

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШАХТНОГО МЕТАНУ В ЯКОСТІ ПАЛИВА ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Бумага О.Д., кандидат технічних наук  
Цюман М.П., кандидат технічних наук  
Яновський В.В., кандидат технічних наук  
Крахин С.В.

**Постановка проблеми.** Процеси видобутку вугілля приводять до вивільнення метану, який міститься у вугільному пласті і навколишніх породах. Питанням розробки шахтного метану (ШМ) в Україні відводиться велика увага, прийнято ряд законів і нормативних актів, які мають сприяти реалізації метанових енергетичних проєктів. Підхід до формування структури проєкту утилізації шахтного метану включає три основні напрями: вилучення шахтного метану з метою забезпечення безпечних умов роботи шахт, поліпшення екологічної обстановки і подальшою утилізацією цього газу; промислове витягання вугільного метану з метою попереднього дегазації вугільних родовищ і отримання додаткових об'ємів енергоносія; утилізація ШМ з використанням механізмів Кіотського протоколу з метою зменшення парникового ефекту. Ці три напрями повинні розвиватися паралельно, оскільки багато технічних і технологічних питань реалізації цих робіт є загальними. Кожен з таких проєктів має вирішувати дві взаємопов'язані задачі – вилучення ШМ з вугільних пластів та його використання для господарських потреб.

Враховуючи значний потенціал запасів ШМ в Україні [1], питання дослідження ефективності його застосування, зокрема в якості палива для двигунів внутрішнього згорання є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомий досвід використання ШМ для господарських цілей на шахтах Донецької і Луганської областей [2, 3]. Із цих джерел відомо, що інтенсивне використання ШМ дало можливість зекономити близько 10-15 % імпортованого рідкого палива в Донецькому регіоні. Разом з тим, спеціальні дослідження показників роботи двигунів на ШМ практично не проводились.

Метою статті є дослідження ефективності застосування ШМ в якості палива для газових двигунів.

Основна частина. Шахтний метан являє собою газову суміш, що може складатися із 30-90 % метану та інертних речовин, в основному вуглекислого газу та азоту. Такий хімічний склад викликає подібність робочого процесу і показників двигуна, що працює на ШМ і двигуна, що живиться природним газом, який також містить метан у кількості до 95 %. Разом з тим, присутність у хімічному складі ШМ значної кількості вуглекислого газу, фізико-хімічні характеристики якого значно відрізняються від характеристик метану і повітря, призводить до деяких особливостей робочого процесу двигуна.

Оскільки дані експериментальних випробувань двигунів внутрішнього згорання при живленні ШМ відсутні, дослідження ефективності його використання в якості моторного палива доцільно провести з використанням математичної моделі робочого процесу двигуна, розробленої для дослідження показників газового двигуна Д-240Г (табл.1), переобладнаного із дизеля для роботи на природному газі [4].

Окрім фізичних властивостей викликаних, вмістом вуглекислого газу в ШМ змінюються і теплотворна здатність газоповітряної суміші в залежності від вмісту метану в ШМ. В табл. 2 приведені деякі показники шахтного метану із різним вмістом метану в ньому.

Розрахунок показників проводився за навантажувальною характеристикою при частоті

обертання колінчастого валу  $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$ , при якій розвивається максимальний крутний момент двигуна.

Вплив навантаження на ефективні показники газового двигуна при живленні шахтним метаном різного складу наведено на рис. 1. Особливістю розрахунку показників є те, що характеристика зміни коефіцієнту надміру повітря  $\alpha$  від частоти обертання колінчастого валу та розрідження у впускному колекторі була експериментально оптимізована для випадку живлення природним газом і для іншого складу палива при розрахунках залишена без змін. Характеристика кута випередження запалювання  $\theta$  була визначена оптимальною для кожного складу палива окремо. При меншому вмісті метану кут випередження запалювання зменшується, оскільки швидкість згоряння вища для палива, збагаченого метаном. Значення витрати повітря дещо збільшується при зменшенні вмісту метану, а абсолютна витрата палива зростає зі зменшенням вмісту метану. Пояснюється це тим, що при меншому вмісті метану паливо має меншу теплоту згоряння і потребує менше повітря для згоряння (табл. 2). Це говорить про необхідність корекції подачі газу системою живлення двигуна при зміні вмісту метану в паливі. Ефективна витрата теплоти в зоні малих навантажень найменша для палива із вмістом метану 45%, в зоні високих навантажень – для палива з найвищим вмістом метану. Найбільш близькі до показників двигуна при живленні чистим метаном має ШМ із вмістом метану близько 75 %.

