



- © В.П. Сахно, докт. техн. наук, професор,
- © О.В. Григорашенко, канд. техн. наук (НТУ)

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА КЕРОВАНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ З 2WS І 4WS СХЕМАМИ КЕРУВАННЯ

Анотація. Показано, що система всеколісного керування є дуже ефективною, та для максимальної своєї продуктивності мусить працювати в комплексі з новітніми системами стеження за рухом автомобіля. Таким чином ці системи значно підвищують керованість і стійкість руху автомобіля на високих швидкостях, а також і безпеку дорожнього руху.

Ключові слова: автомобіль, всеколісне керування, експериментальні дослідження, об'єкт, програма, осцилограма, траєкторія, керованість, стійкість, швидкість, безпека руху.

Аннотация. Показано, что система всеколесного управления является весьма эффективной, но для максимальной своей продуктивности должна работать в комплексе с новейшими системами слежения за движением автомобиля. Таким образом эти системы значительно повысят управляемость и устойчивость движения автомобиля на высоких скоростях, а следовательно и безопасность дорожного движения.

Ключевые слова: автомобиль, всеколесное управление, экспериментальные исследования, объект, программа, осциллограмма, траектория, управляемость, устойчивость, скорость, безопасность движения.

Annotation. It is rotined that the system of all-wheel steering is very effective, but for maximal the effect must work in a complex with the newest track after motion of car systems. Complex these systems considerably will promote dirigibility and stability of motion of car on high-rate, and consequently and safety of travelling motion.

Keywords: car, all-wheel steering, experimental researches, object, program, oscillogram, trajectory, dirigibility, stability, speed, safety of motion.

Вступ

Керованість і стійкість руху автомобіля залежать від багатьох факторів. Для того, щоб найбільш повно вивчити процеси, які відбуваються при русі автомобіля із всеколісним керуванням, необхідно здійснити велику кількість спостережень і вимірів. Кожне з них може фіксувати лише деякі окремі фактори. Виявити головне і потім детально дослідити процеси і явища за допомогою несистематизованої інформації складно. Тому відомості про рух автомобіля було представлено у вигляді математичної моделі [1], що вимагає перевірки її адекватності на реальному фізичному об'єкті. Зробити таку перевірку можна шляхом порівняння результатів отриманих за допомогою математичної моделі та при проведенні експериментальних досліджень [2].

Метою роботи є порівняльна оцінка керованості та стійкості руху авто з 2WS і 4WS схемами керування та перевірка адекватності розробленої

математичної моделі автомобіля і вихідних положень, покладених в основу розрахунку параметрів керованості та стійкості руху.

Завданням експериментального дослідження були:

– перевірка адекватності математичної моделі, що описує рух автомобіля із 2WS і 4WS схемами управління;

– перевірка адекватності отриманих залежностей швидкісних діапазонів, напрямків і кутів повороту задніх керованих коліс автомобіля із всеколісним керуванням;

– оцінка впливу конструктивних параметрів автомобіля на показники керованості та стійкості при круговому русі, повороті на 90° і русі з “переставкою” при різних режимах руху автомобіля;

– визначення показників курсової стійкості автомобіля із всеколісним керуванням при русі на прямолінійних траєкторіях у тяговому режимі;

– порівняльна оцінка керованості та стійкості руху автомобіля з 2WS і 4WS схемами керування.

