

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ НАПРУЖЕНЬ В ЕЛЕМЕНТАХ КАРКАСА КУЗОВА АВТОБУСА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Рубан Д. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АТ «Черкаський автобус»

*Анотація.* Досліджено зміну напружень в елементах каркаса кузова автобуса з носійним кузовом під час експлуатації. Під час досліджень обрано характерні режими руху: рівномірний рух, прискорення автобуса, періодична зміна полоси руху, екстрене гальмування. Випробування проводились на дорогах першої категорії та з вибоїнами.

*Ключові слова:* автобус, дослідження, каркас кузова, дорожнє покриття, напруження.

### Вступ

Під час експлуатації автобусів виникають напруження, спричинені деформаціями елементів каркаса кузова. На стадії проектування кількісні показники таких напружень визначаються розрахунковими методами з використанням сучасних засобів автоматичного проектування [1]. Однак розраховані величини можуть не відповідати реальним умовам експлуатації. Таким чином виникає необхідність проведення експериментальних досліджень для визначення реальних напружень в елементах каркаса кузова автобуса.

### Аналіз публікацій

Для експериментального визначення величини ступеня деформації та розрахунку напружень в елементах металевих конструкцій використовуються загальноприйняті методи [2]. Основні принципи таких методів можна використати і для проведення сучасних досліджень. Однак запропоноване обладнання, при сучасному розвитку електронних засобів діагностики, давно вже застаріле. Тому на сьогодні використовуються мобільні тензостанції [3, 4], що дозволяють виводити інформацію на екран персонального комп'ютера типу Notebook. В роботі [3] наведено методику та результати дослідження напружень у болтах кріплень надбудови на шасі рамної конструкції «ГАЗель» Next. На базі «ГАЗель» Next досліджувався вантажний автомобіль та автобус. Дослідження проводилось із використанням обладнання, основним недоліком якого є висока вартість. Тому для проведення досліджень виникла необхідність у розробці нової тензостанції на основі сучасних універсальних засобів електроніки [5]. Крім того, дослідження в елементах кузовів автомобілів та автобусів проводились лише за часів СРСР. Враховуючи сучасні системи автоматичного проектування

[6, 7], доведення автобусів проводиться на стадії випробувань без вимірювання напружень в елементах каркаса кузова. В результаті таких випробувань можна виявити тільки явні пошкодження (тріщини каркаса, відклеювання боковин тощо) та підсилити послаблені елементи конструкції. Сховані дефекти можуть бути і не помічені [8]. При такому підході можуть виникати пошкодження каркаса кузова в експлуатаційних умовах. Досить часто такі пошкодження виникають при перевантаженнях автобусів та під час руху по дорогах низької якості. Неминуче виникнення надлишкових напружень спостерігається при зміні/вдосконаленні базової конструкції автобуса [9].

### Мета і постановка завдання

У наш час, враховуючи нові технології виготовлення автобусів [10] та перехід на виготовлення автобусів носійної конструкції, доцільним буде визначення напружень в елементах каркаса кузова ще на стадії випробувань автобуса та перед запуском в серійне виробництво.

Таким чином метою роботи є дослідження зміни напружень в елементах каркаса кузова в реальних умовах експлуатації.

### Методика та дослідження зміни напружень в елементах каркаса кузова автобуса

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено тензометричну станцію (рис. 1).

В основі роботи тензометричної станції лежить метод вимірювання деформації через зміну опору тензорезисторів. Розроблений прилад складається із плати керування Arduino Mega 2600 1 [5] та підсилювача входного сигналу на базі мікросхеми НХ711 2. Тен-

зорезистори 3 з'єднані за напівмостовою схемою (рис. 2).

