

Мельничук С.В., Вітюк І.В., Бовсунівський І.А.
Житомирський державний технологічний університет

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ АВТОМОБІЛЯ З ПІДВІСКОЮ НА ОСНОВІ ЧОТИРИЛАНКОВОГО ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Проаналізовано сучасний стан перспектив та проблем використання лабораторних технологій для визначення поперечної стійкості автомобіля. Проведено огляд наукових робіт, пов'язаних з вивченням властивостей стійкості автомобіля. Із наведених прикладів видно, що сучасні дослідники питань поперечної стійкості недостатньо уваги приділяють питанням пов'язаним із процесами, які відбуваються в підвісках автомобіля. Розроблено методику визначення поперечної стійкості автомобіля категорії N1 в лабораторних умовах. Розроблено програмно-апаратний комплекс проведення випробувань на визначення поперечної стійкості автомобіля в лабораторних умовах.

Ключові слова: підвіска, автомобіль, чотириланковий важільний механізм, стійкість, випробування.

Постановка проблеми.

Оцінці показників поперечної стійкості автотранспортних засобів приділяється велика увага, й тому кут статичної поперечної стійкості і кут нахилу підресорених мас, є одними з важливих показників безпеки, що нормуються по ГОСТ 52302-2004 і можуть визначатися під час дорожніх випробувань.

Звичайно, лабораторні випробування не можуть повністю замінити дорожні, їх призначення підтвердити теоретичні розрахунки.

Стійкість автомобіля є одним з найважливіших експлуатаційних складових активної безпеки і, які напряму пов'язані з якістю роботи підвіски.

Головними параметрами оцінки стійкості транспортного засобу є перекидання та бокове ковзання[1,2,3]. Але при проведенні дорожніх випробувань автомобіля на стійкість виникає ряд проблем, що ускладнюють отримання розгорнутих оціночних показників, тому використання лабораторних випробувань повинно, по-перше, полегшити цей процес, по-друге, надасть можливість більш повноцінно провести експеримент при скороченні його часу та вартості.

Необхідність поліпшення якості досліджень експлуатаційних властивостей автомобілів обумовлена подальшим вдосконаленням нормативних вимог і вимогами споживачів, відповідність яким особливо важлива в умовах конкуренції між виробниками автомобілів.

Автомобілі категорії N1 є невід'ємною складовою вантажних перевезень міст, та відіграють важливу роль в економіці країни. Це транспортні засоби максимальна маса яких не перевищує 3,5 тон.

За останні роки, за рахунок своєї мобільності та універсальності, чисельність таких транспортних засобів значно зросла. Інтенсивне використання такого виду транспорту якісно впливає на торгівельний розвиток міст. Але, разом з тим, значно впливає на безпеку дорожнього руху через значне зростання кількості таких автомобілів на дорогах та високий центр мас.

За 2015 рік в Україні кількість дорожньо-транспортних пригод склала 59,8 тисяч, коли у 2009 році – 37 тисяч. Серед цієї статистики дорожньо-транспортні пригоди, що пов'язані із перекиданням через втрату їх стійкості та керованості, призводять до більш тяжких збитків і травм, а це близько 18%.

Під стійкістю автомобілів розуміють сукупність його властивостей, за рахунок яких, вдається зберегти заданий напрям руху уразі впливу зовнішнього середовища, що прагнуть відхилити автомобіль від цього напрямку (перекидання, занос, ковзання).

Взагалом стійкість автомобіля визначається його конструктивними особливостями, такими як, висота центру мас, база, конструкція підвіски, сучасні адаптивні системи контролю жорсткості підвіски і т.д.

Під час огляду літературних джерел можна виділити такі основні причини втрати стійкості автомобіля:

- вихід з ладу кермового механізму;
- підвищення зазорів механізму підвіски;
- розрегулювання гальмівного механізму;

- недосконалість підвіски, з низьким коефіцієнтом стійкості;
- недостатня кваліфікація водія, раптове відхилення курсу руху з інтенсивним гальмуванням або підвищенням швидкості руху або велика швидкість під час проходження повороту;
- не зафіксований багаж, переміщення багажу спричинить зміну координат центру мас.

Так як втрата стійкості автомобіля несе тяжкі наслідки, тому у світі саме цьому питанню приділяють велику увагу.

