані по третьому та п'ятому поколіннях газобалонної апаратури. Це пов'язано з тим, що в даний момент третє покоління газобалонної апаратури вже фактично не встановлюється фірмами-установниками газобалонного обладнання, а п'яте покоління

газобалонної апаратури ще на погляд автору є не достатньо доведеним газобалонним обладнанням, а тому автор вважає монтаж п'ятого покоління газобалонної апаратури на сучасному етапі не виправданим з точки зору надійності.

**Таблиця 2 – Середня вартість палива на автозаправках України станом на 01.06.2019 та співвідношення між витратою дизельного та газомоторних палив**

| Функціонування переобладнаного двигуна на видах палива | Відносна витрата палива, % | Середня вартість палива на автозаправках станом 01.06.2019 р., доларів США/грн. (%) | Відносна вартість витраченого після конвертації газу по відношенню до вартості дизпалива, % |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| На дизпаливі до конвертації                            | 100                        | 0,900 / 24,13 (100)                                                                 | 100                                                                                         |
| На метані після конвертації, ГБО 1,2 покоління         | 105-110                    | 0,548 / 14,68 (60,8)                                                                | 63,84-66,88                                                                                 |
| На метані після конвертації, ГБО 4 покоління           | 100-105                    |                                                                                     | 60,8-63,84                                                                                  |
| На пропан-бутані після конвертації, ГБО 1,2 покоління  | 120-130                    | 0,493 / 13,22 (54,8)                                                                | 65,76-71,24                                                                                 |
| На пропан-бутані після конвертації, ГБО 4 покоління    | 110-120                    |                                                                                     | 60,28-65,76                                                                                 |

Приймаємо, що конвертацію будемо здійснювати на пропан-бутанову газобалонну установку першого покоління. У середньому, згідно таблиці 2 приймаємо, що дизельний двигун ЯМЗ-238ФМ при роботі на пропан-бутановій зрідженій суміші буде використовувати газомоторне паливо з розрахунку на один літр споживання дизельного палива в дизельному режимі до 1,25 літра пропан-бутанової суміші в газомоторному режимі.

Згідно проведених розрахунків для підйомної установки УПА-60/80 на шасі автомобіля КрАЗ-6446 з ЯМЗ-238ФМ з середнім навантаженням на гаку 600 кН витрата дизельного палива становить, в середньому,  $36 \frac{\text{л}}{\text{год}}$ . Тоді після конвертації дизельного двигуна для роботи на пропан-бутановій суміші витрата газового палива складе  $45 \frac{\text{л}}{\text{год}}$ .

При ціні одного літра дизельного палива (табл. 2) 0,90 доларів США (24,13 грн.), витрати на дизельне паливо на одну мотогодину роботи підйомної установки УПА-60/80 до конвертації складуть 32,42 доларів США (869 грн.), а після конвертації, при вартості одного літра пропану 0,493 доларів США (13,22 грн.), витрати на паливо на одну мотогодину роботи підйомної установки УПА-60/80 будуть становити 22,20 доларів США (595 грн.). Економія складе 10,22 доларів США на одну мотогодину роботи технологічної установки УПА-60/80 або 31,5 %.

Орієнтовна собівартість переобладнання наведена в табл. 3. В розрахунку для восьмициліндрового двигуна ЯМЗ для монтажу обране газобалонне обладнання четвертого покоління італійського виробництва, як оптимальне з точки зору співвідношення ціна-якість.

Час роботи до окупності технологічної установки на шасі автомобіля КрАЗ із двигуном ЯМЗ, згідно проведених розрахунків та собівартості конвертації при використанні газобалонного обладнання четвертого покоління (табл. 3), становить  $(1500+900)/10,22=234$  мотогодини або чотири-шість місяців експлуатації

технологічної установки УПА-60/80 з врахуванням часу на технічне обслуговування та ремонт установки.

**Таблиця 3 – Середня собівартість переобладнання дизельного двигуна в моногазовий**

| Назва обладнання та робіт                                                                                                                                     | Вартість,<br>дол. США | Примітка                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Газобалонне обладнання четвертого покоління, для восьмициліндрового двигуна, виробник – Італія, обладнання + монтаж                                           | 900                   | Газобалонне обладнання другого покоління, для чотирьохциліндрового двигуна італійського виробництва – 300 доларів США                                                     |
| Комплектуючі електронної цифрової системи запалювання для восьмициліндрового двигуна, монтаж системи запалення та дефорсування для восьмициліндрового двигуна | 1500                  | Комплектуючі системи запалення для чотирьохциліндрового двигуна, монтаж системи запалення та дефорсування для чотирьохциліндрового двигуна, орієнтовно – 1000 доларів США |

При розрахунках економічної ефективності не враховувалась додаткова економія від збільшення ресурсу циліндропоршневої групи та зменшення витрат на мастильні матеріали.

Ресурс конвертованого двигуна дещо збільшиться оскільки:

- зростання тиску в циліндрах двигуна при згоранні газоповітряної суміші відбувається більш плавно, ніж для дизельного палива;
- ступінь стиснення газового двигуна менше, ніж у дизельного;



- газ майже не містить, на відміну від дизельного палива, сторонніх домішок.

Витрати на мастильні матеріали дещо зменшаться, оскільки газові двигуна менш вимогливі до якості моторних олив та допускають збільшені інтервали заміни. Крім того, якщо є можливість, бажано використовувати спеціальні моторні оливи типу Лукойл Еффорсе 4004 або ShellMysella LA SAE 40. Це не обов'язково, але з ними інтервали заміни моторних олив можна ще додатково збільшити.

Крім цього, необхідно зупинитись ще на деяких додаткових перевагах конвертованих на газове паливодизельних двигунах:

- високий ресурс вихідного дизельного двигуна, призначеного для роботи з ступенем стиснення 14-22 і високе октанове число газового палива дозволяють використовувати ступінь стиснення конвертованого двигуна – 12-13, а тому переобладнані на газ дизельні двигуни дозволяють зберегти заводську потужність, а в деяких випадках її можна і дещо збільшити;

- максимальна величина крутного моменту не зміниться і навіть може бути трохи збільшена. При цьому точка досягнення максимального крутного моменту зміститься у бік більш високих оборотів колінчастого вала двигуна;

- рівень шуму конвертованого дизельного двигуна знизиться на 10-15 Дб.

## ВИСНОВКИ

З наведених розрахунків можна зробити ряд наступних висновків.

З врахуванням динаміки цін в Україні на стиснутий природний газ та зріджений пропан-бутан, зниження тривалості роботи техніки на одній заправці метаном у порівнянні з пропан-бутаном та інших чинників більш оптимальним для України, на думку автора, є конвертація дизельних двигунів на зріджену пропан-бутанову суміш.

При конвертації дизельних двигунів автомобільного та технологічного транспорту на газомоторне паливо можна знизити витрати на паливно-мастильні матеріали, в середньому, на 30-40 %.

Термін окупності при переобладнанні дизельних двигунів автомобільного та технологічного транспорту на газомоторне паливо буде складати близько чотирьох-шести місяців з врахуванням витрат часу на технічне обслуговування та ремонт.

При розрахунках економічної ефективності не враховувалась додаткова економія від збільшення ресурсу циліндропоршневої групи та зменшення витрат на мастильні матеріали, тому реальний термін окупності при переобладнанні дизельних двигунів автомобільного та технологічного транспорту буде ще дещо менший.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марков В.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В.А Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов. – М.: Изд-во «Легион-Автодата». – 2008. – 464 с.
2. Автомобиль-самосвал КамАЗ-65115-32 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <http://kamaz33.ru/motor-vehicle-kamaz/gazomotornye-avtomobili/avtomobili-samosvaly-na-metane/samosval-kamaz-65115-32.html>
3. Каталог продукции ООО „НЕФАЗ” [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <http://www.nefaz.ru/products/buses/>
4. Выставка „Газ на транспорте-2015” (GasSuf-2015) [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <http://rusautomobile.ru/2015/10/tri-v-odnom/>
5. Автокран КС-55713-5К-1 на метане. [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: [http://www.oaokaz.ru/catalog/Kranyi\\_na\\_gazomotornom\\_toplive\\_copy/KS-55713-5K-1\\_Na\\_metane/](http://www.oaokaz.ru/catalog/Kranyi_na_gazomotornom_toplive_copy/KS-55713-5K-1_Na_metane/)
6. Завод Коммаш. Комбинированная дорожная машина КО-829БГ [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: [https://www.kommash.ru/ru/catalogue/production/na\\_metane\\_kdm/ko\\_829bg/](https://www.kommash.ru/ru/catalogue/production/na_metane_kdm/ko_829bg/)
7. Автомобиль моделі КрАЗ-5401 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <https://mpark.pro/specialization/258-kraz-5401-skip-lift.html>