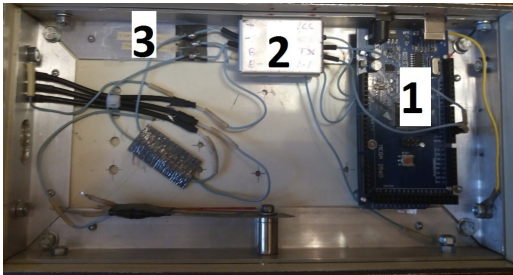


Рис. 1. Тензометрична станція

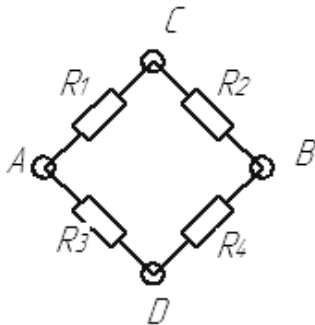


Рис. 2. Схема з'єднання тензорезисторів

Вузли C і D, на схемі (рис. 2), під'єднані до джерела живлення, а вузли A і B – до входу підсилювача. Резистори R2 та R4 розміщені в корпусі приладу, а резистори R1 та R3 призначені для вимірювання деформації та приклеєні в місцях дослідження по обидва боки від труби (зверху (рис. 3, а) і навпроти знизу (рис. 3, б) на лівому лонжероні перерізом 140x60x3,6 мм за заднім кронштейном кріплення лівої передньої ресори).

Для функціонування приладу було розроблено спеціальне програмне забезпечення в середовищі C++. Розроблена програма дозволяє виводити величину деформацій елементів каркаса кузова на екран персонального комп'ютера у відносних одиницях деформації (овд). 1 овд =  $10^6 \cdot \Delta l / l_0$ , де  $\Delta l$  – абсолютна деформація;  $l_0$  – база тензорезистора.

Для експериментальних досліджень використано тензорезистори ПКБ-200 з базою 20 мм та опором 200 Ом, які дозволяють вимірювати деформацію до 3000 овд.

Тарування та перевірка роботи приладу здійснювалась наступним чином. Для тарування було використано спеціальну пружну балку зі Сталі 65Г (500x40x10 мм).

На балку за схемою та технологією, що відповідають проведенню експериментальних досліджень, приклеєні тензорезистори клеєм Loctite 4208, що забезпечує мінімальну повзучість тензодатчиків.



а



б

Рис. 3. Місця приклеювання тензорезисторів

Тензодатчики з'єднані із приладом за допомогою екранованих провідників. Сам прилад екранований та, для підвищення завадостійкості, додатково було екрановано плату підсилювача. Під час тарування підібрано коефіцієнт підсилення вхідного сигналу 32 програмним шляхом та підключенням тензорезисторів до відповідних входів плати підсилювача. Тарування здійснювалось за допомогою спеціально розробленої тарувальної установки.

Для створення зусилля було використано механічний прес із ручним затиском, в якому тарувальна балка була встановлена на двох опорах. Для контролю деформації використовувався механічний тензометр Гугенберге-ра. База механічного тензометра така сама, як і тензорезисторів, і складає 20 мм.

Похибка вимірювання механічного тензометра дорівнює 15 овд. Під час тарування деформування балки здійснювалось через кожні 0,01 мкм ( $\varepsilon = 50$  овд). В результаті чого було отримано тарувальний коефіцієнт, який і було внесено до розробленої програми. Особливістю програмного забезпечення є те, що балансування вимірювального мосту здійснюється в автоматичному режимі, що не потребує підстроювальних резисторів та зменшує час на підготовку обладнання до вимірювання.

Після тарування приладу було перевірено працездатність вимірювальної системи наступним чином. Оскільки каркас кузова складається з основних труб перерізом: 40x40 мм, 40x60 мм, 140x60 мм, то такі труби були використані у лабораторних випробуваннях. На труби було наклеєно тензодатчики та з'єднано їх із вимірювальним приладом, котрий через USB порт було підключено до персонального комп'ютера. Навантаження здійснювалось гідравлічним пресом 2ПГ-125 із навантаженням до 125 т (рис. 4).



Рис. 4. Перевірка працездатності тензостанції в лабораторних умовах

Контроль деформації здійснювався тензометром Гугенбергера. В результаті перевірки встановлено, що покази на екрані персонального комп'ютера співпадають зі значеннями деформації, які фіксується механічним тензометром, та лежать у межах похибки механічного тензометра. Таким чином розроблений прилад дозволяє провести вимірювання деформації елементів каркаса кузова із заданою точністю.

Випробування проводились на автобусі «Атаман» А09216 (рис. 5).