Вивчення питання дає можливість розробки нових методів підвищення стійкості автомобілів, або удосконаленням існуючих.

Основним фактором, який впливає на стійкість автомобілів категорії N1, є співвідношення висоти центру мас автомобіля та його поперечної бази (ширини колії) до кутової жорсткості підвіски.

Високий центр мас та вузька поперечна база робить автомобіль нестійким. Також надто м'яка підвіска має низьку кутову жорсткість, що негативно впливає на стійкість автомобіля. І навпаки надто жорстка підвіска має хорошу кутову жорсткість, але буде дуже жорсткою і негативно вплине на комфорт водія та збереженість вантажу.

Аналіз шляхів підвищення стійкості автомобілів категорії N1.

На поперечну стійкість автомобілів можуть діяти одночасно дуже багато експлуатаційних, конструктивних та навколишніх факторів, таких як:

- завантаженість автомобіля;
- поперечна база автомобіля;
- висота центру мас;
- конструктивні особливості та стан гальмівного механізму (швидкість спрацювання, рівномірність роботи, інтелектуальні системи керування);
- конструктивні особливості та стан шин автомобіля;
- конструктивні особливості та стан рульового механізму (швидкість повороту управляючих коліс, зусилля на кермовому колесі і так. інш.);
- швидкість та напрям руху автомобіля;
- крен кузову автомобіля (бокова жорсткість підвіски);
- стан дорожнього покриття (якість, вид, стан...).

Тому на кафедрі автомобілів та автомобільного господарства почали активно проводити дослідження в цій області.

Основними напрямками по підвищенню стійкості автомобілів категорії N1 є:

- удосконалення конструктивних параметрів автомобіля, шляхом розробки нової енергоефективної підвіски;
- удосконаленням методів визначення та оцінки показників стійкості автомобіля, шляхом задіяння високоточного обладнання та програмного забезпечення, електронних датчиків, високошвидкісних камер та оптичних систем визначення координатної швидкості автомобіля;
- моделювання руху автомобіля категорії N1 у складних дорожніх умовах, шляхом використання передового програмного забезпечення, що надає можливість проводити нескінченну кількість дослідів, постійно змінюючи умови руху та конструктивні параметри підвіски та автомобіля вцілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Напрямок наукових робіт, пов'язаних з вивченням властивостей керованості і стійкості є найбільш складним в розділі динаміки автомобіля з огляду на те, що зачіпає усі аспекти теорії і експерименту. Виникаючі теоретичні суперечки про відсутність єдиного тлумачення понять керованості і стійкості багато в чому пов'язані з орієнтацією дослідників на різні групи оцінних показників.

Вивченням стійкості автомобіля займається багато вітчизняних та зарубіжних авторів. Серед робіт, присвячених проблемі стійкості та керованості, слід виділити наукові праці, що заклали фундаментальні основи створення сучасного автомобіля. Завдяки роботам таких дослідників, як Д.А.Антонов, Я.М.Певзнер, А.А.Хачатуров, Р.В. Ротенберг, J.R.Ellis, Y.Furukawa, Н.В.Пасеїкаї багатьох інших вдалося закласти основи наукових шкіл і виробити шляхи розвитку сучасного автомобілебудування, що задовольняють виробничим і експлуатаційним вимогам, що постійно посилюються.

У дисертаційній роботі Р.П. Кушвид[8] розвиває теорію дослідження руху автомобіля, спрямовану на скорочення термінів проектування і доведення автомобілів за рахунок прогнозування їх показників. Також останнім часом питанням стійкості руху автомобіля присвячені кандидатські роботи Морозова С. А. [9] та Гурьянова М.В.[10].

Із наведених прикладів видно, що сучасні дослідники питань курсової стійкості недостатньо уваги приділяють питанням пов'язаним із процесами які відбуваються в підвісках автомобіля. Проте саме показники якості роботи підвіски відіграють визначну роль у взаємодії колеса з опорною поверхнею та як наслідок на стійкість автомобіля в цілому. Тому питання удосконалення або створення нових підвісок автомобіля залишається відкритим.

