

**Шифр «Газ»**

## **Наукова робота**

**зі спеціальності «Автомобільний транспорт»**

**Напрямок конкурсу «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»**

**На тему:**

**«Вибір оптимальних регулювань газового двигуна транспортного засобу з метою покращення його екологічних показників»**

**2020**

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| АНОТАЦІЯ.....   | 4  |
| 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ.....   | 6  |
| 1.1 Використання природного газу як моторного палива.....   | 6  |
| 1.2 Особливості переведення з бензину на природний газ двигунів транспортних засобів в умовах експлуатації.....                                   | 10 |
| 1.3 Вплив регульовальних параметрів на паливну економічність і екологічні показники переобладнаних автомобілів.....                               | 13 |
| 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕГУЛЮВАНЬ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ЗА СКЛАДОМ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ.....   | 17 |
| 2.1 Мета і задачі експериментальних досліджень.....   | 17 |
| 2.2 Об'єкт експериментальних досліджень.....  | 17 |
| 2.3 Загальна характеристика лабораторно-діагностичного обладнання.....  | 18 |
| 2.4 Загальна методика експериментальних досліджень.....   | 20 |
| 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕГУЛЮВАНЬ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ЗА СКЛАДОМ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ..... | 23 |
| 3.1 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від кута випередження запалювання.....                            | 23 |
| 3.2 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від зазору між електродами свічки запалювання.....                | 24 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.3   | Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від теплового зазору впускних і випускних клапанів..... | 25 |
| 3.3.1 | Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від теплового зазору впускного клапана.....             | 26 |
| 3.3.2 | Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від теплового зазору випускного клапана.....            | 27 |
|       | ВИСНОВКИ.....   | 29 |
|       | ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....   | 30 |
|       | ДОДАТОК А.....  | 33 |

## АНОТАЦІЯ

**Актуальність теми.** Одним з енергоносіїв при виробництві продукції є нафтове паливо, яке використовується для всіх транспортних засобів (ТЗ). В той час, коли ціни на палива безперервно зростають, ціна на природний газ (ПГ) залишається приблизно в два рази меншою за ціну рідких моторних палив. Тому експлуатація ТЗ на ПГ є доцільною.

ПГ представляє собою найбільш повноцінний з усіх можливих заміників рідких нафтових моторних палив, що обумовлює той факт, що перехід на нього не потребує зміни конструкцій серійних бензинових двигунів, більше того, двигун стає двопаливним.

Двигуни які працюють на ПГ в значно меншій кількості викидають шкідливі речовини (ШР): оксиди вуглецю  $CO$ , вуглеводні  $CH$ , оксиди азоту  $NO_x$  та ін. При використанні ПГ істотно нижчі питомі викиди діоксида вуглецю  $CO_2$ , надмірна кількість якого в атмосфері порушує тепловий баланс унаслідок меншого інфрачервоного випромінювання в космос від поверхні землі.

Зараз успішно здійснюються переведення з бензину на ПГ двигунів ТЗ в умовах експлуатації. Для забезпечення паливної економічності та хороших екологічних показників ТЗ з переобладнаними газовими двигунами необхідно оптимізувати регульовальні та конструктивні параметри двигуна: склад паливоповітряної суміші, кут випередження запалювання, параметри керування трансмісією і газовим двигуном. А також враховувати експлуатаційні фактори: коефіцієнт опору кочення коліс, коефіцієнт зчеплення, рівність дорожнього покриття, профіль та план дороги і ін.

З розглянутих вище, регульовальних параметрів, не досліджувався вплив деяких конструктивних параметрів на експлуатаційні показники переведених газових двигунів: зазор в свічці запалювання, теплові зазори в клапанах та ін.

Таким чином, на сьогоднішній день актуальні дослідження які направлені на вивчення закономірностей зміни викидів ШР з відпрацьованими газами (ВГ)



газових двигунів вантажних автомобілів при роботі на ПГ в залежності від експлуатаційних, конструктивних та регулювальних параметрів двигуна.

**Мета і завдання дослідження. Мета роботи.** Поліпшення екологічних показників газового двигуна шляхом вибору оптимальних регулювань.

Для дослідження мети в магістерській роботі вирішуються наступні **завдання**:

1. Аналіз стану питання щодо ефективної експлуатації автомобільного транспорту на ПГ;
2. Розробка методики експериментальних досліджень вибору оптимальних регулювань газового двигуна за складом ШВ у ВГ;
3. Проведення експериментальних досліджень вибору оптимальних регулювань газового двигуна за складом ШР у ВГ.

**Об'єкт дослідження** – екологічні показники вантажного автомобіля з газовим двигуном при виборі регулювальних параметрів.

**Предмет дослідження** – вплив регулювальних параметрів на екологічні показники вантажного автомобіля з газовим двигуном.

**Методи дослідження** Передбачали експериментальні дослідження екологічних показників вантажного автомобіля з газовим двигуном.

**Практичне значення одержаних результатів** складає вибір деяких регулювальних параметрів газового двигуна в залежності від вмісту ШР у ВГ.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ

## 1.1 Використання природного газу як моторного палива

У світлі проблем дефіциту енергоресурсів і задач оздоровлення екології у всіх розвинених країнах ведеться напружений пошук та адаптація до умов експлуатації заміників традиційних видів палив на альтернативні палива. На сьогоднішній день найбільш реальними АП є: спирти, електроенергія, скраплений та стиснутий ПГ, ЗНГ. Але в силу різних причин мають місце труднощі, пов'язані з одержанням, використанням чи зберіганням того чи іншого виду альтернативного палива.

Разом з тим ПГ і ЗНГ і досі розглядаються в якості альтернативних джерел енергії [1-3]. ЗНГ являють собою суміш декількох компонентів – етану, пропану, бутану і дуже близьких до них неграничних вуглеводнів – етилену, пропілену, бутилену та їх ізомерів. Ці гази утворюються при добуванні і переробці нафти, їх основні характеристики наведено в табл. 1.1.

Велике економічне і екологічне значення має переведення автомобільного транспорту на газове паливо в цілому і зокрема на ПГ. Це звільняє ресурси рідкого палива і знижує забруднення повітряного басейну. По підрахункам екологів, у великих містах біля 70 % всіх шкідливих викидів в атмосферу приходить на долю автомобілів. Використання ПГ як палива для автомобільних двигунів дозволило б значно поліпшити екологічну ситуацію в містах, тим більше, що є інформація про значні запаси ПГ у світі. За даними фірми “British Petroleum” розвідані світові запаси ПГ складають біля 145 триліонів м<sup>3</sup> чи 136,6 млрд. еквівалентних т. нафти. Запаси ПГ по тепловому вмісту наближаються до запасів нафти (біля 141 млрд. т.) [4]. Матеріальні затрати на паливо в сфері експлуатації на бензині складають 25-30 % собівартості перевезень, а з газовими двигунами – тільки 10-15 %. Це говорить про важливість скорішого вирішення задачі широкого використання газового палива на автомобільному транспорті.