Рис. 5. Автобус, на якому проводились дорожні випробування

Під час дорожніх випробувань було використано розроблений прилад для визначення деформацій каркаса кузова. Для точної фік-

сації швидкості автобуса було використано діагностичний прилад G-IDSS із ліцензійним програмним забезпеченням.

Дорожні випробування проводились на дорозі I категорії при швидкостях 30, 50 та 70 км/год. На дорозі низької якості, з вибоїнами, за швидкості 20 км/год. На випробувальному полігоні під час виконання маневру з періодичною зміною полоси, а також виконувалось екстрене гальмування. Дослідження проводились при спорядженій масі автобуса плюс маса діагностичного обладнання та маса особи, що проводила дослідження.

На рис. 6–11 зображено результати дорожніх випробувань, на яких показано часові діаграми зміни відносних деформацій  $\epsilon$ , за відповідних умов дослідження. На рис. 6–11 значення, отримані під час випробування автобуса: по осі абсцис – величини відносних деформацій  $\epsilon$  в масштабі 1:1 (в одиницях відносної деформації (овд)); по осі ординат час руху (в секундах помножити на 0,2 (с)). Наприклад: значення 100 по осі абсцис означає 20 с.

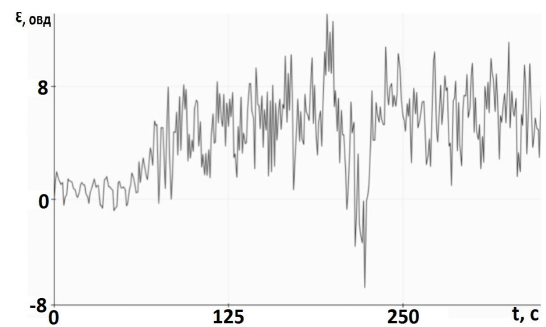


Рис. 6. Часова діаграма зміни відносних деформацій  $\epsilon$ , під час випробувань автобуса на дорозі I категорії за швидкості 30 км/год (до значення 125 по осі абсцис розгін автобуса до 30 км/год)

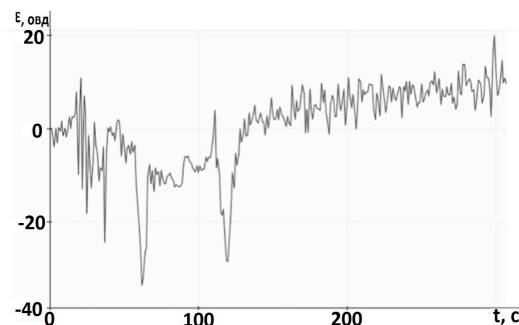


Рис. 7. Часова діаграма зміни відносних деформацій  $\epsilon$ , під час випробувань автобуса на дорозі I категорії за швидкості 50 км/год (до значення 150 по осі абсцис розгін автобуса до 50 км/год)

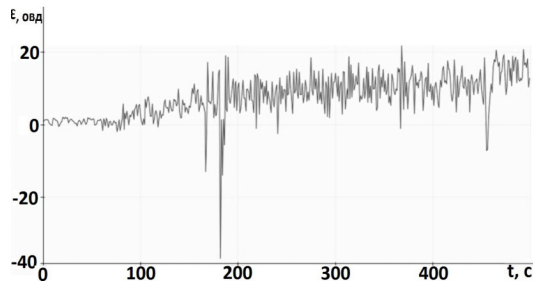


Рис. 8. Часова діаграма зміни відносних деформацій  $\varepsilon$ , під час випробувань автобуса на дорозі I категорії за швидкості 70 км/год (починаючи від значення 265 по осі абсцис)

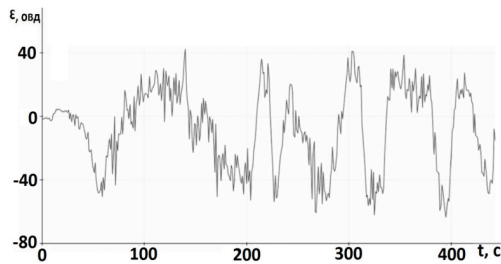


Рис. 9. Часова діаграма зміни відносних деформацій  $\varepsilon$ , під час випробувань автобуса на дорозі I категорії при періодичній зміні полоси руху