Розробкою методик також займається багато науковців. Різноманіття експериментальних методик оцінки керованості і стійкості перетворює процес проведення випробувань на тривалий і дорогий. Крім того, сучасні методики мають високу вартість.

Розглянуті вище роботи цілком якісно розкривають конкретні поставлені задачі, тому говорити про недоліки конкретних праць не зовсім доцільно. Тому був проведений пошук не розглянутих питань підвищення безпеки автомобіля шляхом підвищення його стійкості за рахунок удосконалення та розробки його підвіски.

Із наведених прикладів видно, що сучасні дослідники питань курсової стійкості недостатньо уваги приділяють питанням пов'язаним із процесами які відбуваються в підвісках автомобіля. Проте саме показники якості роботи підвіски відіграють визначну роль у взаємодії колеса з опорною поверхнею та як наслідок на стійкість автомобіля в цілому. Тому питання удосконалення або створення нових підвісок автомобіля залишається відкритим.

Мета роботи. Розробити методику визначення поперечної стійкості автомобіля категорії N1 в лабораторних умовах.

Проведення дорожніх випробувань досить тривалий, складний та дорогий процес. В якості альтернативи пропонується використати лабораторні випробування з поєднанням сучасного програмного забезпечення, яке дозволить визначати поперечну стійкість в реальному часі.

Для виконання поставленої мети було вирішено розробити установку з використанням високоточних датчиків та технічного устаткування.

Пропонується розглянути метод, який полягає в тому, щоб в лабораторних умовах на горизонтальній площадці зовнішнім додатком сил до кузова привести транспортний засіб у положення відриву коліс одного боку.

Для вирішення завдання, щодо визначення кута поперечної статичної стійкості в пропонованому методі використовується модель навантаження автомобіля на горизонтальній поверхні. Сила створюється лебідкою до моменту відриву коліс однієї сторони автомобіля від опорної поверхні.

Величину кута поперечної статичної стійкості з урахуванням крену кузова автомобіля можна описати наступним виразом:

$$\alpha = \arctg(b/2h) - \varphi \quad (1)$$

де b – колія коліс, мм;

h – висота центру мас над опорною поверхнею, мм.

φ – кут крену підресорених мас.

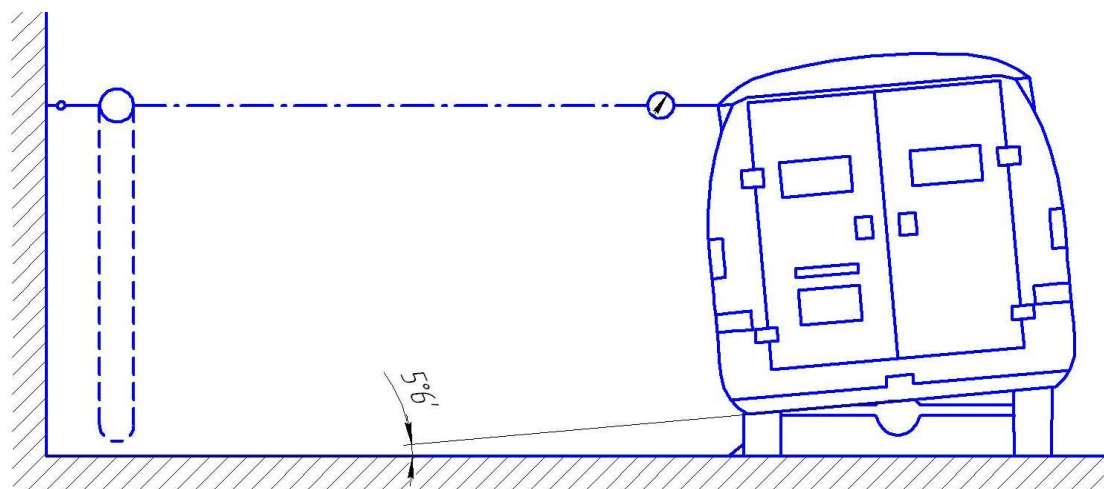


Рис. 1 Схема проведення випробувань на визначення стійкості автомобіля в лабораторних умовах

Для визначення координат центру мас автомобіля було проведено дослідження. Перед початком експерименту провели визначення навантаження на кожне колесо автомобіля окремо та разом, що дало можливість визначення двох координат центру мас – поперечної та повздовжньої. Далі піднімали задню вісь автомобіля та визначали зміну навантаження на передні колеса.