Таблиця 1. – Коротка технічна характеристика газового двигуна Д-240Г

| № п/п | Найменування параметрів   | Значення параметрів  |
|-------|---|--|
| 1.    | Тип двигуна   | газовий  |
| 2.    | Число тактів  | 4  |
| 3.    | Число і розташування циліндрів  | 4, однорядне вертикальне   |
| 4.    | Робочий об'єм, л  | 4,75   |
| 5.    | Діаметр циліндра і хід поршня, мм   | 110/125  |
| 6.    | Ступінь стискання   | 12   |
| 7.    | Фази газорозподілу<br>- впускні клапани:<br>відкриття<br>закриття<br>- випускні клапани:<br>відкриття<br>закриття | 16° до в.м.т.<br>46° після н.м.т.<br><br>56° до н.м.т.<br>18° після в.м.т. |
| 8.    | Номінальна потужність, кВт  | 57,3   |
| 9.    | Максимальний крутний момент, Нм   | 280  |
| 10.   | Паливо  | СПГ  |
| 11.   | Спосіб сумішоутворення  | зовнішнє   |
| 12.   | Спосіб запалювання пальної суміші   | примусове запалювання від іскри  |
| 13.   | Тип системи охолодження   | рідинна  |
| 14.   | Система мащення   | комбінована: під тиском і розбризкуванням                                  |

Таблиця 2. – Деякі показники шахтного метану

|   | 100 % метану | 75% метану | 45% метану |
|---|--------------|------------|------------|
| Теоретично необхідна кількість повітря для повного згоряння 1 кг палива, $\frac{\text{кг повітря}}{\text{кг палива}}$ | 17           | 9,098      | 4          |
| Нижча теплота згоряння, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$  | 49,33        | 26,41      | 11,6       |

На рис. 2. наведено вплив навантаження двигуна на показники робочого циклу газового двигуна. При різному вмісті метану в ШМ залежність коефіцієнту залишкових газів  $\gamma$  практично однакова. Значення коефіцієнту наповнення  $\eta_V$  при зменшенні вмісту метану в паливі збільшуються. Це відбувається в основному через необхідність більшого відкриття дросельної заслінки для отримання тої ж потужності, що і для більш збагаченого метаном газу. Це також позитивно впливає і на деякі інші показники роботу двигуна, зокрема призводить до зменшення дроселювання і як наслідок до зменшення насосних втрат  $p_{н.п.}$ . Ефективний коефіцієнт корисної дії  $\eta_e$  практично не залежить від вмісту метану в паливі і лише в зоні повних навантажень дещо зменшується внаслідок зменшення максимальної потужності. Загалом газовий двигун при роботі на ШМ із вмістом метану 45 % розвиває потужність на 15 % менше, а при 75 %-ковому вмісті метану на 5 % менше ніж при живленні чистим метаном. Така непропорційність залежності потужності двигуна від вмісту метану в його паливі пояснюється фізичними властивостями вуглекислого газу, що входить до складу ШМ, зокрема значенням газової сталої вуглекислого газу, яка менше в 1,5 рази ніж газова стала повітря і в 2,7 рази ніж газова стала чистого метану. Це призводить до того, що густина вуглекислого газу у відповідну кількість раз більша за густину повітря і метану при однакових умовах, а значить 25 %-ковий вміст вуглекислого газу в паливі заміщує значно меншу кількість метану, тому потужність не зменшується на 25 % при живленні таким паливом.