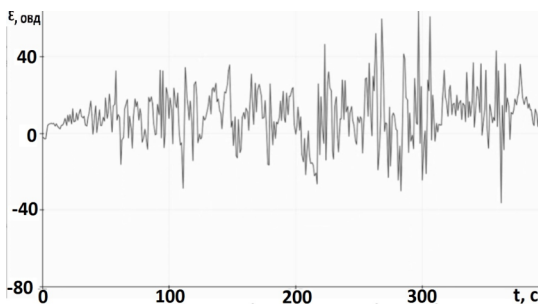


Рис. 10. Часова діаграма зміни відносних деформацій  $\varepsilon$ , під час випробувань автобуса на дорозі низької якості (з вибоїнами) за швидкості 30 км/год

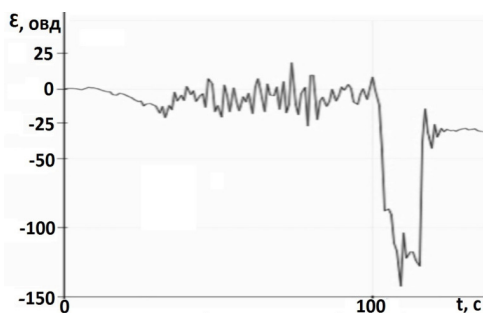


Рис. 11. Часова діаграма зміни відносних деформацій  $\varepsilon$ , під час випробувань автобуса на дорозі I категорії при екстремому гальмуванні зі швидкості 55 км/год (починаючи від значення 100 по осі абсцис)

На основі отриманих графічних залежностей можна визначити максимальні значення відносних деформацій. За законом Гука [2], можна визначити напруження в досліджуваному елементі каркаса кузова:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль Юнга (для Сталі 20  $E = 2,12 \cdot 10^5$  МПа) [1];  $\varepsilon$  – відносна деформація, отримана під час досліджень.

Провівши розрахунки отримано ряд максимальних напружень, за результатами дорожніх випробувань.

Таким чином максимальне напруження на дорозі I категорії: при швидкості 30 км/год складає 1,6 МПа, при швидкості 50 км/год складає 2,1 МПа, при швидкості 70 км/год складає 3,6 МПа. Під час руху по дорозі з вибоїнами та при швидкості 30 км/год напруження складає 11,6 МПа. Під час руху з періодичною зміною полоси руху напруження складає 11,8 МПа. У разі екстремого гальмування напруження сягає до 29,8 МПа. Слід підкреслити, що такі напруження виникають при спорядженій масі та без урахування знакозмінних навантажень при наповненні салону пасажирями, переміщенні пасажирів по салону та виході пасажирів з автобуса. За повної маси та перевантажень автобуса напруження в каркасі кузова можуть зростати до величин, що супроводжуватимуться інтенсивним накопиченням осередків втомної міцності. Перевантаження та рух по дорогах низької якості може призвести з часом до поломок каркаса у слабких місцях.

На рис. 12. зображено тріщину каркаса основи.



Рис. 12. Тріщина каркаса основи автобуса

Ця тріщина утворилась в області задньої накопичувальної площадки, при пробігу 210 тис. км, що виникла при частих її завантаженнях до 50 пасажирів (систематично такий

автобус, при пасажиромісткості 52 пасажирів, перевозив близько 80 пасажирів).

Також із рис. 6–11 видно, що під час розгону відносні деформації кузова зростають і нульова вісь відносних деформацій знаходиться вище осі початку координат та зі зростанням швидкості продовжує підніматись.

### Висновки

В результаті проведення дорожніх випробувань визначено значення напружень при спорядженій масі автобуса в експлуатаційних умовах, які досягають 29,8 МПа. При цьому є неминучим зростання напружень за збільшення навантажень та під час руху по дорогах низької якості та нерівномірного руху, особливо у разі екстреного гальмування.

Дослідження зміни напружень в елементах каркаса кузова за максимального навантаження (або і перевантаження, враховуючи реалії експлуатації при гонці перевізників за прибутком) будуть обов'язковими під час підготовки до випуску нових моделей автобусів на АТ «Черкаський автобус».

Результати проведених досліджень дозволять підтвердити адекватність математичної моделі з розрахунку довговічності автобусів. Провівши дорожні випробування автобуса, за відпрацьованою методикою на реальних маршрутах, можна отримати комплекс напружень у проблемних (найбільш навантажених) елементах каркаса кузова.

На основі таких дорожніх випробувань можна спрогнозувати ресурс каркаса кузова автобуса, що обмежується появою втомних тріщин основи.

### Література

1. Горбай О.З., Голенко К.Е., Крайник Л.В. Міцність та пасивна безпека автобусних кузовів: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 276 с.
2. Макаров Р.А., Ренский А.Б., Боркунский Г.Х. и др. Тензометрия в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1975. 288 с.
3. Каталог испытательного и измерительного оборудования Zetlab: Федеральный информационный фонд отечественных иностранных каталогов на промышленную продукцию, 2012. 91 с.
4. Грошев А.М., Вашурин А.С., Трусов Ю.П., Волков А.С. Экспериментальное определение нагруженности опор кузова автобуса рамной конструкции. *Журнал автомобильных инженеров*, 2015. № 4(93). С. 22–25.
5. Arduino. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/> (Last accessed: 10.03.2020).
6. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. 2020. URL: <https://www.solidworks.com/> (Last accessed: 10.03.2020).
7. Alawadhi E.M. Finite Element Simulations Using ANSYS CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. 408 p.
8. Рубан Д. П., Крайник Л. В. Оцінка регламентованого терміну експлуатації автобусів з умов відповідності нормативам пасивної безпеки внаслідок корозії та втомної міцності кузова. *Systemy I Środki transportu samochodowego. Seria: Transport*. Rzeszów: Druk. Pol. Rz., 2017. Mon. Nr. 10. P. 95 – 100.
9. Рубан Д. П., Крайник Л. В. Оцінка впливу введення площадок низького входу „low-entry” в структуру несивного кузова на ресурсні характеристики автобуса в експлуатації. *Автомобільний транспорт*. Харків, 2018. № 43. С. 31 – 35.
10. Рубан Д. П., Крайник Ю. Л., Дзьоба В. В. Нові технології у виробництві кузовів автобусів з умов корозії. *Забезпечення функціональної стабільності автомобілів та тракторів*: Збірник матеріалів всеукраїнського науково-практичного семінару. (Харків, ХНАДУ, 22 травня 2019). Харків, 2019. С. 33–34.

### References

1. Horbaj O. Z. (2013). Micnist ta pasivna bezpeka avtobusnih kusoviv: Monografia. [Durability and passive safety of bus baskets]. Lviv: Vidavnactwo Lvivskoji politehniki [in Ukrainian].
2. Makarov R.A. (1975) Tensometrija v maschinostromii. [Measuring of deformations is in an engineer] Moskva: Maschinostroenie, [in Russian].
3. Katalog ispitatel'nogo i izmeritel'nogo oborudovanija Zetlab: Federalnij informazionnij fond otechestvennich inostrannich katalogov na promichlennuyu produkciju (2012) [Catalogue of proof-of concept and measuring equipment of Zetlab: the Federal informative fund of home foreign catalogues on industrial products]. [in Russian].
4. Groshev A.M. (2015) Experementalnoe opredelenie nagrugenosti opor kusova avtobusa ramnoj konstrukzii. [Experimental determination of lading of supports of basket of bus of frame construction]. *Zhurnal Avtomobilnyih Inzhenerov*. 4 (93). 22 – 25. [in Russian].
5. Arduino. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/> (Last accessed: 10.03.2020).
6. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. 2020. URL: <https://www.solidworks.com/> (Last accessed: 10.03.2020).
7. Alawadhi E.M. Finite Element Simulations Using ANSYS CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.
8. Ruban D., Kraynyk L. (2017). Ocinka reglamentovanogo terminu expluataciji avtobusiv z umov vidpovidnosti normativam pasivnoji bezpeki vnaslidok koroziji ta vtomnoji micnosti kusova. [Estimation of the regulated term of exploitation of buses from the terms of accordance to the norms of

passive safety as a result of corrosion and tireless durability of basket]. Systemy I Środki transportu samochodowego. *Seria: Transport*. Rzeszów: Druk. Pol. Rz., Mon. 10. 95 – 100.