Таким чином, знаючи кут підйому автомобіля, висоту підйому, можна визначити третю координату центру мас автомобіля за наступною формулою (2).

$$h_{ц} = c \cdot \operatorname{ctg}\beta \left(\frac{G_{пр}}{G_{пр'}} - 1 \right) + n \quad (2)$$

де n – кліренс автомобіля
 β – кут нахилу автомобіля
 $G_{пр}$ – навантаження на передню вісь автомобіля
 $G_{пр'}$ – навантаження на передню вісь автомобіля під нахилом

Для визначення кута з урахуванням крену кузова до автомобіля прикладали перекидаючий момент, для чого використовували наступні пристосування: таль вантаже-під'ємністю до 2 тонн, засоби вимірювання: лінійка, рівень, ваги, гіроскоп. Експеримент проводиться в два етапи: 1) Визначення висоти $h_{ц}$ центру мас автомобіля. 2) Визначення кута крену φ підресорених мас (кузова) автомобіля за його геометричним параметрам.

Для випробувань було взято автомобіль «ИЖ-2715». Автомобіль розмістили на рівній горизонтальній площадці. Два лівих колеса автомобіля закріпили на опорній поверхні від бокового зміщення. До капітальної стіни зліва автомобіля закріпили ручну таль, від якої за допомогою ланцюга з'єдналися з автомобілем. Також для визначення сили з якою діє таль на автомобіль між стіною та ланцюгом було встановлено динамометр. На автомобілі було закріплено гіроскоп для визначення кута крену, який надає можливість отримати значення зміни кута крену від сили, що створюється збоку на автомобіль.

Для визначення кута поперечної статичної стійкості з урахуванням кута крену автомобіля можна використати наступну формулу:

$$\alpha_{псс} = \operatorname{arctg} \left(\frac{b}{2 \cdot h_{ц}} \right) - \gamma \quad (3)$$

де γ – кут нахилу підресорених мас
 b – колія коліс

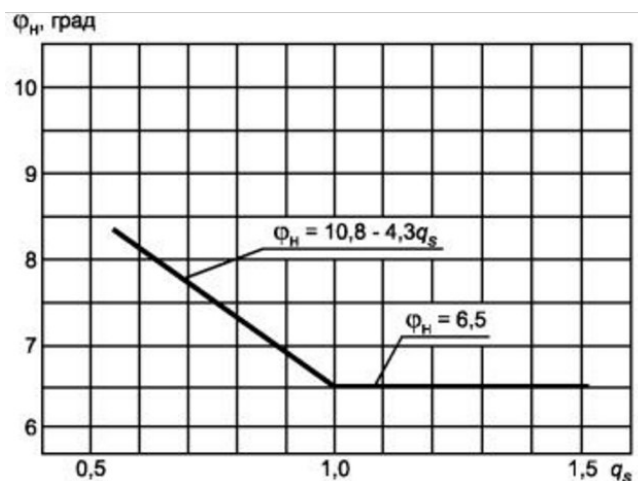


Рис. 2 Нормативна залежність кута крену підресорених мас від коефіцієнта поперечної статичної стійкості.

Для визначення кута поперечної статичної стійкості використано формулу (4)

$$q_s = \frac{0,5 \cdot b}{h_{ц}} \quad (4)$$

При цьому якщо:

- при $q_s \leq 1,0$ $\varphi_n = (10,8 - 4,3 q_s)^\circ$;

- при $q_s > 1,0$ $\varphi_n = 6,5^\circ$

При визначенні величини $a_{псс}$ нормативним значенням a_n автомобільних транспортних засобів всіх категорій в залежності від коефіцієнта поперечної стійкості поділені на дві групи, кожній із яких відповідає своя залежність $a_n = f(q_s)$:

$$\alpha_n = (-2,4 + 42,4q_s) \text{ при } 0,55 \leq q_s \leq 1,0 \quad (5)$$

$$\alpha_n = (15 + 25q_s) \text{ при } q_s > 1,0 \quad (6)$$

$$\alpha_n \geq 21^\circ \text{ при } q_s < 0,55 \quad (7)$$

Підчас проведення експерименту максимальне значення кута крену підресорених мас не повинно перевищувати допустимого значення φ_n , що визначається із діаграми (рис. 2)

Значення, що були отримані підчас проведення випробувань для експериментального автомобіля ІЖ-2715 склали:

$$a_{псс} \leq \alpha_n 37,8^\circ \leq 38,04^\circ$$

$$\varphi \leq \varphi_n 6^\circ \leq 6,27^\circ$$

Висновок: Як видно із розрахунків, що отримані в результаті проведення експерименту для автомобіля ІЖ-2715 по схемі, що пропонується, значення показників $a_{псс}$ та φ задовільняють вимогам нормативів, що встановлені ГОСТ 52302-2004, що свідчить про роботоздатність запропонованої методики.

1. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. / Р.В. Ротенберг – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
2. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. / Г.А. Смирнов – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
3. Рябыкин С.Л. Средства измерения параметров движения./ С.Л. Рябыкин, Ф.Я. Загавура /М.: Высшая школа.- 1987. – 136с.
4. Успенский И.Н., Проектирование подвески автомобиля./ И.Н. Успенский, А.А. Мельников /М.: Машиностроение, 1976. – 60с.
5. Копилевич Э. В. Диагностика подвески автомобилей./ Э. В. Копилевич, М. А. Пурник, С. А. Федоров /М.: Транспорт, 1974. – 52 с.
6. Певзнер Я.М. Колебания автомобиля. Испытания и исследования./ Я.М.Певзнер, Г.Г. Гридасов, А.Д. Конев – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с
7. Мельничук С.В. До питання підвищення показників плавності ходу автомобіля категорії М1. Програмно-апаратний комплекс для проведення натурального дослідження підвіски / С.В. Мельничук, І.В. Вітюк, Бовсунівський І.А./ Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. - Луцький НТУ, 2014.-№1.- с. 73-80
8. Кушвид Р. П. «Прогнозирование показателей управляемости и устойчивости автомобиля с использованием комплекса экспериментальных и теоретических методов». Дис. докт. техн. наук. - М., 2005. - 348 с.
9. Морозов С. А. «Угловые параметры кочения управляемых колёс, как следствие увеличения стойкости движения и снижения нагрузки передней оси грузового автомобиля». Дис. канд. техн. наук. - М., 2005. - 180 с.
10. Гурьянов М.В. «Частотный метод оценки курсовой стойкости автомобиля на основе его моделей в виде систем с многими степенями свободы и нелинейным взаимодействием шин с дорожным покрытием» - Дис. канд. техн. наук: 05.13.18.- Ульяновск, 2007.- 226 с.

REFERENCES

1. Rotenberg, R. (1972) *Vehicle Suspension*. [Podveska avtomobilya]. Moscow, Mashinostroenie Publ. 392p.
2. Smirnov, G. (1981) *The theory of motion-wheeled vehicles*. Moscow, Mashinostroenie Publ. 271 p.
3. Ryabykin, S., Ryabykin, S. & Zagavura F. (1987) *Measurement of motion parameters*. [Sredstva izmereniya parametrov dvizheniya]. Moscow, Vysshaya shkola Publ.- 1987. – 136s.
4. Uspenskiy, I., Mel'nikov, A. (1976) *Engineering vehicle suspension*. Moscow, Mashinostroenie Publ. 60p.
5. Kopilevich, E., Kopilevich, E., Purnik, M. & Fedorov, S. (1974) *Diagnostics of vehicles suspension*. [Dagnostika podveski avtomobiley]. Moscow,Transport Publ.52 p.
6. Pevzner, YA, Gridasov, G. & Konev, A. (1979) *Fluctuations in the car. Tests and research*. [Kolebaniya avtomobilya. Ispytaniya i issledovaniya]. Moscow, Mashinostroenie Publ. 208 p.

7. Melnychuk S., Vityuk I., Bovsunivskiy I., (2014). The problem of increasing indicators smooth progress vehicle categories M1. Hardware-software complex research of field investigations of suspension. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, Vol. 1, pp. 73-80.

