

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.3.01

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.3.1/02>**Кудін О.П.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

Дударенко О.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕМПЕРАТУРА УВІМКНЕННЯ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЯК ФАКТОР ПОТЕНЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЯ КАТЕГОРІЇ М1

У даній роботі досліджено фактор потенційної небезпеки неправильного визначення і встановлення граничних температур роботи газобалонного обладнання для автомобілів категорії М1 із розподільним впорскуванням пропан-бутанової суміші при їх налаштуванні. Проаналізовано сучасний стан наукових досліджень щодо роботи газових систем на автомобільному транспорті та теплової підготовки двигуна, що працює на зрідженому нафтовому газі (LPG). Визначено механізм виникнення небезпечних факторів та їх вплив на герметичність і цілісність системи, показано вплив потрапляння пропан-бутанової суміші у рідкому агрегатному стані у ділянку магістралі від газового редуктора до газових форсунок. Описано можливі негативні наслідки таких регулювань, наголошено на недоцільності заниження температур роботи системи з огляду на безпеку експлуатації установки і герметичність паливних магістралей, що розраховані для парової фази пропан-бутанової суміші. Зазначається, що небезпека може становити раптовий миттєвий розрив газопроводу та утворення повільного витоку газу через ослаблені кріплення від термічного стиснення матеріалу гумового шланга, викликаного його замерзанням. На прикладі комплекту обладнання STAG 4 Qbox Plus обґрунтовано оптимальні температурні діапазони, необхідні для коректної роботи газової системи. Наведені рекомендовані значення основних параметрів, необхідних для правильної та безпечної роботи системи. Обговорюється розширений функціонал налаштувань блоку управління STAG Qbox Plus. Однією з його особливостей є можливість активації режиму «скидання надлишкового тиску» через газові форсунки в певних режимах роботи двигуна. Це дозволяє регулювати як межі тиску, так і періодичність відкриття газових форсунок. Акцентовано увагу на особливостях роботи розширеного функціоналу в режимах холостого ходу, під навантаженням і в режимах CUT-OFF.

Ключові слова: газове обладнання, автомобіль категорії М1, температура перемикавання, пропан-бутанова суміш, зріджений нафтовий газ, потенційна небезпека.

Постановка проблеми. Бажання знизити час роботи переобладнаного транспортного засобу на бензині з метою зменшення витрат на бензинове паливо призводить до неправильного обрання діапазону граничних температур роботи газового обладнання автомобіля. Вибір неоптимальних значень зазвичай може призводити до виникнення нештатних режимів роботи обладнання, виникненню ситуацій, що можуть викликати як аварійну зупинку транспортного засобу, так і його загоряння через утворення витоку палива у підкапотний простір. Правильне ж налаштування системи та вибір обґрунтованих значень її параметрів дозволяє зменшити вплив небезпечних факторів

і експлуатувати автомобіль із значною фінансовою економією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання експлуатації транспортних засобів переобладнаних для роботи на зрідженому нафтовому газі в контексті українського законодавства були розглянуті у [1–2]. Фази теплової підготовки двигуна, його прогріву розглянуті у [3–6]. При цьому вченими розглядалась тепла підготовка двигуна з огляду на оптимальні режими роботи в частині економічності, кількості шкідливих викидів та тягових характеристик автомобіля. Питання безпеки виникнення витоку палива через обрані неоптимальні параметри налаштування системи

майже не розглядались і потребують детальної уваги.

Постановка завдання. Метою статті є визначення фактору потенційної небезпеки неправильного налаштування газового обладнання на автомобілі категорії М1, а саме свідоме заниження температурних діапазонів перемикання паливної системи автомобіля для роботи на газі. Визначення і обґрунтування граничних температур зменшить можливість виникнення нештатних випадків роботи системи та унеможливить виникнення загоряння переобладнаного автомобіля або його раптової зупинки.

Виклад основного матеріалу. Вимоги до систем, що застосовуються для переобладнання автомобілів категорії М1 для роботи на зрідженому нафтовому газі мають відповідати вимогам ЄПЕК ООН 67R-01 [1]. Але навіть при дотриманні вимог стандарту ООН існують потенційні фактори небезпеки, що можуть призводити до нештатних режимів роботи обладнання.

В якості прикладу розглядається автомобіль категорії М1 KIA Magentis 2.0 із двигуном G4KA, що був переобладнаний для роботи на зрідженому нафтовому газі із системою STAG Qbox Plus. До складу системи входять блок керування газовим впорскуванням STAG Qbox Plus, редуктор Tomasetto Nordic, датчик температури редук-

тора AC 2,2 kOm, датчик тиску парової фази газу із датчиком розрідження PS04 Plus, газові форсунки STAG W02. Газові форсунки під'єднані до редуктора газовим рукавом Fagumit d12 LPG/CNG з порогом тиску 0,45 МПа, з маркуванням E20 67R/01-110R.