9. Ruban D., Krainyk L. (2018). Ozinka vplivu vvedennja ploščadok nizkogo vходу „low-entry” v strukturu nesivnogo kusova na resursni charakteristiki avtobusa v expluataziji. [Estimation of influence of introduction of grounds of subzero entrance of «low-entry» in the structure of bearing basket on resource descriptions of bus in exploitation]. *Автомобільний транспорт*. Kharkiv. 43. 31 – 35. [in Ukrainian].
10. Ruban D., Krainyk Yu., Dzjoba V. (2019). Novi tehnologiji u vsrobnictvi kuzoviv avtobusiv z umov koroziji. [New technologies are in the production of baskets of busses from the terms of corrosion]. Zabezpečennja funkcionalnoji stabilnosti avtomobiliv ta traktoriv: Zbirnik materialiv vseukrajinskogo naukovopraktichnogo seminaru. (Kharkiv, Kharkivskij nazionalnij avtomobalnodorojnjij universitet, 22.05.2019). Kharkiv. 33–34. [in Ukrainian].

**Рубан Дмитро Петрович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, провідний інженер з якості, [ruban\\_dimon@ukr.net](mailto:ruban_dimon@ukr.net), тел. +38 097-189-77-57, <sup>1</sup>АТ «Черкаський автобус», 18036, Україна, м. Черкаси, вул. Різдва, 292.

#### Исследование изменения напряжений в элементах каркаса кузова автобуса при эксплуатации

**Аннотация.** Проведено исследование изменения напряжений в элементах каркаса кузова автобуса с несущим кузовом в реальных условиях эксплуатации. Во время исследований избраны характерные режимы движения: равномерное движение, ускорение автобуса, периодическое изменение посылы движения, экстренное торможение. Испытания проводились на маршрутах с дорожным покрытием первой категории и с выбоинами.

**Ключевые слова:** автобус, исследование, каркас кузова, дорожное покрытие, напряжение.

**Рубан Дмитрий Петрович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер по качеству,

[ruban\\_dimon@ukr.net](mailto:ruban_dimon@ukr.net), тел. +38 097-189-77-57,

<sup>1</sup>АО «Черкаський автобус», 18036, Україна, г. Черкасы, ул. Різдва, 292.

#### Research of tension change in the elements of a bus body frame during operation

**Abstract. Problem.** Operation of buses is accompanied by tensions as a result of deformation of bus body frame elements. The quantitative indexes of such tensions, on the stage of planning, are determined by calculation methods with the use of modern facilities of the automatic planning. However, in the real terms of operations the expected sizes cannot fit the real terms of operation. Thus, there is a necessity of realization of experimental researches to determine the real tensions in bus body frame elements. **Goal.** The aim of the work is studying the change of tensions in of bus body frame elements in the real operation conditions. **Methodology.** The special device is worked out for experimental determination of deformation of bus body frame elements. A mechanical device for measuring deformations tested the device. Then the capacity of device was confirmed in laboratory conditions. Travelling tests were conducted on a bus on the roads of high quality and with dints. **Results.** During travelling tests it was proved that bus body frame elements deform at speeds of thirty, fifty, seventy kilometers per hour on the roads of high quality. The results were obtained on the road with dints at the speed of twenty kilometers per hour. The value of deformation is also obtained at a zigzag motion and at the urgent braking. **Originality.** A new device is worked out for the research of deformation change in bus body frame elements. This research was for the first time made for a load carrying structure. It is proved that maximum deformation of the bus body frame will be at the urgent braking. **Practical value.** A new device and approved methodology of researches can be used for development of new designs of busses.

**Key words:** bus, research, bus body frame, road pavement, tension.

**Ruban Dmytro**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., a leading engineer is from quality, [ruban\\_dimon@ukr.net](mailto:ruban_dimon@ukr.net), tel. +38 097-189-77-57,

<sup>1</sup>JSC «Cherkasy bus», 18036, Ukraine, Cherkasy, 292, Rizdvwjana str