8. Kushvid, R. (2005). *Predicting performance handling and stability of the car using a complex experimental and theoretical methods*. [Prognozirovaniye pokazateley upravlemosti i ustoychivosti avtomobilya s ispol'zovaniyem kompleksa eksperimental'nykh i teoreticheskikh metodov]. Dis. dokt. tekhn. nauk. - Moscow. 348 p.

9. Morozov ,S. (2005). *Corner behavior message-driven wheel, as a consequence of increasing the resistance movement and reduce the load of the front axle of the truck* [Uglovyye parametry kocheniya upravlyemykh kolos, kak sledstviye uvelicheniya stoykosti dvizheniya i snizheniya nagruzki peredney osi gruzovogo avtomobilya]. Dis. kand. tekhn. nauk. - Moscow.180 p.

10. Gur'yanov, M. (2007). *The frequency method for assessing exchange rate stability of the vehicle based on its models in the form of systems with many steps of freedom and nonlinear interaction of the tire with the road* [Chastotnyy metod otsenki kursovoy stoykosti avtomobilya na osnove yego modeley v vide sistem s mnogimi stupenyami svobody i nelineynym vzaimodeystviyem shin s dorozhnym pokrytiyem]. Dis. kand. tekhn. nauk. Ul'yanovsk.226 p.

S. Melnychuk, I. Vityuk, A. Bovsunivskiy. Development of a methodology for assessing the stability of the car with the suspension on the basis of the four-bar linkage in the lab.

Assess lateral stability of vehicles is a priority, and therefore, the angle of transversal static stability, angle of inclination of the sprung masses, are some of the important safety parameters that are standardized according to ГОСТ 52302-2004 and may be determined during a road test.

The main parameters for assessing the stability of the vehicle is a rollover and sideslip. But during the road test the car for stability, a number of problems that make it difficult for deployed performance indicators, therefore, the use of laboratory testing should, firstly, to facilitate this process, secondly, will provide an opportunity to more fully carry out the experiment while reducing its time and cost.

The purpose of the work. To develop a methodology for determining lateral stability of a vehicle of category N1 in the laboratory.

To accomplish this goal it was decided to develop a device using high-precision sensors and technical equipment.

It is proposed to consider the method that is to in the laboratory on a horizontal platform by the external application of forces to the body allow the vehicle to position the wheels of one side.

For the solution of a problem of determination of angle of transverse static stability in the proposed method uses a model of the load of the vehicle on a level surface. The force created by the winch until the wheels one side of the vehicle from the reference surface.

To determine the angle given the body roll of the vehicle applied bending moment, for which we used the following tools: tal vantazh-PD mntu up to 2 tons, measurement tools: ruler, level, Libra, gyro. The experiment is conducted in two stages: 1) determination of the height z of the center of mass of the vehicle. 2) determination of the roll angle φ is the sprung mass (body) of the car by its geometric parameters.

Conclusion. As can be seen from the calculations obtained in the result of the experiment for the car ИЖ-2715 according to the scheme, it is proposed that the values of $\alpha_{пс}$ and φ satisfy the requirements of standards established ГОСТ 52302-2004, which indicates the efficiency of the proposed methodology.

Keywords: suspension, vehicle, four-link motion mechanism, durability, laboratory tests.

АВТОРИ:

МЕЛЬНИЧУК Сергій Володимирович, к.т.н., професор кафедри „Автомобілі та автомобільне господарство”, Житомирський державний технологічний університет; e-mail: s.v.melnichuk@ztu.edu.ua

ВІТЮК Іван Васильович, старший викладач кафедри „Автомобілі та автомобільне господарство”, Житомирський державний технологічний університет; e-mail: vnvik74@gmail.com

БОВСУНІВСЬКИЙ Ігор Анатолійович, старший викладач кафедри „Автомобілі та автомобільне господарство”, Житомирський державний технологічний університет; e-mail: bovigor@mail.ru

AUTHORS:

S. MELNYCHUK, PhD., Assoc. Professor of the Department of Automobiles, Zhytomyr State Technological University; e-mail: s.v.melnichuk@ztu.edu.ua

I. VITYUK, senior lecturer of the Department of Automobiles, Zhytomyr State Technological University; e-mail: vnvik74@gmail.com

I. BOVSUNIVSKIY, senior lecturer of the Department of Automobiles, Zhytomyr State Technological University; e-mail: bovigor@mail.ru