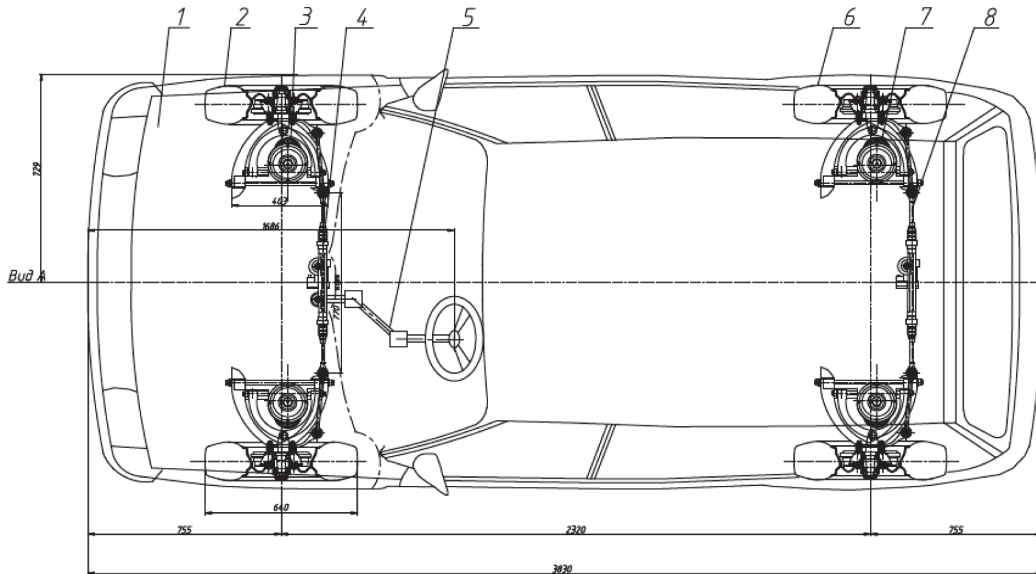


Рис. 1. Автомобіль ЗАЗ-1105 з переобладнаною задньою підвіскою:

1) кузов; 2) переднє колесо; 3) передня підвіска; 4) передня рульова рейка; 5) рульовий привід; 6) заднє колесо; 7) задня підвіска; 8) задня рульова рейка

Основна частина

Об'єктом експериментального дослідження було обрано автомобіль ЗАЗ 1105 "Дана" категорії М1 зі стандартною схемою керування 2WS [3]. Переобладнання автомобіля полягало в тому, що на місце стандартної задньої підвіски було встановлено всі елементи передньої з урахуванням геометрії її установки (кутів розвалу та сходження, поздовжнього та поперечного кутів нахилу шворня, плечей виносу тощо) (рис. 1). Для повороту задніх коліс автомобіль додатково було обладнано рульовим механізмом від автомобіля Фольксваген Гольф V, рис. 2.

При здійсненні керуючого впливу водія на рульове колесо (рис. 3) в процесор 3 поступає інформація від датчика кута повороту рульового колеса 2 та датчиків бокового прискорення і прискорення навколо своєї вертикальної осі. Отримана інформація обробляється процесором, який визначає алгоритм керування задніми колесами автомобіля. На блок керування електродвигуном приводу шестерні рульового механізму задньої підвіски

4 подається відповідна команда. Відбувається поворот задніх керованих коліс.

У результаті експериментальних досліджень були отримані осцилограми із записами кутів

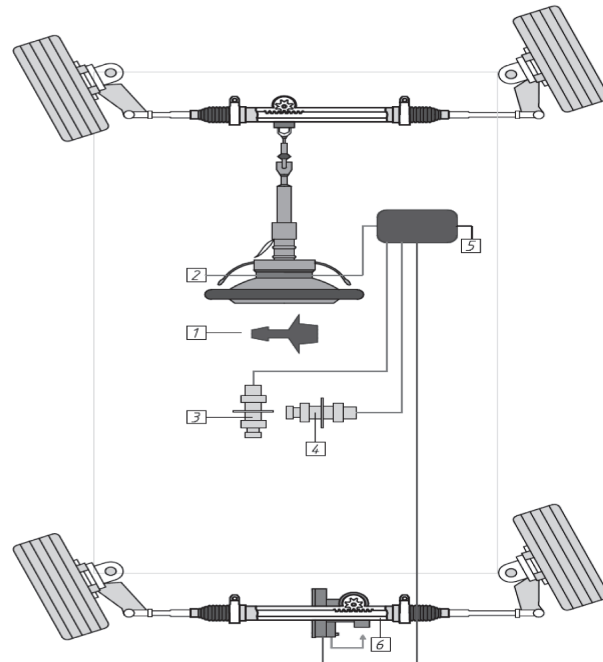


Рис. 3. Схема системи керування задніми колесами експериментального автомобіля: 1) рульове колесо; 2) датчик кута повороту рульового колеса; 3) датчик прискорення навколо вертикальної осі; 4) датчик бокового прискорення; 5) процесор на базі ноутбука – враховує кут і швидкість повороту рульового колеса, бокове прискорення та прискорення навколо своєї вертикальної осі; встановлює напрямок і кут повороту задніх керованих коліс; 6) рульовий механізм задніх коліс

