

© С. О. Ковальов, канд. техн. наук,  
старш. наук. співробітник,  
ORCID: 0000-0002-3107-530X,  
e-mail: skovalev@insat.org.ua;

© С. Л. Тимошенко, завідувач сектору  
випробування газобалонних автомобілів,  
їх компонентів та експертизи відділу  
технічного забезпечення виконання  
міжнародних договорів у сфері транспорту,  
ORCID: 0009-0003-3781-4120,  
e-mail: stimoshenko@insat.org.ua;

© К. А. Патлатюк, провідний інженер  
ORCID: 0000-0002-035D-439X,  
e-mail: kpatlatyuk@insat.org.ua;  
(ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

© Serhii Kovalov, Ph.D.,  
Senior Researcher,  
ORCID: 0000-0002-3107-530X,  
e-mail: skovalev@insat.org.ua;

© Sergii Tymoshenko, Head of the sector of  
testing gas cylinder cars, their components, and  
expertise department of technical support for  
the implementation of international agreements  
in the field of transport,  
ORCID: 0009-0003-3781-4120,  
e-mail: stimoshenko@insat.org.ua;

© Kostyantyn Patlatyuk, leading engineer,  
ORCID: 0000-0002-035D-439X,  
e-mail: kpatlatyuk@insat.org.ua;  
(SE "State Road Transport Research Institute")

## ПЕРЕОБЛАДНАННЯ АВТОБУСІВ ДЛЯ РОБОТИ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ

### RECONSTRUCTION OF BUSES TO WORK ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

**Анотація.** Сучасний розвиток транспортної галузі вимагає термінових заходів, спрямованих на скорочення шкідливих викидів і підвищення економічної ефективності транспорту. Автобусний транспорт, як ключовий засіб міських та приміських пасажирських перевезень, значно впливає на стан навколишнього середовища. Переобладнання дизельних двигунів у газові з іскровим запалюванням для роботи на зрідженому нафтовому газі (ЗНГ) є важливим кроком у зменшенні рівня забруднення. Крім того, розробка та вдосконалення газових двигунів розглядається як перспективний напрямок, що сприяє підвищенню екологічної безпеки та зменшенню залежності від традиційних дизельних палив. Слід зазначити, що мова йде про автобуси, які на цей час виробляються в Україні, а також про автобуси, що перебувають в експлуатації. Важливим аспектом є оцінка економічної ефективності від переобладнання міських та приміських автобусів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ при його експлуатації в Україні.

**Ключові слова:** автобуси малі міські та приміські, газовий двигун внутрішнього згорання, зріджений нафтовий газ, автомобільний газовий балон

**Abstract.** The modern development of the transport industry requires urgent measures aimed at reducing harmful emissions and increasing the economic efficiency of vehicles. Special attention should be given to bus transport, which serves as the primary means of passenger transportation in urban and suburban areas. The high consumption of diesel fuel leads to significant emissions of harmful substances, which negatively impact the environment and public health. In this regard, the transition to more environmentally friendly fuel types is a pressing challenge for the transport sector.

Given that modern buses are equipped exclusively with diesel engines as autonomous power units, which are characterized by high fuel consumption (over 20 liters of diesel fuel per 100 km in urban cycles), it is evident that replacing them with a more cost-effective gaseous motor fuel, particularly liquefied petroleum gas (LPG), is a viable solution. This transition would not only help reduce environmental pollution but also significantly lower fuel-related operational costs.

Thus, converting urban and suburban buses to spark-ignition gas engines is a promising direction for Ukraine, offering both environmental and economic benefits. The implementation of this technology will improve the quality of urban transportation, reduce operational expenses, and enhance the ecological situation in different regions.

The objective of this study is to explore the technical feasibility of placing an adequate number of automotive gas cylinders for LPG in the lower section of the bus frame (including the area previously occupied by the removed diesel fuel tank) to ensure a daily driving range equivalent to that of diesel-powered buses.

Additionally, the study provides an economic justification for the cost-effectiveness of converting diesel engines in small urban and suburban buses to spark-ignition gas internal combustion engines operating on LPG and their practical application in Ukraine.

**Keywords:** small urban and suburban buses, gas internal combustion engine, liquefied petroleum gas (LPG), automotive gas cylinder.

## Вступ

Відомо, що одним із найефективніших способів розширення паливної бази для пасажирського транспорту є використання газових моторних палив. Використання екологічних та дешевих альтернативних видів моторних палив, до яких насамперед належить зріджений нафтовий газ (ЗНГ, або LPG – Liquefied Petroleum Gas) залишається актуальним завданням для проведення досліджень.

Серед ключових переваг застосування ЗНГ є значно нижча роздрібна вартість, яка наразі становить 50 – 60% від ціни на традиційні рідкі моторні палива. З огляду на це, а також, враховуючи високі експлуатаційні витрати дизельного палива для сучасних міських та приміських автобусів, доцільність переходу на дешевше газове паливо, зокрема ЗНГ, стає очевидною.

Переобладнання автобусних дизелів, які перебувають в експлуатації у газові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ, може здійснюватися без демонтажу двигуна. Це дозволяє проводити переобладнання безпосередньо в умовах експлуатації як на спеціалізованих підприємствах, так і у місцях технічного обслуговування транспорту.

Головною перевагою такого переобладнання є зменшення експлуатаційних витрат автобусами за рахунок повного заміщення дизельного палива більш дешевим ЗНГ.

## Основна частина

Загальновідомо, що для забезпечення послуг з перевезення пасажирів на міських та приміських маршрутах в Україні експлуатуються велика кількість малих міських автобусів різних модифікацій та марок, що виготовлялися ПАТ «Черкаський автобус» [1].

До них належать автобуси міські малі класу I з різними моделями двигунів у наступному виконанні: А09204, А09304, А092Н4 – з двигуном 4НЕ1-ХS (Euro-3); А09206, А09306, А093Н6, А09216, А09316 – з двигуном 4НК1-Е4NC (Euro-4) та А092Н6 – з двигуном 4НК1-Е5NC (Euro-5).

Місткість паливного бака в автобусів класу I моделей А09206 та А09216 становить 100 літрів, у моделі А092Н6 – 118 літрів, а у інших моделей – 120 літрів.

Розрахунок місткості газових балонів для ЗНГ та вибір їх кількості базується на доцільності забезпечення запасу пробігу міських автобусів при контрольній витраті палива при русі з повною конструктивною масою у міському циклі, такого як був до переобладнання автобуса при його роботі на дизельному паливі.

У свою чергу, для приміських автобусів має бути розглянутий інший показник, а саме доцільність забезпечення запасу пробігу при контрольній витраті палива при русі з повною конструктивною масою та постійною швидкістю 60 км/год, такого як був до переобладнання автобуса при його роботі на дизельному паливі.

Отже, для розрахунку місткості газових балонів для ЗНГ беремо до уваги, що згідно з наведеними вище характеристиками автобусів більшість (67 %) з 9-ти моделей міських автобусів мають паливний бак місткістю 120 л, а дві моделі (22%) мають паливний бак місткістю 100 л.

Таким чином, для міських автобусів з паливним баком місткістю 100 л (а фактично 85 ... 90 л з урахуванням неможливості повного спорожнення бака) і середніми витратами дизельного палива в міському циклі 18 ... 19 л / 100 км, запас руху становить майже 450 км. А для міських автобусів, що мають паливний бак місткістю 120 л (а фактично 100 ... 110 л), запас руху становить майже 500 км. Слід зауважити, що середні витрати дизельного палива у міському циклі наведені для м. Києва.

У свою чергу, у газовому балоні геометричним об'ємом 140 л, з урахуванням його наповнення на 80 %, знаходиться не більше ніж 112 л ЗНГ (а фактично майже 105 л з урахуванням неможливості повного спорожнення бака). Такої кількості ЗНГ, за умови, що його нижча об'ємна енергомісткість (МДж/л) складає всього 77 % від енергомісткості дизельного палива, достатньо для забезпечення майже 420 км запасу руху. Це забезпечує майже 93 % запасу руху автобусів, які мають дизельний паливний бак місткістю 100 л та відповідно майже 84 % запасу руху автобусів, які мають дизельний паливний бак місткістю 120 л.

Для забезпечення 100 % запасу руху (450 км) автобусів, які мають дизельний па-

ливний бак місткістю 100 л, до складу системи живлення мають входити два газові балони геометричним об'ємом по 90 л кожний. Для забезпечення відповідно 100 % запасу руху (500 км) автобусів, які мають дизельний паливний бак місткістю 120 л, до складу системи живлення мають входити два газові балони геометричним об'ємом по 100 л або 110 л кожний.

При цьому, слід додати, що величина добового пробігу при двозмінній роботі міських автобусів може коливатися у широкому діапазоні. На неї впливає велика кількість факторів, таких як: довжина маршруту, яка складає 7 ... 8 км для середніх (20 - 100 тисяч жителів) та великих (100 - 500 тисяч жителів) міст, і до 12 ... 15 км для найбільших (від 500 тисяч до 1 мільйона жителів) та міст-мільйонерів (понад 1 мільйон жителів); інтенсивність маршруту, яка може бути від 8 до 12 рейсів за зміну тощо.

Ще складніша ситуація з визначенням величини середнього добового пробігу приміських автобусів. Довжина маршруту цих автобусів може коливатись від 15 до 20 км, а інтенсивність від 3 ... 5 рейсів за добу до 8 ... 12 рейсів за зміну, як і у міських автобусів.

Таким чином, для розрахунку необхідної кількості газових балонів, які мають входити до системи живлення ЗНГ (комплекту ГБО) приймаємо, що добовий пробіг приміських та міських автобусів може коливатися в діапазоні від 200 до 400 км.

Кількість газових балонів для ЗНГ та їх геометричний об'єм, які є необхідними для забезпечення відповідного запасу добового руху автобусів наведено в таблиці 1.

Як свідчать дані, наведені в таблиці 1, для здійснення міськими та приміськими автобусами добового пробігу від 200 км до 500 км, достатньо одного газового балона геометричним об'ємом відповідно від 90 л до 200 л.

Слід зауважити, що газові балони геометричним об'ємом більше ніж 200 л практично не виготовляються.

При цьому, необхідно мати на увазі, що встановлення одного газового балона геометричним об'ємом більше ніж 140 л на місці демонтованого дизельного паливного бака, може призвести до необхідності небажаної зміни конструкції каркаса автобусів.

Для уникнення цього, замість встановлення одного газового балона геометричним об'ємом 180 л, можуть бути застосовані два балони геометричним об'ємом по 90 л кожний.

А замість одного газового балона геометричним об'ємом 200 л, відповідно два балони об'ємом по 100 л або 110 л кожний.

Поряд з тим слід додати, що газові балони з однаковим геометричним об'ємом у різних виробників мають різні як зовнішні геометричні розміри (діаметр та довжину), так і різну масу.

Таблиця 1

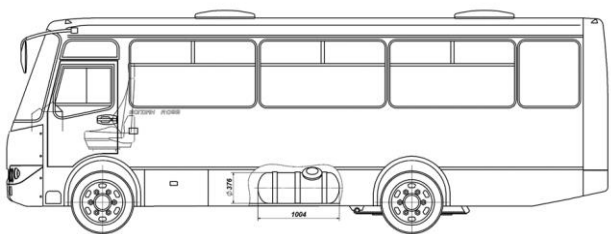
**Місткість та кількість газових балонів необхідних для забезпечення запасу добового пробігу малих міських автобусів**

Об'єм дизельного паливного баку, л	100						120						
	Добовий пробіг, км	200	250	300	350	400	450	400	450	500			
Відношення добового пробігу до запасу ходу, %	44	55,5	66,7	87,8	80	100	80	90	100				
Кількість газових балонів, шт.	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2
Геометричний об'єм газового балона, л	90	110	120	140	140	90	140	90	140	90	100	100	110

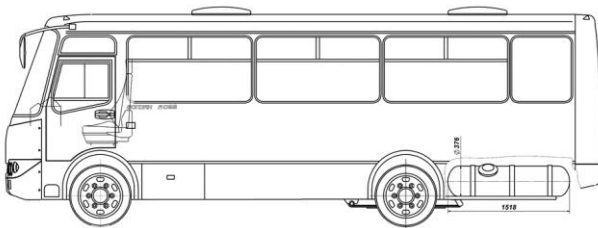
Газові балони мають бути закріплені на автобусі стаціонарно, при цьому не допускається розташування балонів у моторному відсіку. Балони закріплюють так, щоб не відбувалося контакту між металевими поверхнями, за винятком контакту з вузлами кріплення балонів.

При застосуванні газових балонів для ЗНГ, слід пам'ятати, що всі балони повинні мати офіційне затвердження типу відповідно до Правил ООН № 67 [2].

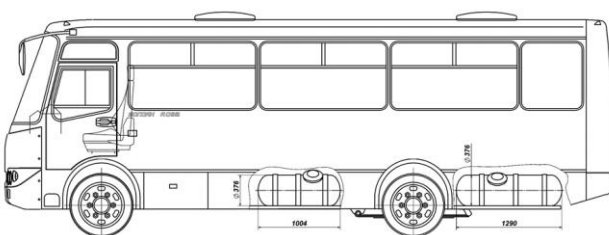
Загальний вигляд автобуса А09201-ЗНГ, дизель якого переобладнано у газовий ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ, показано на **рис. 1**.



а)



б)



в)

**Рис. 1.** Загальний вигляд автобуса А09201-ЗНГ, дизель якого переобладнано у газовий ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ:

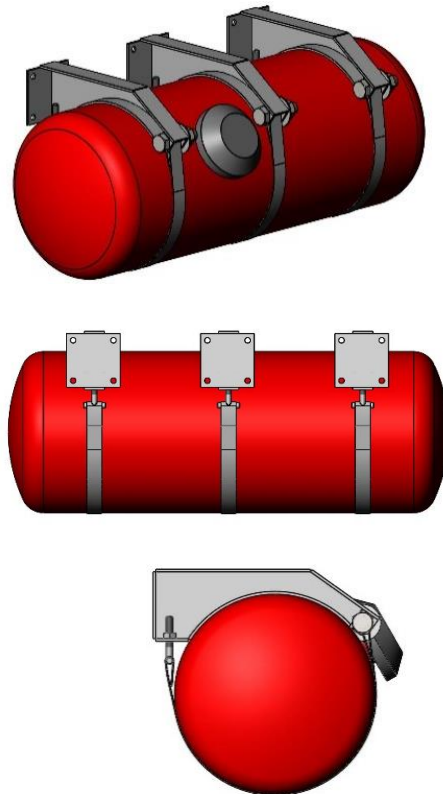
- а – з газовим балоном об'ємом 100 л;
- б – з газовим балоном об'ємом 180 л;
- в – з двома газовими балонами об'ємом 100 л та 120 л

До того, на **рис. 1-а** показано автобус А09201-ЗНГ з одним газовим балоном геометричним об'ємом 100 л, встановленим на

місці демонтованого дизельного паливного бака, на **рис. 2-б** з одним газовим балоном об'ємом 180 л, встановленим за заднім мостом з лівого боку за рухом автобуса, а **рис. 2-в** з двома газовими балонами об'ємом 100 л та 120 л, встановленими на місці демонтованого дизельного паливного бака та за заднім мостом відповідно.

На **рис. 2** показана принципова конструкція кріплення газового балона для ЗНГ відповідно до вимог Правил ООН № 115 [3]. Конструкція враховує можливість забезпечення доступу для технічного обслуговування газового балона, а також демонтажу балона для проведення робіт з його періодичного технічного опосвідчення.

Отже, встановлення на переобладнаному автобусі системи живлення з одним газовим балоном об'ємом 90 ... 100 л дозволить здійснювати добовий пробіг до 200 км. У свою чергу, встановлення системи живлення з одним газовим балоном об'ємом 180 л дозволить здійснювати добовий пробіг вже до 400 км.



**Рис. 2.** Принципова конструкція кріплення газового балона для ЗНГ

А встановлення системи живлення з двома газовими балонами об'ємом 100 л або

110 л дозволить здійснювати добовий пробіг вже до 500 км.

Узагальнюючи вищезгадане, зазначаємо, що встановлення системи живлення з одним газовим балоном або двома газовими балонами з різними об'ємами, дозволить здійснювати добовий пробіг малого міського або приміського автобуса від 200 до 500 км.

Економічний ефект від переобладнання автобусних дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ досягається шляхом заміщення дизельного палива (далі – ДП) на більш дешеве моторне паливо – ЗНГ. При цьому, як свідчать статистичні дані, наведені нижче, за останні три роки середня роздрібна вартість 1-го літра ЗНГ складає не більше ніж 50 ... 60 % від середньої роздрібною вартості 1-го літра дизельного палива. Така велика різниця між середніми роздрібними цінами на дизельне паливо та ЗНГ, дозволяє попередньо позитивно оцінити доцільність переобладнання дизелів автобусів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням.

Оцінка економічної ефективності від переобладнання дизелів автобусів малих міських класу І в ДВЗ для роботи на ЗНГ при їх експлуатації в м. Київ проводилась на підставі середніх роздрібних цін на дизельне паливо та ЗНГ по Україні. Ціни були взяті із загальнодоступних джерел [4] відповідно за 2022, 2023 та 2024 роками.

Так, середня роздрібна вартість 1-го літра ДП у 2022 році становила 47,61 грн. А середня роздрібна вартість 1-го літра ЗНГ за 2022 рік становила 28,58 грн.

У свою чергу середня роздрібна вартість 1-го літра ДП за 2023 рік становила 50,30 грн., а середня роздрібна вартість 1-го літра ЗНГ за 2023 рік становила 25,62 грн.

Разом з тим, середня роздрібна вартість 1-го літра ДП за 2024 рік становила вже 52,46 грн., а середня роздрібна вартість 1-го літра ЗНГ становила 29,73 грн.

Отже, очікуваний річний економічний ефект (внаслідок заміни більш дорогого дизельного палива на більш дешевий ЗНГ) при переобладнанні дизелів автобусів міських класу І у газові ДВЗ для роботи на ЗНГ при роботі у м. Києві та з урахуванням найбільш вірогідних добових пробігів автобуса (при дво-змінній роботі) в Україні від 200 до 400 км, коливається у межах від 160 тис. грн. до 450 тис. грн. (від 5000 до 12000 USD).

## Висновки

У результаті проведеного дослідження визначено місткість ЗНГ, яка має замінити об'єм дизельного палива, для забезпечення прогнозованого добового пробігу міських або приміських автобусів, що відповідає величині пробігу на дизельному паливі.

Визначено необхідну місткість та кількість автомобільних газових балонів для ЗНГ (з урахуванням 80 % наповнення газових балонів) для забезпечення добового пробігу міських або приміських автобусів від 200 до 500 км.

Визначені місця розташування газового(-их) балона(-ів) на автобусах з урахуванням їх кількості та геометричних розмірів.

Розроблено принципову конструкцію кріплення газового балона до каркаса автобуса з урахуванням забезпечення доступу для технічного обслуговування, а також для проведення робіт з демонтажу балона під час його періодичного технічного опосвідчення.

Доведена економічна доцільність переобладнання дизелів малих міських та приміських автобусів у газові двигуни внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ.

## References

1. Buses. (2025). PJSC "Cherkasy Bus": website. Retrieved from <https://bus.ck.ua/avtobus-ru.html>
2. Regulation No. 67. (2024). Uniform provisions concerning the approval of:
  - I. Approval of specific equipment of vehicles of category M and N using liquefied petroleum gases in their propulsion system
  - II. Approval of vehicles of category M and N fitted with specific equipment for the use of liquefied petroleum gases in their propulsion system with regard to the installation of such equipment: Retrieved from <https://unece.org/sites/default/files/2024-02/R067r6e.pdf>
3. Regulation No. 115. (2024). Uniform provisions concerning the approval of:
  - I. Specific LPG (liquefied petroleum gases) retrofit systems to be installed in motor vehicles for the use of LPG in their propulsion system
  - II. Specific CNG (compressed natural gas) retrofit systems to be installed in motor vehicles for the use of CNG in their propulsion system. Retrieved from <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R115r1e.pdf>
4. Minfin. (2024). The cost of autogas at gas stations in Ukraine. Retrieved from <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/lpg/>