3. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. Second Edition. McGraw-Hill Education: New York, 2018. 1056 p.

4. Merker G. P. Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise, Simulation, Messtechnik. – Wiesbaden (Deutschland): Springer Fachmedien, 2014. 1132 s.

5. Pischinger R. Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine. Wien: Springer, 2009. 475 s.

6. Єрощенков С.А. Вплив коефіцієнта надлишку повітря та ступеня стиснення на термічний ККД двигуна з іскровим запаленням / С.А. Єрощенков, В.А. Корогодський, А.А. Каграманян, О.В. Василенко // Двигуни внутрішнього згоряння. 2008, № 1. С. 16-22.

7. Корогодський В.А. Підвищення паливно-екологічних показників двотактного ДВЗ з іскровим запалюванням за рахунок удосконалення процесів внутрішнього сумішоутворення / В.А. Корогодський // Двигуни внутрішнього згоряння. 2013, № 2. С. 22-26.

8. Korohodskyi, V., Leontiev, D., Rogovyi, A., Kryshtopa, S. et al., "Research of Spark Ignition Engine and Internal Mixture Formation Using Single-Zone, Two-Zone and Three-Zone Calculation Model of It Working Process," SAE Technical Paper 2022-01-1000, 2022, https://doi.org/10.4271/2022-01-1000.

9. Корогодський В.А. Вплив розшарування паливно-повітряного заряду на показники згоряння двотактного двигуна з іскровим запалюванням / В.А. Корогодський, О. М. Стеценко, Є. О. Ткаченко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2015. Вип. 154. С. 142-148.

10. Корогодський В. А. Визначення раціонального циклу та способу організації робочого процесу двигуна за навантажувальною характеристикою / В.А. Корогодський // Вісник ХНАДУ. 2020. Вип. 90. С. 80-94.

УДК 621.43

СЛАНЦЕВИЙ ГАЗ – ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В ДВЗ

Корпач Анатолій Олександрович, к.т.н., професор,
Національний транспортний університет,
e-mail: akorpach@ukr.net, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7070-7883
Туз Олександр Олегович, студент,
Національний транспортний університет,
e-mail: tuzoleksander04@gmail.com

Вступ: В умовах зростаючого попиту на енергію, а також необхідності зменшення залежності від традиційних вуглеводнів, сланцевий газ набуває все більшого значення як альтернативне джерело палива. Сланцевий газ — це природний газ, що міститься у дрібних порах і тріщинах сланцевих порід на значних глибинах. Розвиток технологій горизонтального буріння та гідророзриву пласта (фрекінгу) уможливив його масштабний видобуток, що

призвело до так званої «сланцевої революції» в енергетиці. Ця революція не лише змінила світові енергетичні ринки, але й відкрила нові можливості для його використання в різних сферах, включаючи транспорт.

Використання сланцевого газу, як палива для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), є перспективним напрямком, що має потенціал для вирішення ряду екологічних та економічних проблем. Природний газ вже давно застосовується у двигунах, проте масове надходження на ринок сланцевого газу з його специфічними властивостями вимагає нового підходу до його використання.

Сланцевий газ (рис.1), як і звичайний природний газ, складається здебільшого з метану (CH_4), вміст якого може коливатися від 70% до 99%. Проте, однією з ключових відмінностей є наявність у його складі значної кількості домішок, що варіюються залежно від родовища. До них можуть входити: Етанові та пропанові фракції (C_2H_6, C_3H_8): Ці гази, що називаються «жирними», підвищують енергетичну цінність газу, але можуть впливати на його стійкість та детонаційні властивості. Діоксид вуглецю (CO_2): Зменшує теплотворну здатність газу та може спричиняти корозію в системах живлення. Азот (N_2): Є інертним компонентом, що також знижує теплотворну здатність. Сірководень (H_2S): Небезпечна та корозійно-активна домішка, яка потребує ретельного очищення. Ці домішки роблять склад сланцевого газу менш стабільним та однорідним порівняно з традиційним магістральним природним газом. Це вимагає додаткових процесів очищення та адаптації систем живлення ДВЗ, щоб забезпечити стабільну роботу та захистити компоненти двигуна від корозії та зносу. Метан, що є основним компонентом сланцевого газу, має високе октанове число (понад 120), що робить його ідеальним паливом для двигунів з високим ступенем стиснення. Це дозволяє досягти вищого теплового коефіцієнта корисної дії (ККД) порівняно з бензиновими двигунами.