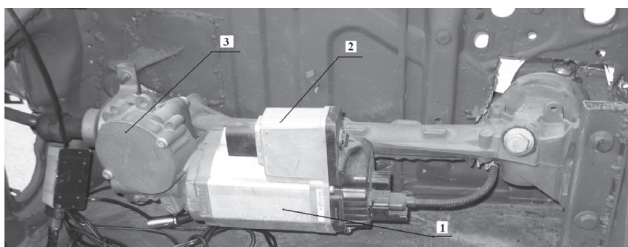


Рис. 2. Механізм керування задніми колесами:

1) електродвигун; 2) блок керування електродвигуном; 3) рульовий механізм

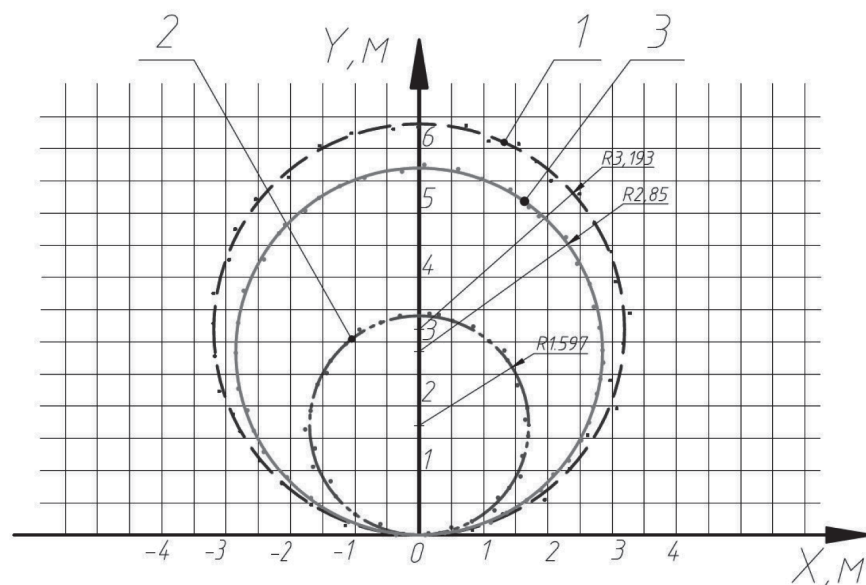


Рис. 4. Траєкторії центру мас автомобіля в режимах 2WS і 4WS: 1 – радіус повороту при схемі керування 2WS; 2 – радіус повороту при схемі керування 4WS ($v=5$ км/год); 3 – радіус повороту при схемі керування 4WS ($v=10$ км/год)

повороту керованих коліс автомобіля, бокових сил під час виконання заїздів, дані про відхилення траєкторій центру мас авто та швидкість руху за різних кутів і напрямків повороту керованих коліс задньої осі автомобіля [1].

Значення усіх параметрів визначалися за величинами відхилень ліній на осцилограмі від визначених базових ліній з урахуванням масштабних коефіцієнтів, отриманих за тарувальними графіками датчиків відповідних параметрів, а власне значення кута повороту рульового

колеса та бокового прискорення центру мас автомобіля.

Для зручності досліджень, осцилограми були дискретизовані та зведені до табличного формату даних, на основі яких отримано графічні залежності. Визначення траєкторії центру мас автомобіля при круговому русі (рис. 4) проводилося з 2WS і 4WS схемами керування як на сталих, так і на несталих режимах [2].

Після проведення аналізу кругового руху автомобіля в режимах 2WS і 4WS було визначено, що

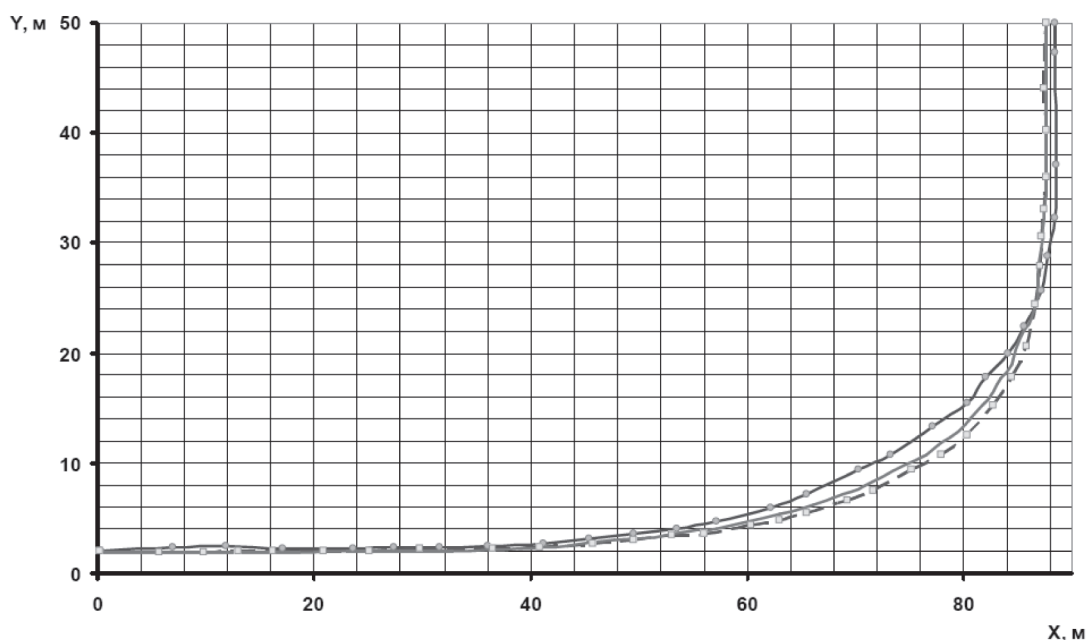


Рис. 5. Траєкторії центру мас автомобіля при повороті на 90° :
— розрахована за методикою при всеколійній схемі керування;
—●— експериментальна при стандартній схемі керування;
- - - експериментальна при всеколійній схемі керування

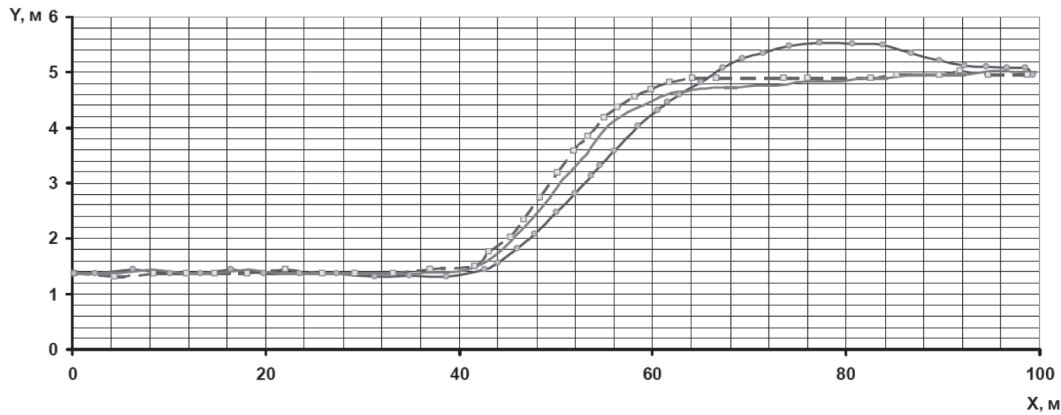


Рис. 6. Траєкторія руху центру мас автомобіля “переставкою”:
 — розрахована за методикою при всеколійній схемі керування;
 - - експериментальні при стандартній схемі керування;
 - - експериментальні при всеколійній схемі керування

при швидкості руху 5 км/год за всеколійної схеми керування і повороту задніх керованих коліс у сторону протилежну повороту передніх на максимальний кут радіус повороту в 4WS режимі досягає значення 1,14 L, тобто у 1,85 разів менше ніж при схемі керування 2WS (рис. 2 (1), (2)). При збільшенні швидкості руху радіус траєкторії центру мас автомобіля у 4WS режимі збільшується, тобто ефективність керування задніми колесами зменшується.

На швидкостях руху більше 15 км/год кут повороту задніх коліс не повинен перевищувати 5°. Радіус повороту в такому випадку зменшиться усього на 10,7 % (на 0,343 м) порівняно зі стандартною схемою керування, але завдяки цьому буде виключено явище надлишкової повороткості, а рівень маневреності значно покращиться.