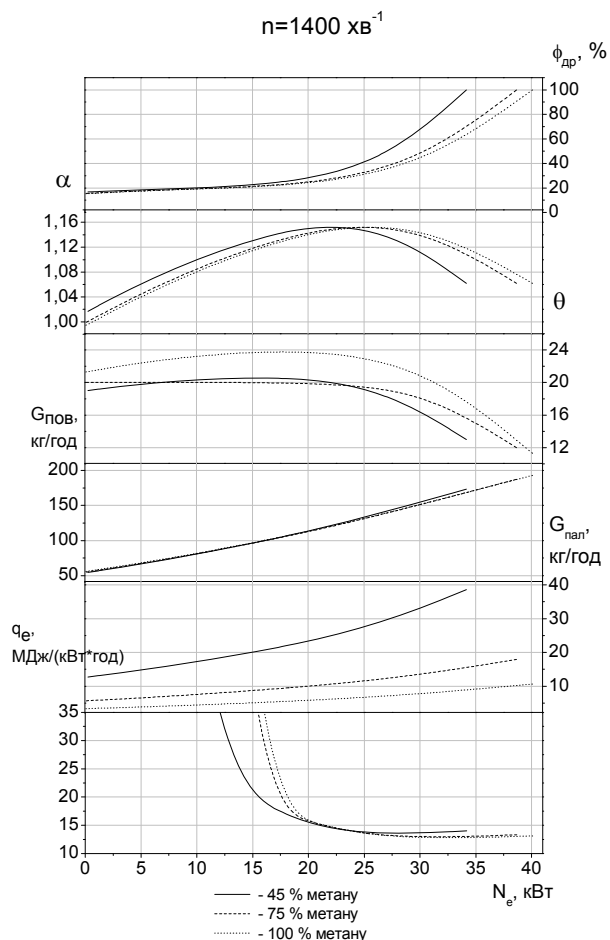


Рисунок 1. – Залежність ефективних показників газового двигуна від навантаження

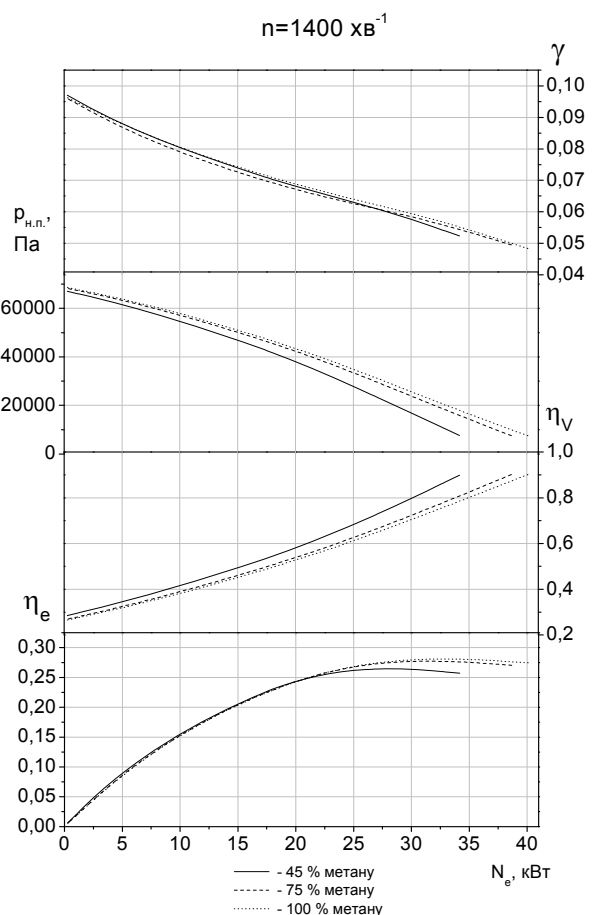


Рисунок 2. – Залежність показників робочого циклу газового двигуна від навантаження

**Висновок.** Оцінено ефективність застосування шахтного метану в якості палива на газових двигунах. Газовий двигун при роботі на ШМ із вмістом метану 45% розвиває потужність на 15 % менше ніж на природному газі та на 5 % менше при 75 %-ному вмісті

метану в паливі. Ефективна витрата теплоти в зоні малих навантажень найменша для газу із вмістом метану 45%, в зоні високих навантажень – для природного газу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матейчик В.П. Аналіз можливостей та загроз проектів використання шахтного метану як моторного палива / Матейчик В.П., Плошай Ф.В., Крахин С.В. // Вісник НТУ. – К.: НТУ. – 2012. – № 25. – С.317–320.

2. Програма сталого розвитку Луганської області. Техніко-економічне обґрунтування для Програми утилізації шахтного метану в Луганській області шляхом застосування механізмів Кіотського Протоколу.- Луганськ, ДХК «Луганськвуглепереробка». - 2008 р. - 385с.

3. Утилізація шахтного метану на Яковлевській виробничій площадці вугільної шахти ім. А.Ф. Засядько. - Донецьк // Проектно-технічна документація ЗАО «РусКарбон». - 2005. - 52с.

4. Особливості математичного моделювання робочого процесу двигуна, що працює на біогазі / Яновський В.В., Козачук І.С., Цюман М.П., Середюк Л.М. // Вісник НТУ. – К.: НТУ. – 2010. – № 20. – С.238–241.