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники вуглеводневих палив, які входять до складу ЗНГ і ПГ

| Показники   | Одиниця вимірювання | Входять до складу ЗНГ         |                               |                                |                                | Входить до ПГ   | Бензин       |
|---|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------|
|   |                     | етан                          | пропан                        | бутан                          | пентан                         | метан           |              |
| Хімічна формула   | –                   | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | CH <sub>4</sub> | –            |
| Молекулярна маса  | кг/кмоль            | 30                            | 44,10                         | 58,12                          | 72,15                          | 16,04           | 114,0        |
| Температура кипіння при 760 мм рт. ст.  | °C                  | -88,6                         | -42,1                         | -0,5                           | +36,1                          | -161,5          | –            |
| Нижча теплотність (при 15°C і 760 мм рт. ст.)   | МДж/кг              | 47,0                          | 45,7                          | 45,4                           | 45,1                           | 48,7            | 43,9         |
| Теоретично необхідна для згоряння кількість повітря   | кг/кг               | 16                            | 15,7                          | 15,35                          | 15,3                           | 17,2            | 14,5         |
| Октанове число (за моторним методом)  | –                   | 125                           | 120                           | 93                             | 64                             | 110             | 76...86      |
| Температура займання при атмосферному тиску   | °C                  | 508-605                       | 510-580                       | 475-550                        | 475-510                        | 640-680         | 470-680      |
| Межі займання (по об'єму):<br>нижній<br>верхній   | %                   | 3,2<br>12,5                   | 2,4<br>9,5                    | 1,9<br>8,5                     | 1,4<br>8,0                     | 5,3<br>14,0     | 1,5<br>6,0   |
| Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha$ , який відповідає нижній ( $\alpha_{max}$ ) і верхній ( $\alpha_{min}$ ) межах займання:<br>$\alpha_{max}$<br>$\alpha_{min}$ | –                   | 1,82<br>0,42                  | 1,70<br>0,40                  | 1,67<br>0,35                   | 1,84<br>0,30                   | 1,88<br>0,65    | 1,18<br>0,29 |

В наш час ПГ застосовується для ТЗ в стиснутому (CNG), зрідженому (LNG) або адсорбованому (ANG) вигляді. Зараз у всьому світі на ПГ працює 1735772 транспортних засоби. В тому числі по країнах: Аргентина – 686496, Італія – 370 тис., Пакистан – 200 тис., Бразилія – 120 тис., США – 102430, Китай – 36 тис., Росія – 31 тис., Канада – 20505, Австралія – 2104, Японія – 8884. В цих та інших країнах світу функціонують 4425 газозаправних станцій [5, 6].

Як видно, кількість ТЗ у світі, які працюють на ПГ, значна і постійно збільшується. Вочевидь, така тенденція до зростання кількості “газових” автомобілів пов’язана з позитивними властивостями ПГ як моторного палива. Найголовніше – дешевизна у порівнянні з бензином. На ефективність переведення на ПГ впливає цілий ряд факторів. Умовно їх можна розділити на 2 групи:

перша – технічні фактори, які впливають на експлуатаційні затрати автомобіля. До них відносяться: зміна витрат на паливо, основну і допоміжну

заробітну плату, витрати на мастильні і інші експлуатаційні матеріали, на шини, на технічне обслуговування і ремонт, амортизаційні відрахування, накладні витрати. Експлуатаційна ефективність оцінюється по зміні собівартості пробігу;

друга – організаційно-технічні фактори, які визначаються вибраною на автотранспортному підприємстві (АТП) схемою технологічного процесу. Ця група оцінюється зміною коефіцієнтів використання пробігу, вантажо- і пасажиромісткості, технічної швидкості та ін.

В кінцевому результаті обидві групи оцінюються зміною собівартості транспортної роботи. А оскільки, в структурі витрат стаття “паливо” – найбільш вагома, то вона і дає практично всю економію. При чому, найбільшу ефективність можна отримати при переобладнанні транспортних засобів із двигунами з іскровим запалюванням [7]. Перш за все, це пов’язано з більш високою часткою паливної складової в собівартості транспортної роботи у автомобілів з цими двигунами.

Високе октанове число ПГ, яке знаходиться в межах 110-120 одиниць, не потребує введення в циліндр яких-небудь антидетонаційних присадок, що позитивно впливає на екологічні показники газових двигунів. Застосування ПГ призводить до зниження вмісту  $CO_2$  в ВГ на 20-30 %, запобігає руйнуванню озонового шару. Вміст  $CO$  у ВГ автомобілів, які живляться ПГ, значно менший, порівняно з роботою на рідкому паливі. Тому застосування ПГ в якості моторного палива є особливо актуальним з огляду на постійно зростаючі вимоги до екологічної безпеки ТЗ (від Євро 1 до Євро 4).

ПГ представляє собою найбільш повноцінний з усіх можливих замінників рідких нафтових моторних палив, що обумовлює той факт, що перехід на нього не потребує зміни конструкцій серійних двигунів, більше того, двигун стає двохпаливним. До того ж ПГ, на противагу нафті, не потребує ніякої технологічної переробки (окрім сушки).

Використання газового палива позитивно впливає на довговічність двигуна. На зношування деталей бензинових двигунів суттєво впливає проникнення в циліндр частки палива, яке не випарувалося і яке змиває оливу зі стінок циліндрів і призводить до значного нагароутворення, викликаючи їх корозію і інтенсивне

зношування. У дизелях, окрім цього, при згорянні утворюються часточки вуглецю, які викликають значне абразивне спрацювання і погіршують мащення деталей циліндро-поршневої групи. В двигунах, котрі працюють на газовому паливі ці недоліки відсутні, тому в них відбувається менш інтенсивне зношування, зменшення витрати і значне збільшення строку служби оливи. По даним ВНДПГАЗу, в результаті переходу з рідкого палива на газове строк служби двигуна до капітального ремонту збільшується у 1,5 рази, а строки заміни оливи збільшуються в 2 рази. [8] Також на 40 % збільшується строк служби свічок запалювання в двигунах з іскровим запалюванням.

Але є у ПГ, на жаль, і недоліки. З нього потрібно видаляти вологу. Невиконання цієї вимоги може привести до утворення кристалогідратів газу в редукторі газобалонної установки автомобіля і припиненню надходження палива в циліндри двигуна. Висока (881–893 К, або 608–625 °С ) температура займання ПГ у суміші з повітрям утруднює пуск двигуна при низьких температурах навколишнього середовища, висока трудомісткість ТО газобалонних автомобілів та обов'язкова періодична перевірка придатності балонів, яка передбачає їх демонтаж, також стримують збільшення кількості автомобілів, які працюють на газовому паливі. До того ж, чи не основним недоліком використання ПГ в якості моторного палива на рухомому складі автомобільного транспорту є суттєве зниження потужності транспортних засобів при живленні ПГ.

Проте переваги, якими він володіє, все-таки компенсують його недоліки, особливо якщо до п'яти вище перерахованих додати ще одне, що в останній час набуває все більшого і більшого значення. Ця перевага – екологічна чистота газових двигунів, причому по всім основним токсичним компонентам ВГ – оксидам і двооксидам вуглецю, оксидам азоту, вуглеводням.

В Україні також триває процес збільшення кількості ТЗ, які працюють на ПГ, у тому числі і шляхом переобладнання автомобілів, які живляться рідким паливом нафтового походження, з метою економії рідких палив та зменшення кількості ШР, які містяться у ВГ двигунів автомобілів, у порівнянні з транспортними засобами, які живляться традиційним паливом.

Майже з усіх перерахованих точок зору газовий двигун кращий бензинового, дизеля. Він має більш широкі межі регулювання за межею ефективного збіднення, тобто в області, де оксиди вуглецю і азоту містяться в дуже малих кількостях. Що стосується вуглеводнів, то по їх кількості бензиновий і газовий двигуни знаходяться приблизно на одному рівні (у перерахунку на вуглець). Але у ВГ бензинового двигуна містяться в основному етан і етилен, у той час як у газового двигуна – метан. Це важлива обставина, оскільки вуглеводні самі по собі не є небезпечними для здоров'я, а їх шкідлива дія полягає в утворенні смогу внаслідок взаємодії з оксидами азоту, яка інтенсифікується ультрафіолетовою частиною сонячного випромінювання. А метан з усіх граничних вуглеводнів має найбільшу стійкість до цього процесу, тому вуглеводневий викид газового двигуна найменш шкідливий.

Необхідно відзначити і той важливий факт, що при роботі на ПГ утворюється значно менше  $CO_2$ , ніж при спалюванні рідких палив. Це є суттєвою перевагою газового палива з огляду на прогресуючий процес утворення парникового ефекту на Землі, внаслідок утворення значної кількості  $CO_2$ .

Все перераховане робить переобладнання ТЗ на ПГ економічно вигідним, не дивлячись на зниження (до 20 %) максимальної потужності двигуна та незначне погіршення тягово-швидкісних показників переобладнаних автомобілів.

## **1.2 Особливості переведення з бензину на природний газ двигунів транспортних засобів в умовах експлуатації**

В умовах експлуатації найбільш часто практикується переведення бензинових двигунів з іскровим запалюванням на живлення ПГ без їх конструктивних змін шляхом встановлення серійної газової апаратури [9]. Як відомо, в такому випадку потужність двигуна знижується на 14-19%, погіршується динаміка ТЗ (збільшується час розгону, знижується швидкість при русі на підйом, особливо з причепами), зменшується вантажопідйомність на величину маси газобалонної апаратури, проте суттєво покращуються деякі експлуатаційні

показники [10]. Газовий двигун має в 1,5-2,0 рази більший міжремонтний пробіг, так як відсутнє руйнування (змивання) оливної плівки рідким паливом. Крім того, при згорянні газового палива утворюється значно менше твердих частинок та сажі, чим при згорянні рідкого палива, що також зменшує зношування деталей. Важливою обставиною, що збільшує строк служби двигунів є майже повна відсутність в газовому паливі сірки, свинцю та інших елементів, що викликають корозію. Строк служби оливи на газових двигунах в 1,3-1,8 рази вище, ніж у рідкопаливних, що пояснюється також менш інтенсивним нагароутворенням і відсутністю розрідження оливи паливом.

Як було відзначено вище, при роботі на газовому паливі в циліндрах двигуна мають місце менші тиски і швидкості їх наростання ніж при роботі на рідкому паливі. Це значно зменшує навантаження в деталях двигуна і знижує на 8-9 дБ рівень шуму газового двигуна порівняно з бензиновим.

Переобладнаний автомобіль, який має двохпаливну систему живлення, яка дозволяє використовувати або газ або бензин, оскільки на ньому зберігається бензобак, має збільшений сумарний запас ходу на одній заправці. Як приклад, на рис. 1.1 наведено схему газобалонної установки автомобіля ЗИЛ-138А [11].

Стиснутий до 20 МПа ПГ знаходиться в балонах 5, які з'єднані між собою газопроводами – стальними трубами зовнішнім діаметром 10 мм і внутрішнім 6 мм. Як правило, для більшої безпеки балони розділені на дві секції, кожна з яких має окремий витратний вентиль 6. Балони наповнюються через наповнювальний вентиль 8.

Стиснутий газ через магістральний вентиль 7 надходить в підігрівач 9, а потім в редуктор високого тиску 10, де тиск газу на виході знижується до  $1,0 \pm 0,2$  МПа ( $10 \pm 2$  кг/см<sup>2</sup>). Потім газ через електромагнітний клапан 4 надходить в двоступінчатий редуктор низького тиску 3 і далі через карбюратор-змішувач 12 в двигун.

Дана установка є універсальною, так як додатково з апаратурою для живлення двигуна природним газом зберігається апаратура для живлення двигуна



бензином: бензонасос 14, електромагнітний клапан-фільтр 13, бензобак та паливопроводи.

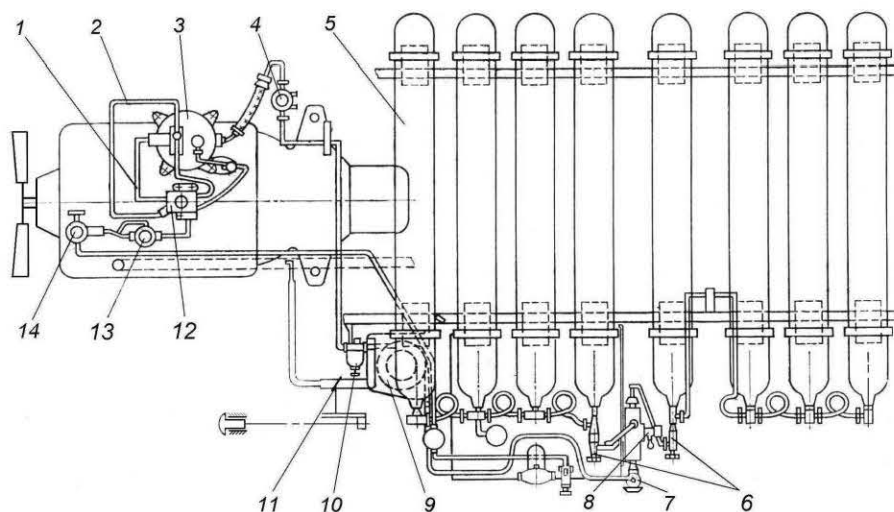


Рисунок 1.1 – Схема газового обладнання автомобіля ГАЗ-3307: 1 – трубка холостого ходу; 2 – трубка основної подачі газу; 3 – редуктор низького тиску; 4 – електромагнітний клапан газу; 5 – балон; 6 – витратний вентиль; 7 – магістральний вентиль; 8 – заправочний вентиль; 9 – підігрівач; 10 – редуктор високого тиску; 11 – заслінка підігрівача; 12 – карбюратор-змішувач; 13 – бензиновий електромагнітний клапан-фільтр; 14 – бензонасос.

Оскільки ПГ має низьку концентрацію енергії в одиниці об'єму (так, якщо теплота згоряння 1 л нафтового палива складає біля 31,4 тис. кДж, то в 1 м<sup>3</sup> природного газу при нормальних умовах вона рівна 33,52–35,62 кДж, тобто майже в 1 тис раз менше), то, для того щоб газ використовувати в якості моторного палива на транспортному засобі, його необхідно попередньо підготувати, що вважається одним з недоліків газового палива і створює значні незручності в процесі експлуатації.

Тому ПГ необхідно стиснути до високих тисків 20-25 МПа і заправити ним спеціальні балони, отримати з ПГ метанол або перевести його у рідкий стан, охолодивши до температури  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  і помістити у теплоізольовану ємність. Балони для ПГ мають значну масу – 93 кг важить балон з вуглецевої сталі і 62,5 кг з



легованої. Необхідність у забезпеченні достатнього пробігу для переобладнаного автомобіля примушує використовувати для зберігання стиснутого газу 8-10 таких балонів, що значно зменшує вантажопідйомність автомобіля – на 500-800 кг. До того ж значна маса газових балонів стримує процес переобладнання легкових автомобілів. Тому постійно ведуться пошуки нових матеріалів для виробництва більш легких балонів. Так фірмою Ullit розроблено ємністю 80 л для ПГ, який виготовлений з матеріалу на основі поліетилену з оболонкою з двох шарів відповідним чином орієнтованих вуглепоксидних волокон. Маса балону становить 27 кг при співвідносній міцності, що в три рази менше маси балона із сталі [12].

### **1.3 Вплив регулювальних параметрів на паливну економічність і екологічні показники переобладнаних автомобілів**

Робочі процеси двигуна на бензині та природному газі в цілому схожі, проте їх показники значно відрізняються і цим обумовлюють різні характери регулювань. Індикаторний ККД бензинового двигуна при тих же значеннях складу робочої суміші вищий, аніж у газового. Разом з тим максимум ККД двигуна на газовому паливі відповідає більш бідним паливоповітряним сумішам. Тобто, для бензинового двигуна оптимальний по економічності коефіцієнт надміру повітря  $\alpha=1,1$ , а для газового двигуна  $\alpha=1,3$ . Отже, газовий варіант двигуна вимагає регулювань паливної системи в режимах холостого ходу, часткових та середніх навантажень, орієнтованих на збіднений склад робочої суміші [13]. Порушення цієї умови призводить до погіршення паливної економічності та падіння потужності двигуна.

В роботі [14] досліджувався вплив  $\alpha$  на енергетичні, економічні та екологічні показники газового двигуна створеного на базі автомобіля ЗИЛ-130 з різними  $\epsilon$ . Отримані дані показують, що з точки зору забезпечення мінімальної токсичності газового двигуна доцільно працювати на збіднених  $\alpha$ , хоча в цих випадках погіршується паливна економічність. Наприклад, для  $\epsilon = 8$  збіднення  $\alpha$  до 1,2... 1,25

при  $n_d = 2000 \text{ хв}^{-1}$  дозволяє зменшити сумарну токсичність на 12...19 %. Питома витрата палива зростає на 3,6...5,1 %. Така втрата економічності прийнятна, оскільки при стандартних регулюваннях системи живлення збільшення  $\varepsilon$  з 6,5 до 8,0 на даному режимі зменшує витрату палива на 9 %.

В роботі [15] досліджувався вплив  $\alpha$  на основні показники роботи газового двигуна у разі живлення ПГ, при різних регулюваннях системи живлення: зі стандартними регулюваннями системи живлення ( $\alpha = 1,18$ ) на бідній ( $\alpha=1,3$ ) та збагаченій ( $\alpha = 1,02$ ). Як показує аналіз залежностей, при збагаченні  $\alpha$  потужність ГД зростає на 5 – 9,5 %, але при цьому погіршується паливна економічність. Витрата палива зростає на 4 – 9 %. Екологічні показники також суттєво залежать від складу суміші, зокрема оксид вуглецю CO, при збагаченні суміші зростає до 1,7 %, у той час як при стандартних регулюваннях та збідненій суміші цей показник знаходиться на рівні 0,02 – 0,03 %.

В роботі [16] досліджувався вплив  $\alpha$  на ефективні та екологічні показники газового двигуна переобладнаного з дизеля Д-240. Було відмічено, що для зниження ШР у ВГ газового двигуна необхідно забезпечити доцільне значення складу  $\alpha$  на всіх режимах його роботи. Так для режимів холостого ходу і максимальних навантажень необхідно забезпечувати роботу газового двигуна при  $\alpha = 0,98... 1,08$ , а на режимах середніх навантажень – при  $\alpha = 1,1... 1,4$ .

В роботі [17] досліджувався  $\alpha$  в газовому двигуні БГЧ13/14 з високоенергетичною системою запалювання (СЗ). Для обраних коефіцієнтів  $\alpha$  здійснювався вибір значень кута випередження запалювання (КВЗ), що забезпечують максимальний ефективний ККД. Таким чином, для отримання найкращої паливної економічності доцільним є забезпечення  $\alpha$  в межах 1,25... 1,32.

Ще одним із важливих регульовальних параметрів є КВЗ, який також впливає на показники ГД з іскровим запалюванням.

Встановлено, що оптимальні значення КВЗ газового двигуна на ПГ на режимі максимальної економічності ( $\alpha=1,3$ ) більші, ніж на бензині в тому самому режимі ( $\alpha = 1,1$ ). КВЗ газового двигуна повинен бути збільшений до оптимального значення, яке повинно бути визначене з достатньою точністю та науково

обґрунтовано [18]. Також бажано використовувати спеціальні свічки запалювання для газового двигуна.

Слід відзначити, що в умовах експлуатації найдоступнішим способом, який дозволяє змінювати кут випередження запалювання – це регулювання його установочного значення. Разом з тим бажано було б оптимізувати “під газ” характеристики електричного розряду на свічці запалювання (режим роботи, енергія та тривалість іскри, амплітуда напруги, зазор між електродами), що особливо впливає на викиди  $\text{NO}_x$ . Така оптимізація системи запалювання двигуна дозволяє стабілізувати мінімальну частоту обертання колінчастого валу двигуна в режимі холостого ходу на рівні 450-500  $\text{хв}^{-1}$  і, як наслідок, знизити (до 18 %) годинну витрату палива, суттєво зменшити викиди ШП з відпрацьованими газами в цьому режимі [19], а також зменшити питому витрату палива в навантажувальних режимах.

В роботі [15] розрахунково-теоретичним шляхом встановлено, що при живленні ПГ двигун 8Ч 10,0/9,5 (ЗИЛ-508.10) з установочним КВЗ 10,5<sup>+1</sup> витрачає на 1 % менше ПГ, має на 1,4 % менші викиди СО, ніж із значенням установочного КВЗ 9<sup>0</sup>, яке рекомендується технічною літературою для випадку роботи на ПГ. Разом з тим викиди СН зростають на 2,8 %,  $\text{NO}_x$  на 5,2 %, але у випадку з  $\text{NO}_x$  це на 47 % менше, ніж під час роботи на бензині зі стандартними регулюваннями СЗ.

Також в роботі [16] визначено доцільні значення КВЗ в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів газового двигуна за критерієм мінімальної питомої ефективної витрати палива на кожному режимі. Визначено практичний ефект від оптимізації КВЗ шляхом порівняння навантажувальних характеристик газового двигуна при дослідній та оптимально відрегульованій СЗ.

В роботі [17] проведено порівняння екологічних та економічних показників двопаливного двигуна МеМЗ-307 під час роботи на ПГ і газового двигуна 4ГЧ7,5/7,35. Дослідження показали, що використання чисто газового двигуна з іскровим запалюванням, у якому реалізована концепція «бідного горіння» палива, впроваджена високоенергетична СЗ і змішане регулювання потужності, замість двопаливного, забезпечує підвищення ефективного ККД на 5... 15 % в залежності

від режиму роботи та зменшення викидів ШП з ВГ за їздовим циклом NEDC:  $\text{NO}_x$  – на 86,4 %, CO – на 26,1 %, CH – на 43,3 %. До того ж, використання високоенергетичної СЗ покращує пуск двигуна в холодну пору року.

Кут випередження запалювання на різних режимах роботи безпосередньо впливає на емісію ШП. Проте необхідно враховувати той факт, що регулювання по токсичності можуть погіршувати деякі їздові якості, збільшувати витрати палива і знижувати потужність двигуна.

При цьому необхідно відзначити, що в умовах експлуатації регульовальні параметри, зокрема кут випередження запалювання повинен автоматично змінюватись в залежності від виду палива.

З розглянутих вище, регульовальних параметрів, не досліджувався вплив деяких конструктивних параметрів: зазор в свічці запалювання, теплові зазори в клапанах, на експлуатаційні показники переведених газових двигунів.

Таким чином, на сьогоднішній день актуальні дослідження які направлені на вивчення закономірностей зміни викидів ШП з ВГ газового двигуна вантажного автомобіля при роботі на ПГ в залежності від експлуатаційних, конструктивних та регульовальних параметрів двигуна.

## **2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕГУЛЮВАНЬ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ЗА СКЛАДОМ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ**

### **2.1 Мета і задачі експериментальних досліджень**

Метою експериментальних досліджень є визначення оптимальних регулювань газового двигуна за складом ШР у ВГ. Згідно поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- визначення екологічних показників газового двигуна в залежності від зміни кута випередження запалювання;
- визначення екологічних показників газового двигуна в залежності від зміни зазору в електричній свічці запалювання;
- визначення екологічних показників газового двигуна в залежності від зміни теплових зазорів у клапанах.

### **2.2 Об'єкт експериментальних досліджень**

Експериментальні дослідження проводились на автомобілі ГАЗ-3307, який обладнаний газобалонним обладнанням для живлення ПГ (рис. 2.1).



Рисунок. 2.1 – Загальний вигляд експериментального автомобіля

Коротка технічна характеристика двигуна автомобіля ГАЗ-3307 наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика двигуна автомобіля ГАЗ-3307 з газобалонним обладнанням

| № з/п | Найменування показників                        | Характеристики показників двигунів   |
|-------|--|--------------------------------------|
|       |  | газовий на базі бензинового          |
| 1.    | Тип  | Бензиновий, 4-тактний, карбюраторний |
| 2.    | Число і розміщення циліндрів                   | 8, V-подібне                         |
| 3.    | Робочий об'єм, л                               | 4,67                                 |
| 4.    | Діаметр циліндра і хід поршня, мм              | 92/88                                |
| 5.    | Ступінь стиску                                 | 7,6                                  |
| 6.    | Номінальна потужність, кВт                     | 74                                   |
| 7.    | Максимальний крутний момент, Нм                | 240                                  |
| 8.    | Номінальна частота обертання, хв <sup>-1</sup> | 3200                                 |
| 9.    | Спосіб сумішоутворення                         | зовнішнє                             |
| 10.   | Паливо   | ІІІ                                  |
| 11.   | Спосіб запалювання пальної суміші              | примусове від іскри                  |

### 2.3 Загальна характеристика лабораторно-діагностичного обладнання

Склад ВГ на холостому ході двигуна аналізувався за двома компонентами: оксид вуглецю –  $CO$  та вуглеводні –  $CH$ . Для проведення вимірювань вмісту ШР у ВГ газового двигуна використовувався газоаналізатор Інфракар М (рис. 2.2).