При русі транспортного засобу в реальних дорожніх умовах на нього з боку зовнішнього середовища діють сили (збурення). Вони можуть мати двояку природу – обумовлені або випадковими збуреннями, або керуючими впливами. Останні використовуються водієм для управління курсовим і боковим рухом транспортного засобу в результаті повороту керованих коліс.

Випадкові збурення можуть бути викликані різними причинами: взаємодією коліс із нерівностями дороги, нахилом дороги, аеродинамічними силами, неузгодженістю кінематики підвіски та рульового керування тощо.

Згідно з аналітичними дослідженнями “стійкий” транспортний засіб при дії невеликих збурень здатний зберігати заданий напрямок руху без доворотів рульового колеса водієм, або рухатись після дії збурення під іншим незмінним курсовим кутом. “Нестійкий” транспортний засіб навіть за мінімальних збурень не може забезпечити прямолінійний режим руху без корегуючих дій водія і транспортний засіб із плином часу переходить із прямолінійного режиму руху в круговий навіть без повороту рульового колеса.

Швидкість реакції транспортного засобу на дію збурення в такому випадку буде залежати від області тяжіння прямолінійного руху.

На графіках (рис. 5, 6), для порівняння, представлені також траєкторії центру мас автомобіля, отримані у результаті числового комп’ютерного моделювання руху автомобіля під дією збурюючої сили. Вихідним сигналом для моделювання слугувала отримана в ході експерименту залежність у часі кута повороту рульового колеса, яка попередньо лінійно апроксимувалась. У результаті числового інтегрування отримані інтегральні криві – залежність у часі кінематичних змінних, які порівнюються з аналогічними кривими, одержаними при експериментальних випробуваннях.

Кожний із рис. 5 та 6 – це система аналітичних і експериментальних графіків, які показують поведінку автомобіля при дії збурення за різних схем керування: 2 WS і 4 WS.

Поворот на 90° (рис. 5) показав, що в автомобіля із всеколійним керуванням показники керованості кращі ніж в авто із стандартною схемою керування. Так автомобіль, обладнаний системою 4WS, “гостріше” реагує на зміну траєкторії руху. Відхилення траєкторії руху автомобіля із всеколійним керуванням від розрахункової не перевищує 7 %.

Маневр “переставка” також підтвердив значні переваги системи всеколійного керування перед стандартною системою.

На рис. 6 показана траєкторія руху центру мас автомобіля при стандартній та всеколійній схемі керування. При русі з “переставкою” автомобіль із стандартною схемою керування набуває значних бокових прискорень. Це призводить до появи надлишкової повороткості та зниження стійкості руху автомобіля.

При русі з “переставкою” автомобіля із всеколійним керуванням датчиками було визначено зниження бокових прискорень автомобіля