Система управління газовим впорскуванням STAG Qbox Plus при своїй роботі відстежує значення температури газового редуктора через свій датчик температури, що конструктивно встановлюється безпосередньо на газовому редукторі, та температуру парової фракції газу через датчик тиску/температури газу PS-04 Plus. При цьому виробником програмно встановлено нижню температурну межу перемикання в 30 °С. Нижня межа для температури парової фази газу не встановлена і в базових налаштуваннях становить 0 °С. При виході температурних значень за межі допустимого діапазону система припиняє подачу газу і переводить двигун в режим роботи на бензині.

Слід зазначити, що на ринку газового обладнання присутні системи, які не мають власного датчика температури редуктора. В таких системах значення температури системи охолодження зчитується з системи штатної бортової діагностики OBD2. Такий підхід, з точки зору переобладнання і економічності простіший і легший, оскільки не потребує додаткових датчиків і підключень.

З іншого боку, це містить в собі потенційну небезпеку і похибку, оскільки зазвичай штатні датчики температури двигуна знаходяться безпосередньо на блоці двигуна, а редуктор-випаровувач підключається до системи охолодження в стороні. Тому значення температури на самому редукторі-випаровувачі буде відрізнятися від температури двигуна через довжину тосольних рукавів і віддаленість самого редуктора від блоку. Крім того, якість обігріву редуктора буде залежати від стану системи охолодження, якості протоку, стану водяного насоса, радіаторів системи охолодження та системи обігріву салону автомобіля. Зазвичай різниця між температурою блоку двигуна і редуктором-випаровувачем може складати близько 20 °С.

При первинному налаштуванні системи виробником пропонується користувачеві обрати значення базових параметрів, які необхідні для справного функціонування системи.

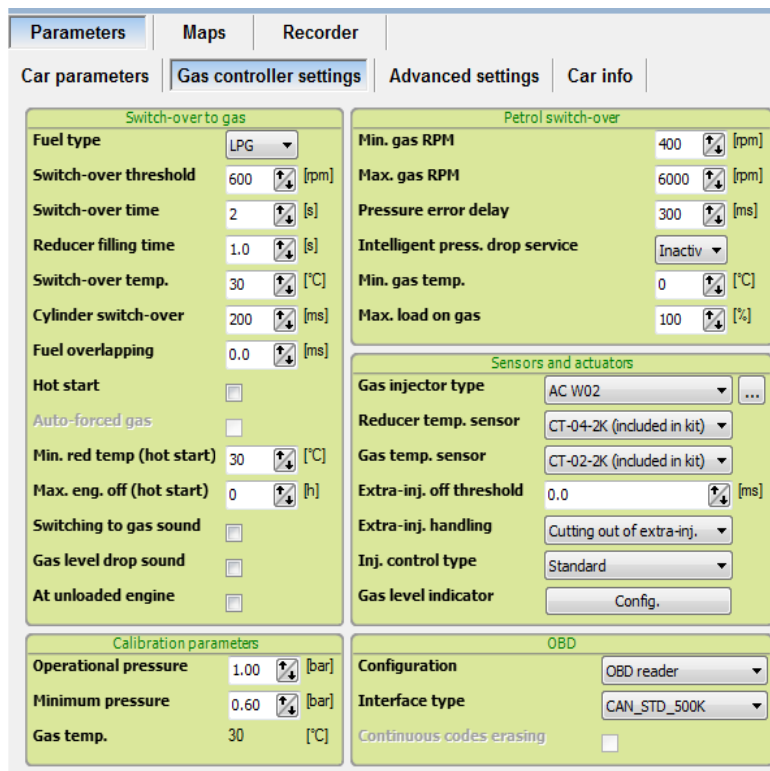


Рис. 1. Вікно введення базових параметрів роботи системи

Вікно введення базових параметрів роботи системи наведено на рисунку 1.

При цьому, за замовчуванням, значення температури редуктора та парової фракції газу, що необхідні для переходу роботи системи на пропан-бутанову суміш, встановлені як 30 °С редуктор і 0 °С газ відповідно. Ці значення не є оптимальними, оскільки повний перехід газової суміші з рідкої у парову відбувається за температури редуктора більше 40 °С [7]. Крім того, системи управління газовим впорскуванням STAG дозволяють припинити подачу газу при падінні температури парової фракції. Рекомендується встановлювати це значення не нижче 5 °С задля унеможливлення обмерзання паливної магістралі, а також запобігання термічного стиснення гумового рукава, внаслідок якого можливе послаблення кріплення і розгерметизація системи.

Слід зазначити, що такі деякі виробники обладнання взагалі не дають можливості користувачеві коригувати значення температур увімкнення установки, та не мають режиму вимкнення подачі палива за критичного зниження температури парової фракції.

На практиці часто зустрічаються ситуації, коли температура перемикання штучно знижується до 20 °С шляхом обрання невірної типу датчику температури з метою зменшення часу роботи автомобіля на бензині. Такий підхід містить в собі ряд небезпечних моментів. За низьких температур газового редуктора спостерігається стрімкий ріст тиску газу через випаровування рідкої фази поза редуктором-випаровувачем на ділянці між редуктором та газовими форсунками.

При перевищенні граничних значень тиску в 0,45 МПа можливий розрив газового рукава магістралі із подальшим витоком газу у підкапотний простір, що являє собою ризик займання паливно-повітряної суміші та загоряння автомобіля. Аварійний випадок розриву газового шлангу через високий тиск у магістралі після редуктора представлено на рисунку 2.

При цьому буде спостерігатися різке падіння тиску газу внаслідок розгерметизації паливної магістралі. Системи, які сертифіковані за стандартом ЄОК ООН 67R-01, містять в собі запорні клапани, що при різкому падінні тиску на ділянці від редуктора до форсунок, протягом 0,3 с перекривають подачу палива і переводять автомобіль для роботи на бензині. Також відомі випадки, коли внаслідок недостатнього прогріву газової суміші відбувається обмерзання магістралі, оскільки температура пропан-бутанової суміші у рідкому стані може сягати -42 °С.

Через вплив низьких температур відбувається термічне стиснення гумового матеріалу магістралі, що також призводить до послаблення хомутного кріплення та розгерметизації системи. При цьому, різкого падіння тиску в магістралі спостерігатися не буде, однак буде присутній постійний виток газу у підкапотний простір, що також становить небезпеку загоряння автомобіля. Зауважимо, що в процесі експлуатації внаслідок впливу температур елементів підкапотного простору та інших експлуатаційних факторів, гумові елементи системи втрачають свої властивості та їх граничні можливості щодо тримання тиску і проб на розрив знижуються. Тому необхідно періодично проводити їх заміну задля безпечної експлуатації установки.

Найбільш оптимальними на сьогоднішній день вважаються значення температури редуктора-випаровувача в 40 °С – для перемикання системи для роботи на газі, і мінімальне значення температури газу, при якому система продовжить роботу – це 5 °С. Зважаючи на те, що контролери газового впорскування STAG можуть працювати із редукторами різних конструкційних типів, в останніх версіях програмного забезпечення була передбачена функція скидання надлишкового тиску (Pressure release) газовими форсунками, рекомендовані значення параметрів якої вказані на рисунку 3.

Процеси впорскування газу за різних значеннях тиску у газовій магістралі на ділянці заміру між редуктором і форсунками розглядалися у [2]. Значення в 1,9 бар було обрано як медіанне середнє між робочим тиском системи в 1,0 бар та граничним тиском, що може витримати гума газова магістраль в 4,5 Бар.



Рис. 2. Розрив газового шлангу через високий тиск у магістралі після редуктора

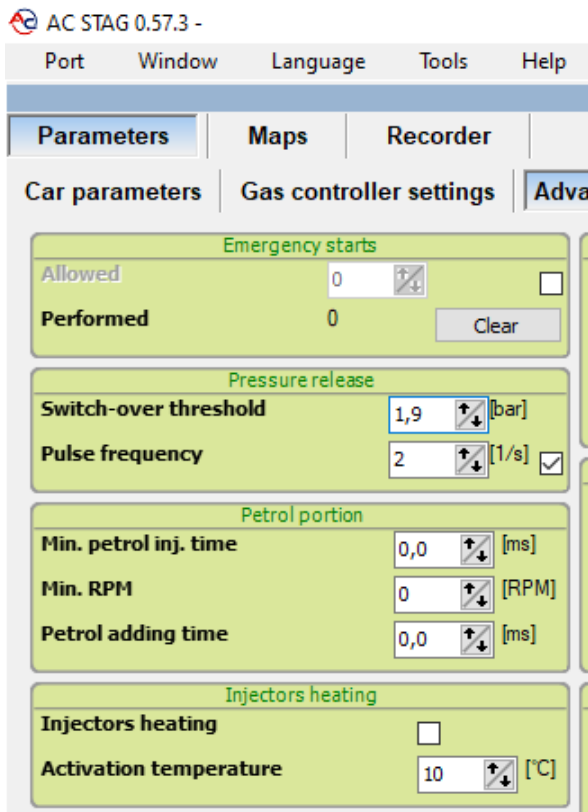


Рис. 3. Оптимальні значення параметрів для функції скидання надлишкового тиску

За обраних параметрів можливо попередити стрімке зростання тиску в газовій магістралі і не доводити його до критичних значень. При цьому слід зауважити, що даний функціонал більше призначений для боротьби із зростанням тиску в динамічних режимах і режимі CUT-OFF. В режимі холостого ходу його застосування може призвести до нестабільної роботи двигуна і вимагатиме коригування значень частоти імпульсів скидання тиску.

Контролери газового впорскування виробника AC Spolka, а саме блоки STAG серії Q (Qbox Basic, Qbox Plus, Qmax Basic, QMax Plus), також мають опцію коригування дози паливо-повітряної суміші відповідно до значень температури газу отриманих з датчику тиску і температури PS-04 Plus, яким комплектуються зазначені системи. Вікно коригування представлено на рисунку 4. Внесення змін можливе через вікно коригування карт у вкладці MAP, із підписом Gas temp.corr.

Зауважимо, що в заводських алгоритмах роботи блоку керування газовим впорскуванням STAG Q-серії вже внесені базові карти температурних корекцій. При цьому використання зазначеної карти безпосередньо не впливає на тиск газу на ділянці від редуктора до газових форсунок, а лише дозволяє адаптувати склад паливно-повітряної суміші у впускний колектор автомобіля.

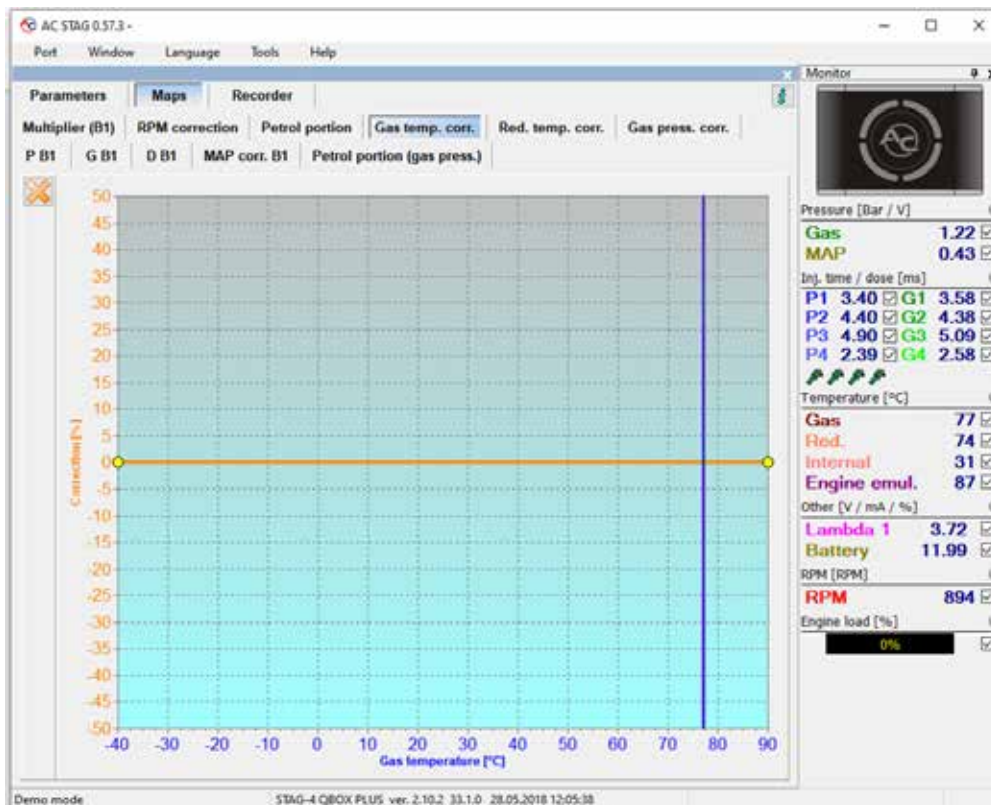


Рис. 4. Вікно налаштування корекції подачі палива в залежності від температури газу

На практиці, іноді зустрічається підхід, при якому діагности намагаються зменшувати відсоток корекції задля роботи системи за низьких температур газу. Таке застосування не рекомендується виробником, а також може призводити до зменшення часу впорскування до такого, що виходить за межі можливостей відпрацювання газовими форсунками. В свою чергу це може призвести до нестабільної роботи двигуна, появи пропусків запалення та неправильної роботи системи.

Доступний в налаштуваннях блоку механізм коригування газової суміші в залежності від тиску газу також розроблений для забезпечення оптимального складу паливно-повітряної суміші під час роботи двигуна автомобіля. Проте він не в змозі впливати на неконтрольований зріст тиску газу при його низьких температурах на етапі

зміни його агрегатного стану з рідкого до газоподібного. Слід зазначити, що цей процес відбувається у магістралі незмінного об'єму і може призводити до її руйнування у випадках виникнення значень тиску, що виходять за межі передбачуваних виробником магістралі.

Висновки. З огляду на викладене, на думку авторів, слід зазначити, що обрання занижених значень температурних меж роботи газового обладнання є значним потенційно небезпечним фактором, нехтування яким може призвести до розгерметизації газової системи, витоку палива з його послідуочим загорянням, що, в свою чергу, може призвести до пошкодження автомобіля і навіть до його знищення. Також неоптимальні температурні режими роботи системи призводять до підвищеного зносу елементів системи і їх передчасного виходу з ладу.

Список літератури:

1. Питання експлуатації машин в законодавчих та нормативних актах. Автомобілі і трактори : навчальний посібник / В. І. Кубіч, О. М. Коробочка, О. Г. Чернета. Кам'янське : ДДТУ, ЗНТУ, 2018. 230 с.
2. Білинський Й. Й., Книш Б. П. Визначення кількісного вмісту компонентів парової фази суміші скрапленого нафтового газу. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2014. № 1 (36). С. 163–167.
3. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації / Д. С. Погорлецький, В. П. Матейчик, А. П. Полив'янчук, М. В. Володарець, М. П. Цюман. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 286–297.
4. Chengcai Wei et al. Experimental and reaction kinetics studies on deflagration characteristics of liquefied petroleum gas-air mixture with different compositions in confined space. *Fuel*. 2024. Volume 358, Part A. P. 129972.
5. M. A. Ceviz, İ. V. Öner, A. R. İ. Kaleli, A. Mavi and A. K. Sen. Fuel Temperature Control in LPG Fuelled SI Engines. *IEEE International Conference on Electro/Information Technology*. 2012. P. 1–4.
6. Choongsik Bae and Jaeheun Kim. Alternative Fuels for Internal Combustion Engines. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2017. V. 36 (3), P. 3389–3413. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>.
7. ДСТУ EN 589:2017 Палива автомобільні. Газ нафтовий скраплений. Технічні вимоги та методи контролювання (EN 589:2008+A1:2012, IDT). Київ, 2018. 14 с. (Інформація та документація).

Kudin O.P., Dudarenko O.V. TEMPERATURE OF ACTIVATION OF GAS EQUIPMENT AS A POTENTIAL DANGER FACTOR FOR M1 CATEGORY VEHICLES

This work investigates the potential danger factor of incorrect determination and setting the operating temperature limits for LPG equipment for M1 category vehicles with sequential propane-butane injection during their adjustment. The current state of scientific research on the operation of gas systems in automotive transport and the thermal preparation of an engine operating on liquefied petroleum gas (LPG) has been analyzed. The mechanism of danger factors' emergence and their impact on the system's tightness and integrity have been determined, demonstrating the influence of propane-butane mixture penetration in the liquid aggregate state into the section of the main gas line from the gas reducer to the gas injectors. Possible negative consequences of such adjustments are described, emphasizing the inadvisability of lowering the system's operating temperatures due to safety concerns, regarding the installation's operation, and the tightness of fuel lines designed for the vapor phase of the propane-butane mixture. It is noted that the danger may be sudden instant rupture of the gas line and the formation of a slow gas leak due to weakened fastenings from thermal compression of the rubber hose material, caused by its freezing. Optimal temperature ranges necessary for the correct operation of the gas system are substantiated using the STAG 4 Qbox Plus equipment set as an example. Recommended values of basic parameters required for the system's correct and safe operation are provided. The extended functionality of the STAG Qbox Plus control unit settings is discussed. One of its features is the ability to activate the excess 'pressure release' mode through the gas injectors in certain engine operation modes. This allows adjusting both the pressure limits and the periodicity of opening the gas injectors. Attention is focused on the features of the extended functionality operation in idle, under load, and in CUT-OFF modes.

Key words: gas equipment, M1 category vehicle, temperature of activation, propane-butane mixture, liquefied petroleum gas, potential danger factor.