Рис.1 Склад сланцевого газу [1]

При згорянні газу утворюється менше твердих частинок та сажі, що є значною екологічною перевагою над дизельним паливом.

Основні технології видобутку сланцевого газу включають-горизонтальне буріння (рис.2). Після буріння вертикальної свердловини на глибину 2–3 км,

бур змінює напрям і йде горизонтально по сланцевому пласту. Це дозволяє охопити більшу площу продуктивної породи. Гідророзрив пласта (фрекінг) (рис.3). У свердловину під великим тиском закачують воду, пісок і хімічні реагенти. Утворені тріщини утримуються піском, що дозволяє газу вивільнятися й надходити у свердловину-системи збору і сепарації газу (рис.4). Добутий газ очищують від води, CO_2 та H_2S перед транспортуванням. Використовуються сепаратори й установки попередньої підготовки.

Україна володіє значним потенціалом сланцевого газу, який може суттєво знизити енергетичну залежність країни від імпорту традиційних енергоносіїв.

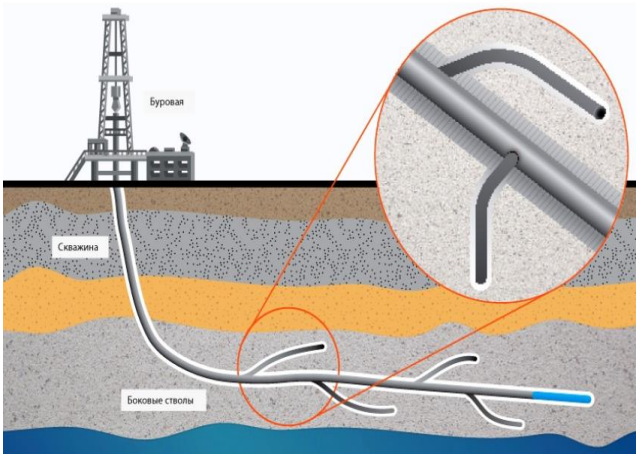

Рис.2 Горизонтальне буріння [2]

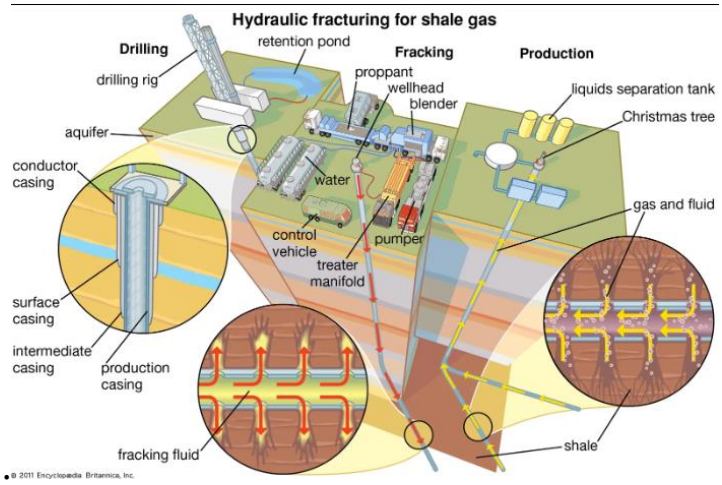

Рис.3 Гідророзрив пласта (фрекінг) [3]

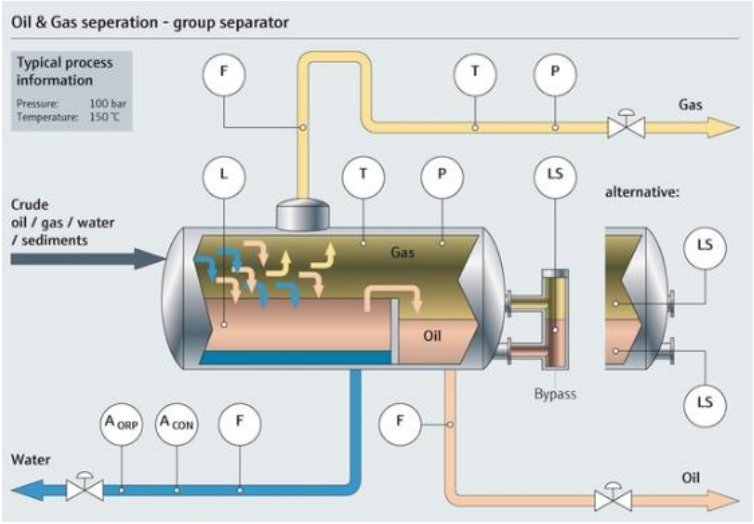

Рис.4 Системи збору і сепарації газу [4]

За даними НІСД та досліджень US Energy Information Administration (EIA),прогнозні ресурси сланцевого газу в Україні оцінюються на рівні 5–7 трлн м³. Основні поклади зосереджені у двох регіонах: Дніпровсько-Донецький басейн – найбільший за ресурсами, розташований на території Харківської, Дніпропетровської та Полтавської областей. Люблінський басейн – охоплює Львівську та Івано-Франківську області, перспективний для розвідки(рис.5).

Оцінки спеціалістів показують, що, навіть, часткове освоєння цих запасів може забезпечити внутрішні потреби України в газі на кілька десятиліть. Проте масштабна розробка потребує інвестицій, сучасних технологій буріння та вирішення питань екологічної безпеки. Україна не входить до топ-5 країн за обсягами запасів, проте її потенціал значний у межах Європи. Лідерами за прогнозними ресурсами сланцевого газу є: Китай – близько 31,6 трлн м³,Аргентина – близько 27,0 трлн м³,Алжир – близько 20,0 трлн м³,США – близько 18,6 трлн м³,Канада – близько 16,2 трлн м³.

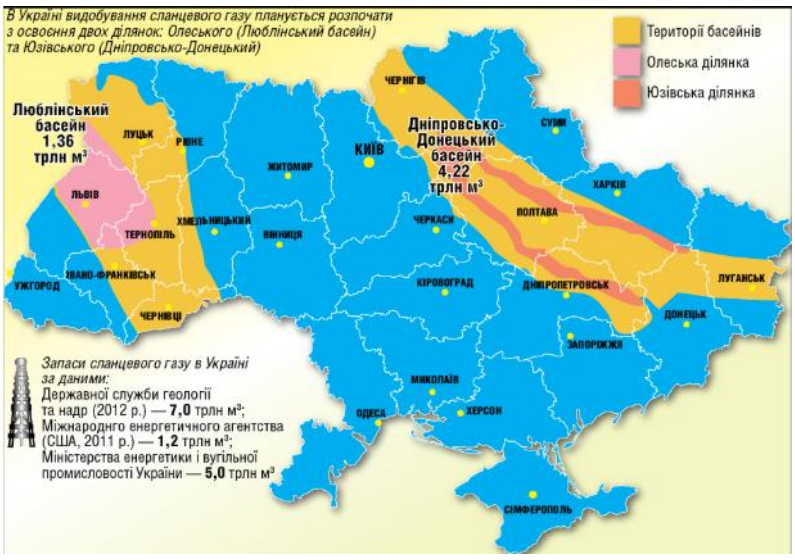

Рис.5 Запаси сланцевого газу в Україні за басейнами [5]

Ці країни активно інвестують у розвиток технологій видобутку, а США вже досягли енергетичної незалежності завдяки «сланцевій революції».

Для ефективного використання сланцевого газу, як палива, ДВЗ потребує значної адаптації. Ці модифікації поділяються на кілька ключових напрямків: Система живлення газового двигуна (рис. 6) кардинально відрізняється від бензинової чи дизельної. Газ зберігається під високим тиском (20-25 МПа для компримованого газу, або ЗПГ) у спеціальних балонах, виготовлених зі сталі або композитних матеріалів. Від балона газ надходить до багатоступінчастого редуктора-випаровувача, який знижує тиск до робочих значень (близько 0,2-0,5 МПа) та забезпечує його перехід з рідкої фази в газоподібну. Далі газ подається через газові форсунки безпосередньо у впускний трубопровід або у циліндри двигуна. Це вимагає впровадження окремих систем впорскування газу та відповідних паливних магістралей. Завдяки високому октановому числу метану, можна збільшити ступінь стиснення двигуна до 12-14:1, що значно підвищує його термічний ККД. Газоповітряна суміш має вищу температуру займання, ніж бензинова. Тому необхідно використовувати свічки запалювання з більшим зазором або потужнішою системою запалювання для забезпечення стабільного займання суміші. В процесі згоряння природного газу відсутній ефект «змащення», який присутній пр роботі на бензині та дизельному паливі. Це може призводити до прискореного зносу сідел та тарілок клапанів. Для запобігання цьому, використовуються загартовані сідла клапанів, а також спеціальні присадки. Для роботи ДВЗ на газі для ЕБУ потрібне спеціалізоване програмне забезпечення, що керує подачею газу, моментом запалювання та співвідношенням повітряно-паливної суміші, враховуючи специфіку газового палива та його змінний склад.

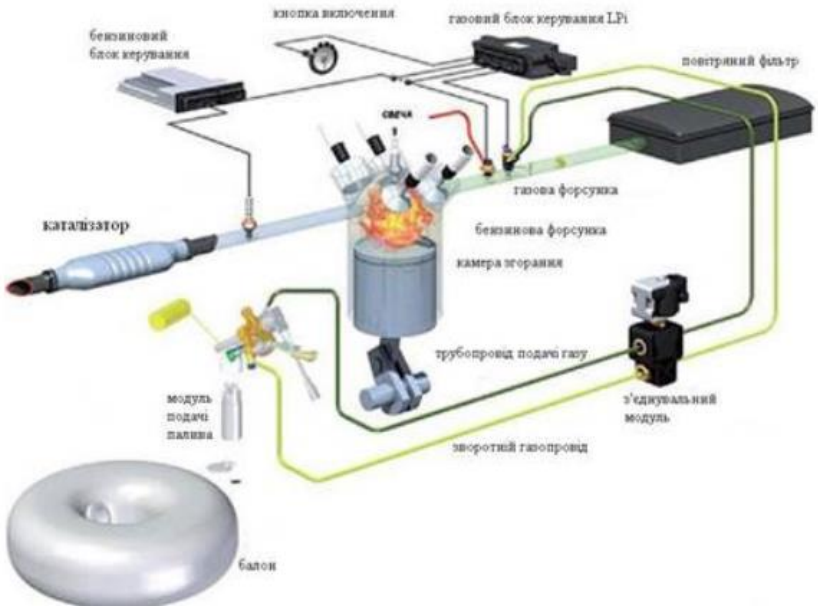

Рис.6 Схема системи живлення газового двигуна [6]

Використання сланцевого газу є економічно вигідним, оскільки його вартість, як правило, значно нижча за вартість бензину та дизельного палива. Це забезпечує значну економію на експлуатаційних витратах, особливо для комерційного транспорту з великим пробігом. Однак, початкові інвестиції у переобладнання автомобіля є досить високими, що може уповільнювати швидкість переходу на цей вид палива Чим більша різниця між вартістю газу та традиційного палива, тим швидше окуповуються витрати на переобладнання.

Розвиток мережі газових заправних станцій є критично важливим для масового впровадження. Перехід на сланцевий газ має значні екологічні переваги. При згорянні метану утворюється менше оксидів азоту (NO_X), твердих частинок та оксиду вуглецю (CO) порівняно з дизельними двигунами. Повний перехід на газ дозволяє, практично, виключити викиди сажі. З іншого боку, існує ризик, так званого, «прослизання метану» (methane slip) – викиду незгорілого метану в атмосферу. Метан є парниковим газом, що у 25 разів ефективніший за CO_2. Цю проблему можна вирішити за допомогою каталітичних нейтралізаторів та оптимізації процесу згоряння.

Висновки: Сланцевий газ має значний потенціал для підвищення енергетичної безпеки України, забезпечуючи дешевше паливо та менші викиди шкідливих речовин порівняно з традиційними видами палива. Водночас його видобуток супроводжується високими екологічними ризиками (забруднення води, витоки метану) та потребує значних інвестицій в інфраструктуру. Світові запаси перевищують 200 трлн м³, з найбільшими ресурсами у Китаї, Аргентині, Алжирі, США та Канаді, що визначає ключові напрямки розвитку глобального енергетичного ринку.

Література

1. Сланцевий газ. https://uk.wikipedia.org/wiki/Сланцевий_газ (дата звернення 22.09.2025)
2. Горизонтальне буріння – що це, де застосовується https://surl.li/lnbwvf (дата звернення 22.09.2025)
3. 8+ Impacts of Fracking Technology on the Environment https://www.apklas.com (дата звернення 22.09.2025)
4. Oil and gas separation optimized with precise monitoring https://surl.li/izxsfi (дата звернення 22.09.2025)
5.УКРРУДПРОМ. Доступ: https://surl.li/kdzfiy (дата звернення 22.09.2025)
6. Двигуни внутрішнього згоряння. https://surl.li/dkwpof (дата звернення 22.09.2025)