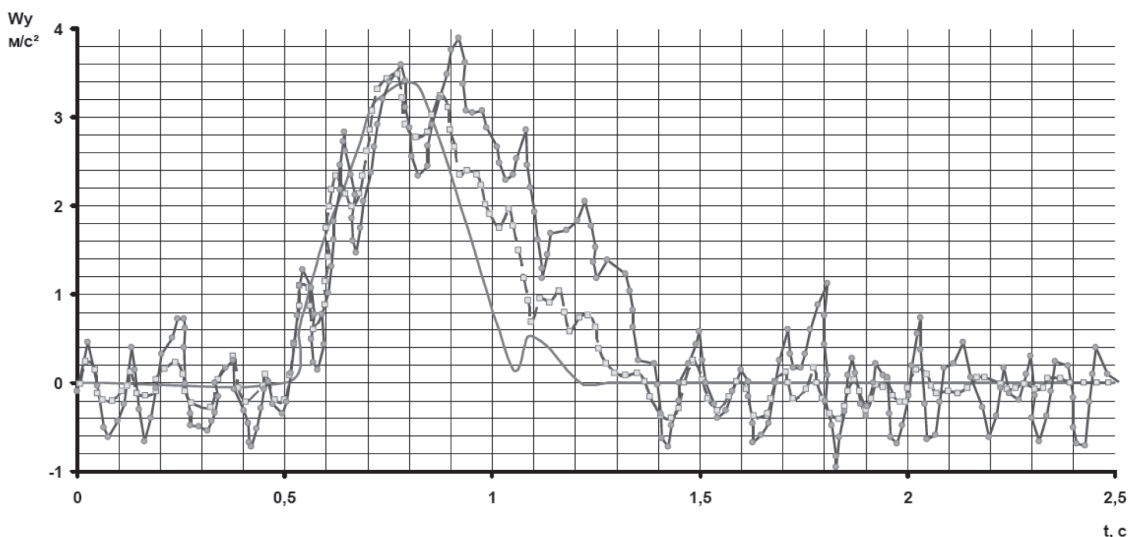


Рис. 7. Порівняння реакції автомобіля на “ривок рульового колеса” при стандартній та всеколійній схемах керування:

- - розрахована за методикою при всеколійній схемі керування;
- - експериментальна при стандартній схемі керування;
- - експериментальна при всеколійній схемі керування

та покращення стійкості його руху. Ефекту недостатньої чи надлишкової повороткості не виникало. Траєкторія руху значно плавніша та близька до бажаної.

Зниження бокових прискорень автомобіля при всеколійній схемі керування внаслідок дії збурюючої сили, викликаної “ривком руля”, показано на рис. 7. Для порівняння на цьому графіку представлені й аналітичні результати числового комп’ютерного моделювання руху автомобіля.

Результати розрахунків і експерименту бокового прискорення центру мас автомобіля збігаються задовільно, за винятком високочастотних коливань бокового прискорення, викликаних шерохватістю дороги, динамікою шасі та підвіски. На основі цього можна зробити висновок, що транспортний засіб із всеколійною схемою керування при таких масово-геометричних, конструктивних та експлуатаційних параметрах буде стійкішим ніж аналогічний автомобіль, обладнаний стандартною схемою керування.

Дослідженнями були визначені і проблемні сторони. Так, у перехідних режимах спостерігалася відносно низька стійкість руху. На початку повороту внаслідок деформації шин на передніх колесах виникають стабілізуючі, а на задніх – дестабілізуючі моменти. При вході в поворот відцентрові сили збільшують стабілізуючі моменти на колесах передньої осі та зменшують дестабілізуючі, які виникли при вході в поворот на задніх колесах, далі перетворюючи ці моменти в стабілізуючі. При виході з повороту бокова сила на колесах зростає, збільшуючи можливість заносу.

Виходячи з цього, можна констатувати наявність змінних за напрямком та величиною бокових реакцій, що виникають на задніх колесах та ускладню-

ють керування автомобілем при його переході від прямолінійного руху до криволінійного.

Зниження як стабілізуючого, так і дестабілізуючого моментів можливо досягнути нахилом шворнів задніх коліс вперед, тобто зменшенням плеча, на якому діє бокова реакція у точці контакту. Також було виявлено, що для зменшення дестабілізуючого моменту варто починати поворот задніх коліс після повороту передніх, тобто повертати їх із затримкою в режимі стеження.

Висновки

Зважаючи на все сказане вище, система всеколійного керування є дуже ефективною, та для максимального свого ефекту мусить працювати разом із новітніми системами стеження за рухом автомобіля. Комплексно ці системи значно підвищують керованість і стійкість руху автомобіля на високих швидкостях, а також безпеку дорожнього руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григорашенко О.В. Розробка математичної моделі автомобіля із всеколійним керуванням категорії М1 / О.В. Григорашенко // Вісник НТУ. – 2008. – № 17. – С. 115 – 125.
2. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов – М.: Наука, 1971. – 205 с.
3. Григорашенко О.В. Експериментальний легковий автомобіль із всеколійним управлінням / О.В. Григорашенко // Вісник НТУ. – 2008. – № 16. – С. 170 – 173.
4. Експериментальні дослідження макета автомобіля із всеколійним керуванням: матеріали 65 Наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, травень 2009 / НТУ. – К.: НТУ, 2009. – 463 с.
5. Сахно В.П. До визначення показників маневреності та стійкості руху автобусів великого класу / В.П. Сахно, О.А. Веремчук, О.В. Григорашенко, А.В. Лагошина // Автошляховик України. – 2007. – № 10. – С. 130 – 133.