Прилади, обладнання і методи випробувань відповідали ДСТУ 4277:2004 Атмосфера. Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі [20].

Газоаналізатор Інфракар М призначений для вимірювання об'ємної частки  $CO$ ,  $CH$ ,  $CO_2$ , кисню  $O_2$  у ВГ. У газоаналізаторі є канал для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна, та здійснюється розрахунок коефіцієнта надлишку повітря  $\lambda$ .





Рисунок 2.2 – Газоаналізатор Инфракар М

Тахометр призначений для вимірювання та відображення в цифровому вигляді частоти обертання колінчастого вала 2-х, 4-х, 6 і 8 циліндрових чотиритактних двигунів внутрішнього згоряння, з безконтактною і контактною системою запалення з високовольтним розподілом. Вид панелі газоаналізатора Инфракар М показаний на рис. 2.3.

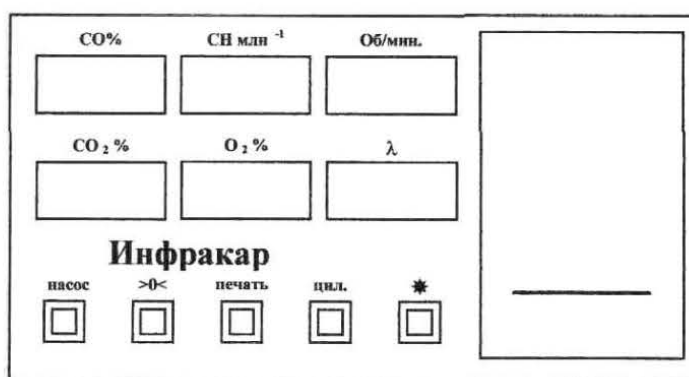


Рисунок 2.3 – Вид панелі газоаналізатора Инфракар М: насос – вмикання або вимикання насоса газоаналізатора; <0> – автоматичне налаштування нулів на всіх каналах (крім  $O_2$ ); печать – друк вимірювальних величин; цил – введення в прилад числа циліндрів двигуна автомобіля; \* – регулювання яркості індикаторів приладу

## 2.4 Загальна методика експериментальних досліджень

Перед проведенням експериментальних досліджень двигуна діагностували та регулювали згідно нормативно-технічних вимог. В експериментальних дослідженнях вимірювались  $CO$  і  $CH$  в ВГ в залежності від регулювальних параметрів газового двигуна:

- кута випередження запалювання;
- зазору між електродами свічки запалювання;
- теплових зазорів у впускних та випускних клапанах.

При вирішенні питань, які пов'язані з поставленими завданнями досліджень, в результаті їх теоретичного розгляду було виявлено, що необхідно визначати залежності зміни вмісту  $CO$  і  $CH$  в ВГ газового двигуна при різних значеннях регулювань. Методика досліджень передбачає вивчення взаємозв'язків ШВ з показниками регулювань газового двигуна, кожного окремо при умові, що всі інші відповідають нормативним нормам.

Вміст  $CO$  і  $CH$  в ВГ залежить від кута випередження запалювання.

Вагомими факторами, якими потрібно керуватися при виборі оптимальних значень кута випередження запалювання, є те, що швидкість згоряння газоповітряної суміші менша, а період затримки запалювання більший, ніж бензоповітряної суміші. Особливо важливо, що оптимальні значення кута випередження запалювання на газовому паливі в режимі максимальної економічності ( $\alpha=1,3$ ) більші, ніж на бензині в тому самому режимі ( $\alpha=1,1$ ). При цьому цікаво, що з підвищенням ступеня стискання базового двигуна дана різниця зменшується. З цього випливає, що при зміні виду палива з бензину на природний газ кут випередження запалювання повинен бути збільшений до оптимального значення, яке повинно бути визначене з достатньою точністю та науково обґрунтовано.

Кут випередження запалювання по нормативно-технічним вимогам встановлюється на мінімальних обертах холостого ходу двигуна. Перед встановленням кута необхідно відєднати вакуум-коректор. В двигуні автомобіля



ГАЗ-3307 кут випередження запалювання контролюється міткою на маховику. В експериментальних дослідженнях кут випередження запалювання встановлювали за допомогою стробоскопічної лампи за мітками на маховику. Використовуючи позначки на маховику і мітку на кожусі двигуна, експерименти проводили, починаючи з запізнення на  $2^{\circ}$  до випередження запалювання  $12^{\circ}$  з інтервалом  $2^{\circ}$ . Експерименти при різних кутах випередження запалювання проводились в відповідності з методикою [20].

Нормальна робота іскрових свічок запалювання суттєво впливає на паливну економічність та екологічність газового двигуна. У свічки, яка відповідає по тепловій характеристиці досягає  $400-900^{\circ}\text{C}$ , при яких на контактах свічки не буде спостерігатись утворення нагару. При цьому відбувається в основному тільки електрична ерозія електродів в процесі іскроутворення, що потребує періодичних регулювань зазору між електродами.

Але при умові, що двигун працює на ПГ, враховуючи особливості горіння газо-повітряних сумішей та підвищеного їх електричного опору. Через це струм високої напруги не може забезпечити іскри між електродами свічки. В результаті відбувається пробій іскри. Цю проблему можна вирішити шляхом зменшення міжелектродного зазору. В роботі [21] зазор в свічці запалювання газового двигуна рекомендують зменшувати до  $0,7$  мм. При цьому слід пам'ятати, що зазор не можна зменшувати менше  $0,7$  мм. В іншому разі погіршиться якість запалювання паливо-повітряної суміші, що може призвести до зниження потужності і підвищення витрати палива.

Для виявлення залежності вмісту  $\text{CO}$  і  $\text{CH}$  в ВГ газового двигуна від зазору між електродами свічки запалювання проведені серії експериментів. Заміри проводились при регулюваннях зазорів всіх циліндрів одночасно. Зазори змінювались від  $0,4$  до  $1,2$  мм з інтервалом  $0,1$  мм. Експерименти при різних зазорах в свічках запалювання проводились в відповідності з методикою [20].

Зміна теплових зазорів впускних та випускних клапанів пов'язана з режимами відкриття та закриття клапанів. При малих теплових зазорах, клапане не

будуть закриватися, викликаючи перебої запалювання, при цьому будуть спостерігатись збільшені викиди *СН*.

Враховуючи особливості горіння газо-повітряних сумішей, а саме час горіння збільшується в порівнянні з бензо-повітряними. На деяких режимах роботи газового двигуна процес згорання може закінчуватись під час процесу випуску. По цій причині випускні клапани можуть перегріватись і при цьому теплові зазори в механізмі зменшуються. Тому для газових двигунів необхідно регулювати тепловий зазор в клапанах в сторону збільшення на 0,1-0,2 мм [22].

При дослідженні теплові зазори змінювали, використовуючи нормативні дані регулювань. Зазори змінювались в інтервалі від 0 до 0,6 мм з кроком 0,1 мм. Зазори, передбачені методикою встановлювались окремо на впускні та випускні клапани.

### З РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕГУЛЮВАНЬ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ЗА СКЛАДОМ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ

#### 3.1 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від кута випередження запалювання

При зміні кута випередження запалювання міняється момент іскроутворення по відношенню з положенням поршня до верхньої мертвої точки (вмт). Якщо випередження запалювання сильно збільшено, то запалювання горючої суміші відбувається до того як поршень підійде до вмт при цьому з'являються наступні симптоми: двигун нестійко працює, хлопки в карбюраторі, детонація, перегрів, погіршення тяги та ін. При запізненні кута випередження запалювання спостерігаються «провали» в роботі двигуна, ривки, чорний дим із глушника та ін.

Залежності вмісту  $CO$  і  $CH$  в ВГ газового двигуна від кута випередження запалювання показані на рис. 3.1.

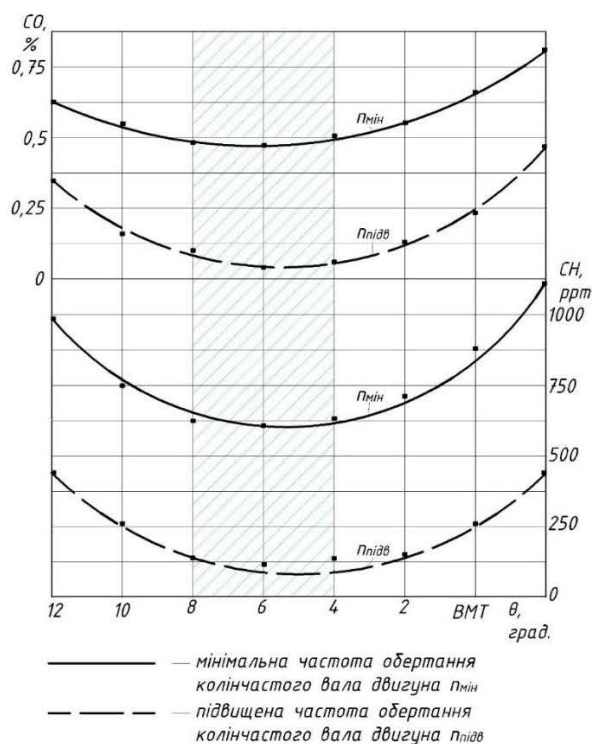


Рисунок 3.1 – Залежності вмісту  $CO$  і  $CH$  в ВГ газового двигуна від кута випередження запалювання

На рис. 3.1 показані результати залежності вмісту ШР з ВГ від кута випередження запалювання. Із аналізу залежності видно, що вміст  $CO$  у ВГ змінюється з 0,79 % до 0,46 % на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 0,45 до 0,04 % на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального значення кута випередження запалювання на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується з 36 до 90 %.

Вміст  $CH$  у ВГ змінюється з 1115 ppm до 607 ppm на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 415 ppm до 120 ppm на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CH$  у ВГ, при виборі оптимального значення кута випередження запалювання на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 29...54 %.

Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальним кутом випередження запалювання є  $6^{\circ}$  кута повороту колінчастого вала двигуна. З даних попередніх досліджень кут випередження запалювання бензинового двигуна на даних режимах становить  $2^{\circ}$  кута повороту колінчастого вала двигуна [23]. Тобто встановлено, що даний регульовальний параметр потрібно змінювати для газових двигунів в сторону запізнення на  $4-6^{\circ}$ .

### **3.2 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від зазору між електродами свічки запалювання**

Нормальна робота іскрових свічок запалювання суттєво впливає на паливну економічність та екологічність газового двигуна.

Результати експериментальних досліджень вмісту ШР в ВГ газового двигуна від зазору між електродами свічки запалювання показані на рис. 3.2.

На рис. 3.2 показані результати залежності вмісту ШР з ВГ від зазору між електродами свічки запалювання. Із аналізу залежності видно, що вміст  $CO$  у ВГ змінюється з 0,25 % до 0,12 % на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 0,58 до 0,32 % на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CO$  у

ВГ, при виборі оптимального зазору між електродами свічки запалювання на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 48... 55 %.

Вміст  $CH$  у ВГ змінюється з 1265 ppm до 725 ppm на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 740 ppm до 305 ppm на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CH$  у ВГ, при виборі оптимального зазору між електродами свічки запалювання на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується з 41 до 57 %.

Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальними зазорами між електродами свічки запалювання є 0,7-0,8 мм. З даних попередніх досліджень оптимальними зазорами між електродами свічки запалювання бензинового двигуна на даних режимах є 0,9 мм [23]. Тобто встановлено, що даний регульовальний параметр потрібно змінювати для газових двигунів на 0,1-0,2 мм.

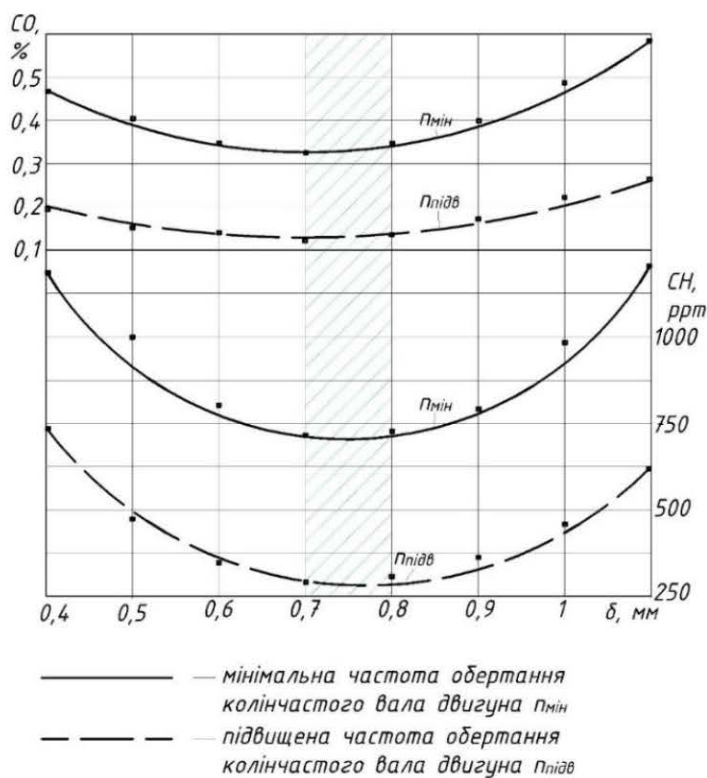


Рисунок 3.2 – Залежності вмісту  $CO$  і  $CH$  в ВГ газового двигуна від зазору між електродами свічки запалювання

### **3.3 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від теплового зазору впускних і випускних клапанів**

Величина теплового зазору в впускних та випускних клапанах впливає на склад ШР в ВГ газового двигуна.

При збільшенні теплового зазору впускного клапана його відкриття буде запізнюватись, а закриття випереджати. Процес впуску по часу в цьому випадку буде скорочений, наповнення циліндрів не повним. Зменшення зазору по відношенню до нормального приводить до того, що клапан починає відкриватись раніше, а момент закриття запізнюється і в обох випадках процес газообміну буде порушений. Такі порушення роботи механізму газорозподілу впливають на склад відпрацьованих газів.

#### **3.3.1 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від теплового зазору впускного клапана**

Результати експериментальних досліджень вмісту ШР в ВГ газового двигуна від теплового зазору впускного клапана показані на рис. 3.3.

На рис. 3.3 показані результати залежності вмісту ШР з ВГ від теплового зазору впускного клапана. Із аналізу залежності видно, що вміст  $CO$  у ВГ змінюється з 0,53 % до 0,46 % на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 0,15 до 0,08 % на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального теплового зазору впускного клапана на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 14...53 %.

Вміст  $CH$  у ВГ змінюється з 1290 ppm до 1020 ppm на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 420 ppm до 130 ppm на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CH$  у ВГ, при виборі оптимального теплового зазору впускного клапана на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується з 21 до 30 %.

Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальними тепловими зазорами впускного клапана є 0,5-0,6 мм. З нормативних даних на двигун ЗМЗ



оптимальними тепловими зазорами впускного та випускного клапанів бензинового двигуна є 0,25-0,3 мм [24]. Тобто встановлено, що даний регульовальний параметр потрібно змінювати для газових двигунів на 0,2-0,3 мм.

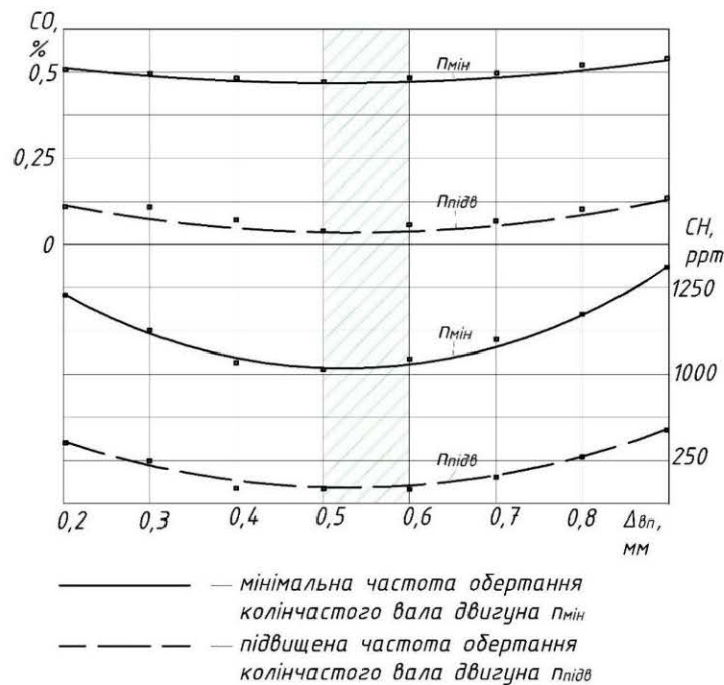


Рисунок 3.3 – Залежності вмісту  $CO$  і  $CH$  в ВГ газового двигуна від теплового зазору впускного клапана

### 3.3.2 Залежність вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах газового двигуна від теплового зазору випускного клапана

Результати експериментальних досліджень вмісту ШР в ВГ газового двигуна від теплового зазору випускного клапана показані на рис. 3.4.

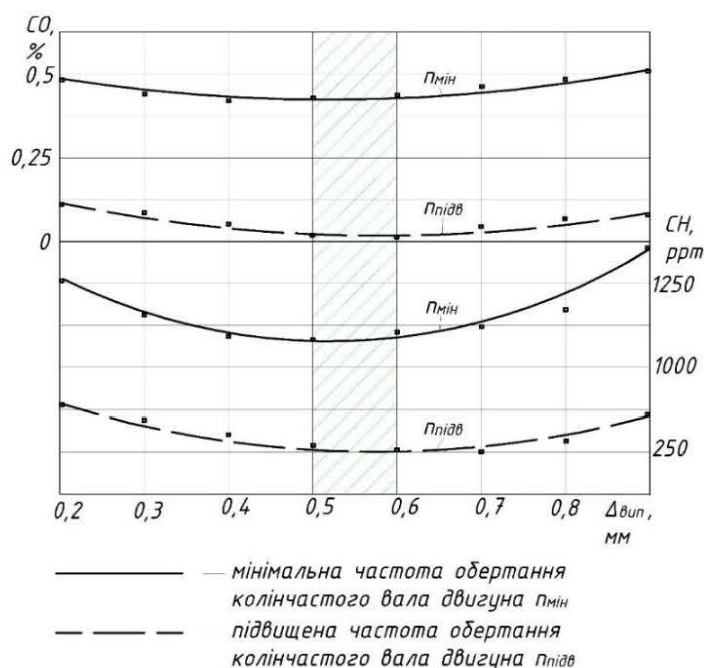


Рисунок 3.4 – Залежності вмісту  $CO$  і  $CH$  в ВГ газоподобного двигуна від теплового зазору випускного клапана

На рис. 3.4 показані результати залежності вмісту ППР з ВГ від теплового зазору випускного клапана. Із аналізу залежності видно, що вміст  $CO$  у ВГ змінюється з 0,51 % до 0,39 % на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 0,12 до 0,04 % на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального теплового зазору випускного клапана на даних режимах роботи газоподобного двигуна, зменшується на 24...33 %.

Вміст  $CH$  у ВГ змінюється з 1375 ppm до 1075 ppm на мінімальних обертах колінчастого вала двигуна та з 510 ppm до 255 ppm на підвищених обертах колінчастого вала двигуна. Вміст  $CH$  у ВГ, при виборі оптимального теплового зазору випускного клапана на даних режимах роботи газоподобного двигуна, зменшується з 22 до 50 %.

Для даних режимів роботи газоподобного двигуна оптимальними тепловими зазорами випускного клапана є 0,5-0,6 мм. З нормативних даних на двигун ЗМЗ оптимальними тепловими зазорами впускного та випускного клапанів бензинового двигуна є 0,25-0,3 мм [24]. Тобто встановлено, що даний регульовальний параметр потрібно змінювати для газових двигунів на 0,2-0,3 мм.



## ВИСНОВКИ

1. Визначено, що на сьогоднішній день ПГ розглядається як альтернативний заміник нафтових палив. Вибрано об'єкт теоретичних досліджень, ними є вантажний автомобіль ГАЗ-3307 з газобалонним обладнанням. Для дослідження вибору оптимальних регулювань газового двигуна за складом ВГ вибрано лабораторно-діагностичного обладнання. Склад ВГ діагностувався за допомогою газоаналізатора Инфракар М по методикам ДСТУ 4277:2004.

2. Встановлено залежність вмісту ШР в ВГ газового двигуна від кута випередження запалювання. Так вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального значення кута випередження запалювання на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 36...90 %. Вміст  $CH$  у ВГ зменшується на 29...54 %. Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальним кутом випередження запалювання є  $6^0$  кута повороту колінчастого вала двигуна.

3. Встановлено залежність вмісту ШР в ВГ газового двигуна від зазору між електродами свічки запалювання. Так вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального зазору між електродами свічки запалювання на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 48...55 %. Вміст  $CH$  у ВГ зменшується на 41...57 %. Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальними зазорами між електродами свічки запалювання є 0,7-0,8 мм.

4. Встановлено залежність вмісту ШР в ВГ газового двигуна від теплового зазору впускного клапана. Так вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального теплового зазору впускного клапана на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 14...53 %. Вміст  $CH$  у ВГ зменшується на 21...30 %. Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальними тепловими зазорами клапана є 0,5-0,6 мм.

5. Встановлено залежність вмісту ШР в ВГ газового двигуна від теплового зазору випускного клапана. Так вміст  $CO$  у ВГ, при виборі оптимального теплового зазору випускного клапана на даних режимах роботи газового двигуна, зменшується на 24...33 %. Вміст  $CH$  у ВГ зменшується на 22...50 %. Для даних режимів роботи газового двигуна оптимальними тепловими зазорами випускного клапана є 0,5-0,6 мм.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Weide J. Europe's Auto/Oil 2 Program, understanding the cost-benefits of NGV's // IANGV Review Papers of "7<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles". – Yokohama, Japan. – 2000. – October 17-19. – P. 63-74.
2. Zakharchuk V.I. The Choice of Rational Type of Fuel for Technological Vehicles / V.I. Zakharchuk, I.V. Gritsuk, O.V. Zakharchuk, A.I. Golovan // SAE Technical Paper 2018-01-1759, doi:10.4271/2018-01-1759.
3. Zaharchuk V. Evaluation of Energy and Ecological Indicators of Motor Biofuels / V. Zaharchuk, O. Zaharchuk, V. Dembitskij // Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.
4. Хачиян А.С. Использование природного газа в качестве топлива для автомобильного транспорта / А.С. Хачиян // Двигателестроение: – 2002. – № 1. – С. 34-36.
5. How many are there? // NGV Worldwide. – 2002. – February. – P. 12.
6. Коросташевский М.С. Стимулирование в США использования грузовых автомобилей, работающих на альтернативном топливе / М.С. Коросташевский // Грузовик. – 2001. – № 6. – С.
7. Дажин В. Кого греет газовое топливо? / В. Дажин, А. Лещенко, Е. Дёмин, А. Востров // Автомобильный транспорт: – 2002. – № 6. – С. 34-35.
8. Морев А.И. Эксплуатация и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей / А.И. Морев, В.И. Ерохов. – М.: Транспорт, 1988. – 184 с.
9. Филиппов В. ГАЗы на газе / В. Филиппов // Автомобильный транспорт. – 1991. – № 4. – С. 38-39.
10. Райков И.Я. Двигатель ЗМЗ-53. Работа на сжатом природном газе / И.Я. Райков, В.М. Жабин, А.В. Сергиевский // Автомобильная промышленность. – 1995. – № 6. – С. 30.
11. Морев А.И. Устройство и обслуживание газобаллонных автомобилей / А.И. Морев, И.П. Плеханов. – М.: ДОСААФ, 1987. – 141 с.

12. Мининзон В.И. Баллон для сжатого природного газа системы питания транспортных двигателей / В.И. Мининзон // Реферативный журнал: Автомобильный и городской транспорт: – 1995. – № 9. – С. 34.

13. Васильев Ю.Н. Опыт эксплуатации автомобилей, работающих на газе / Ю.Н. Васильев, А.И. Гриценко, Л.С. Золотаревский, С.И. Ксенофонтов, Р.О. Самсонов. – М.: ВНИИЭгазпром, 1990. – 59 с.

14. Яновський В.В. Покращення паливної економічності та екологічних показників конвертованих газових двигунів дорожніх транспортних засобів. Дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / В.В. Яновський. – Київ, 2004. – 198 с.

15. Сидоренко Р.В. Покращення паливної економічності і зменшення токсичності автомобілів з двигунами, переведеними з бензину на газ. Дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Р.В. Сидоренко. – Київ, 2004. – 261 с.

16. Козачук І.С. Покращення індикаторних, ефективних та екологічних показників газових двигунів, переобладнаних з дизелів. Дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / І.С. Козачук. – Луцьк, 2008. – 186 с.

17. Кабанов О.М. Зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами транспортних дизелів шляхом конвертування їх в газові двигуни. Дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / О.М. Кабанов. – Харків, 2008. – 206 с.

18. Набиев З.Б. Разработка системы обнаружения детонации и управления процессом сгорания в газовых двигателях / З.Б. Набиев // Поршневые и газотурбинные двигатели. Экспресс-информация. Министерство науки, высшей политики Российской Федерации. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ). – Москва – 1993. – № 38. – С. 6–21.

19. Базаров Б.И. Для улучшения показателей газовых двигателей и газодизелей // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 11. – С. 13-14.

20. Атмосфера. Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі: ДСТУ 4277:2004. – [Чинний від 2004-01-31]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 8 с. – (Національний стандарт України).

21. ГБО: як відновити старі свічки або адаптувати нові для роботи на газі / Авто Центр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журналу: <https://www.autocentre.ua/ua/opyt/gbo/gbo-kak-vosstanovit-starye-svechi-ili-adaptirovat-novye-dlya-raboty-na-gaze-362153.html>.

22. Регулировка клапанов под газобаллонное оборудование. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журналу: <https://www.gaz-na-avto.com.ua/regulirovka-klapanov-gbo.php>.

23. Александров Н.П. Диагностирование бензинового двигателя по составу отработавших газов на основе выключения цилиндров. Дис. канд. техн. наук: 05.20.03 / Н.П. Александров. – Иркутск, 2004. – 154 с.

24. ГАЗ-3307, ГАЗ-3309. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. М.: Третий Рим, 2007. – 188 с.

## ДОДАТОК А

### Методика заміру шкідливих речовин у відпрацьованих газах газового двигуна

Послідовність проведення вимірювання для двигунів з іскровим запалюванням проводиться наступним чином: зовнішнім оглядом необхідно перевірити комплектність, задовільність стану і відсутність нещільностей у з'єднаннях випускної системи автомобіля, системи нейтралізації ВГ (за наявності) та інших пристроїв, які передбачені конструкцією автомобіля і призначені для зменшення викидів забруднювальних речовин. Випускна система не повинна мати прогарів і механічних пробоїв.

За наявності бортової системи діагностування необхідно переконатися, що діагностичний індикатор не сигналізує про несправну роботу двигуна і його систем.

Перед вимірюванням двигун має бути прогрітим так, щоб температура охолоджувальної рідини чи моторної оливи була в межах діапазону робочих температур за рекомендаціями підприємства-виробника.

Вимірювати необхідно в такій послідовності:

- встановити важіль перемикачання передач (вибирач швидкості для автомобілів з автоматичною коробкою передач) у нейтральне положення;
- загальмувати автомобіль стоянковим гальмом;
- зупинити двигун (якщо він працював);
- підкласти під колеса автомобіля упорні колодки;
- відкрити капот моторного відсіку;
- під'єднати тахометр та пристрій для вимірювання температури моторної оливи;
- занурити пробовідбиральний зонд газоаналізатора у випускну трубу автомобіля на глибину не менше ніж 300 мм від зрізу (у разі косого зрізу заміряють від короткої кромки зрізу);
- запустити двигун;

- збільшити частоту обертання колінчастого вала двигуна до  $n_{\text{підв}}$  і витримати цей режим протягом не менше ніж 30 с (у разі випробовування автомобіля з нейтралізатором необхідно витримати цей режим протягом 2–3 хв за температури повітря вище ніж 0 °С та протягом 3–5 хв за температури нижче ніж 0 °С);

- встановити мінімальну частоту обертання колінчастого вала двигуна  $n_{\text{мін}}$  і після стабілізування показів газоаналізатора, але не пізніше ніж через 60 с, виміряти вміст  $CO$  і  $CH$ ;

- встановити підвищену частоту обертання колінчастого вала двигуна  $n_{\text{підв}}$  і після стабілізування показів газоаналізатора, але не пізніше ніж через 60 с, виміряти вміст  $CO$  і  $CH$ .

Якщо автомобіль має декілька випускних труб, то вимірювання необхідно проводити в кожній з них окремо. За результат вимірювання беруть більший із одержаних результатів вимірювання вмісту оксиду вуглецю і вуглеводнів у кожній із випускних труб.

Вміст  $CO$  та  $CH$  у ВГ автомобілів, не обладнаних нейтралізаторами, не повинен перевищувати межі, наведені у таблиці 2.4.

Таблиця А1 – Гранично допустимий вміст  $CO$  та  $CH$  у ВГ автомобілів, не обладнаних нейтралізаторами

| Паливо, на якому працює двигун | Частота обертання | $CO$ , об'ємна частка, % | $CH$ , об'ємна частка, млн <sup>-1</sup> , для двигунів з числом циліндрів |              |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------|--|--------------|
|                                |                   |                          | до 4 включно   | більше ніж 4 |
| Бензин                         | $n_{\text{мін}}$  | 3,5*                     | 1200   | 2500         |
|                                | $n_{\text{підв}}$ | 2,0                      | 600  | 1000         |
| ПГ                             | $n_{\text{мін}}$  | 1,5                      | 600  | 1800         |
|                                | $n_{\text{підв}}$ | 1,0                      | 300  | 600          |
| ЗНГ                            | $n_{\text{мін}}$  | 3,5                      | 1200   | 2500         |
|                                | $n_{\text{підв}}$ | 1,5                      | 600  | 1000         |

\* Для автомобілів, уперше зареєстрованих до 1 жовтня 1986 р, допустимий вміст оксиду вуглецю становить 4,5 %.

Автомобілі, які можуть працювати як на бензині, так і на газовому паливі (причому одна із систем живлення двигуна є основною, друга - резервною), перевіряють лише за роботи на основному паливі.