#### РЕФЕРАТ

Бумага О.Д., Цюман О.Д., Яновський В.В., Крахин С.В. Дослідження ефективності застосування шахтного метану в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння / Олександр Дмитрович Бумага, Микола Павлович Цюман, Василь Васильович Яновський, Станіслав Валерійович Крахин // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ – 2013. – Вип. 27.

Мета роботи – дослідження ефективності застосування шахтного метану в якості палива для газових двигунів.

Методи дослідження – методи математичного моделювання робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння.

Оцінено ефективність застосування шахтного метану в якості палива на газових двигунах. Газовий двигун при роботі на шахтний метан із вмістом метану 45% розвиває потужність на 15 % менше ніж на природному газі та на 5 % менше при 75 %-ному вмісті метану в паливі. Ефективна витрата теплоти в зоні малих навантажень найменша для газу із вмістом метану 45%, в зоні високих навантажень – для природного газу.

Результати статті можуть бути використані для прийняття рішення про доцільність використання шахтного метану в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння різного призначення, оцінки можливих техніко-економічних показників двигунів, що живляться шахтним метаном.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розробка на основі досліджень на математичній моделі робочого циклу двигуна рекомендацій про раціональні значення регульовальних параметрів двигуна, що живиться шахтним метаном, оцінка основних техніко-економічних показників автомобіля при його живленні шахтним метаном на основі розрахункових досліджень з використанням розробленої математичної моделі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ШАХТНИЙ МЕТАН, ПАЛИВО, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА.

#### ABSTRACT

Bumaga O.D., Tsiuman M.P., Yanovsky V.V., Krahyn S.V. Trial of mine methane as a fuel for internal combustion engines / Aleksander Bumaga, Nikolay Tsiuman, Vasyl Yanovsky, Stanislav Krahyn // Herald of the National Transport University. – K.: NTU – 2013. – Issue. 27.

Purpose - studying the effectiveness of mine methane as fuel for gas engines.

Methods - Methods of mathematical modeling workflow internal combustion engine.

The efficiency of the use of mine methane as a fuel for gas engines was rated. The gas engine when operating with mine methane for methane content of 45% develops power for 15% lower from natural gas and for 5% lower at 75% of methane in the fuel. Efficient consumption of heat in the area of small loads is smallest for gas containing 45% methane, in the area of high loads - for natural gas.

The results of the article can be used to decide whether to use mine methane as a fuel for internal combustion engines for different purposes, to assess the technical and economic performances of engines, used mine methane.

Estimated assumptions about the object of study - the development with researches, based mathematical model for workflow engine, recommendations on rational values of parameters regulating engine, used mine methane, assessment of the main technical and economic indicators of the car when its use mine methane, based studies estimated using developed mathematical model.

KEY WORDS: MINE METHANE, FUEL, INTERNAL COMBUSTION ENGINE, PERFORMANCE OF ENGINE.

#### РЕФЕРАТ

Бумага А.Д., Цюман Н.П., Яновский В.В., Крахин С.В. Исследование эффективности применения шахтного метана в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания / Александр Дмитриевич Бумага, Николай Павлович Цюман., Василий Васильевич Яновский, Станислав Валерьевич Крахин // Вестник Национального транспортного университета. – К.: НТУ – 2013. – Вып. 27.

Цель работы - исследование эффективности применения шахтного метана в качестве топлива для газовых двигателей.

Методы исследования - методы математического моделирования рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания.

Оценена эффективность применения шахтного метана в качестве топлива для газовых двигателей. Газовый двигатель при работе на шахтном метане с содержанием метана 45% развивает мощность на 15% меньше чем на природном газе и на 5% меньше при 75%-ном содержании метана в топливе. Эффективный расход теплоты в зоне малых нагрузок наименьший для газа с содержанием метана 45%, в зоне высоких нагрузок - для природного газа.

Результаты статьи могут быть использованы для принятия решения о целесообразности использования шахтного метана в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания различного назначения, оценки возможных технико-экономических показателей двигателей, потребляющих шахтный метан.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования - разработка на основе исследований на математической модели рабочего цикла двигателя рекомендаций о рациональных значениях регулировочных параметров двигателя при его работе на шахтном метане, оценка основных технико-экономических показателей автомобиля при его работе на шахтном метане на основе расчетных исследований с использованием разработанной математической модели.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ШАХТНЫЙ МЕТАН, ТОПЛИВО, ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ.