

УДК 656.137

С. И. КРИВОШАПОВ, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ, Харьков**ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА В СЛОЖНЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН**

В статье проведен анализ сложных условий работы машин и способы их учета в нормативно правовой базе Украины. Отмечены недостатки действующей методики нормирования расхода топлива. Получены общие формулы расчета расхода топлива на трех режимах движения. На примере автомобиля КрАЗ-6510 получены графические зависимости изменения расхода топлива в зависимости от скорости движения и условий эксплуатации. Для этого автомобиля при движении со скоростями около 10 км/ч расход топлива в л/100 км может увеличиваться в 2-6 раза. Предложены пути совершенствования нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте с учетом сложных режимы работы машин с пониженными скоростями.

Ключевые слова: расход топлива, нормирование, условия эксплуатации, профиль дороги, сопротивление качению колеса, потери энергии, транспортные машины, эксплуатационные свойства.

Введение. Машины не всегда работают по дорогам с твердым покрытием. Эксплуатация машин в условиях карьера и лесозаготовки, работа машин МЧС и ВС, перевозка сельскохозяйственной продукции может происходить при полном отсутствии дорог или их неудовлетворительного состояния. В таких условиях машины эксплуатируются с высокими нагрузками и с пониженными скоростями. Расход топлива на таких режимах значительно возрастает.

Анализ основных достижений и литературы. Нормирование расхода топлива в нашей стране для транспортных машин осуществляется согласно приказа Министерства транспорта Украины № 43 от 10 февраля 1998 года [1]. В соответствии с этим приказом в максимально тяжелых условиях эксплуатации расход топлива может быть увеличен до 50 %. Однако этот документ не дает количественную оценку дорожных условий эксплуатации.

Кузнецов Е.О. [2] предлагает дорожные условия разделять на 6 типов и 3 признака, которые определяют 5 категорий дорог. На дорогах IV и V категорий [3] расход топлива повышается до 40 %, а в тяжелых условиях – до 50 %. Оценка категории дорог производится по качественным показателям дорожного полотна.

Дорожные условия проф. Говорушенко Н.Я. предложил разделять на 5 категорий [4]. Оценка категории дорог производилась по таким показателям, как: степени ровности дороги, продольный уклон дороги, значения коэффициента суммарного дорожного сопротивления и др. Получены аналитические зависимости влияния этих показателей на среднюю техническую скорость [5]. На дорогах 4-ой категории по сравнению с 1-й категории дорог средняя техническая скорость автомобиля снижалась на 88 %, а на дороге 5-ой категории – более 2.2 раза. Расход топлива соответственно увеличивать на 50 % и 70 %. В данной методике условия эксплуатации оцениваются количественными показателями. Более сложные условия эксплуатации рассмотрены в работе Мастепана С.Н., который предложил ввести 6-ю и 7-ю категории эксплуатации, соответствующие движению автомобиля со средними скоростями 20 км/ч и 14 км/ч [6]. В качестве количественного показателя использовался критерий мощностного фактора.

Цель исследования, постановка задачи. Основная цель статьи – определить эксплуатационный расход топлива при движении транспортных машин с пониженными

скоростями. Произвести количественную оценку изменения расхода топлива при различной скорости машины.

Материалы исследования. Согласно исследованиям [7] предложена следующая зависимость расчета расхода топлива:

$$H_a = \frac{100 \cdot K_{ш} \cdot M_a}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_a}, \quad (1)$$

где $K_{ш}$ – шум ускорения, м/с²;
 M_a – масса автомобиля, кг;
 H_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг;
 ρ_m – плотность топлива, г/см³; η_a – КПД автомобиля.

В формуле (1) шум ускорения определяет качество дорожных условий эксплуатации. Чем хуже условия эксплуатации, тем больше неравномерность движения автомобиля, следовательно, выше значение шума ускорений. Шум ускорения вычисляется по формуле

$$K_{ш} = 0.4 \cdot g \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2 / M_a \quad \text{м/с}^2, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;
 ψ – коэффициент суммарного дорожного сопротивления;
 kF – фактор обтекаемости, Н·с²·м⁻²;
 V_a – скорость движения автомобиля, км/ч.

В формуле (1) и (2) масса автомобиля определяет нагрузочную характеристику автомобиля, а средняя техническая скорость – скоростные качества машины. Произведение низшей теплоты сгорания и плотности топлива характеризует качество топлива. КПД автомобиля – характеризует совершенство конструкции машины.

В работе [8] получены аналитические зависимости изменения общего КПД автомобиля и КПД отдельных агрегатов в зависимости от конструктивных и эксплуатационных показателей. Исследования показали [9], что при малых скоростях, значение КПД автомобиля больше зависит от особенности конструкции транспортного средства и меньше от нагрузочного и скоростного режима. Поэтому при скоростях до 30 км/ч значение КПД автомобиля можно принимать постоянным.

Формула (1) с учетом формулы (2) примет следующий вид:

$$H_a = \frac{40 \cdot g \cdot M_a \cdot \psi}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_a} + \frac{7.7 \cdot kF \cdot V_a^2}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_a}. \quad (3)$$

Рассмотрим несколько случаев сложных условий эксплуатации, которые характеризуется понижением средней скорости движения автомобиля: 1) движение автомобиля по ровной дороге с высоким дорожным сопротивлением из-за продольного уклона профиля дороги; 2) движение автомобиля по неровной твердой дороге; 3) движение автомобиля по деформированной поверхности.

В теории автомобилей [10] коэффициент суммарного дорожного сопротивления учитывает потери на сопротивление качению колеса и продольный уклон дороги, т.е.

$\psi = f + i$. В складних дорожніх умовах опір зростає, при цьому швидкість знижується. Отже, між ψ і V_a спостерігається обернена пропорційна залежність. В роботі [5] запропонована наступна формула зміни коефіцієнта сумарного дорожнього опору від середньої технічної швидкості:

$$\psi = \frac{0.01 \cdot V_{\max}}{V_a} = \frac{K_1}{V_a} \quad (4)$$

де V_{\max} - максимальна швидкість автомобіля, км/ч. Значення $K_1 = 0.01 \cdot V_{\max}$.

Наприклад, для автомобіля КрАЗ-6510, у якого $V_{\max} = 80$ км/ч, значення сумарного дорожнього опору дорівнює $\psi = 0.01 \cdot 80 / V_a = 0.8 / V_a$.

Як вказано в роботі [7], на опір каченню колеса приходиться 60 % сумарних втрат, а на уклони дороги – 40 %. Тоді для автомобіля КрАЗ-6510:

$$\psi = f + i = \frac{0.48}{V_a} + \frac{0.32}{V_a}. \quad (5)$$

Розрахуємо витрати палива для автомобіля КрАЗ-6510. В розрахунок беремо наступні показники: $M_a = 19250$ кг, що відповідає половинній навантаженню автомобіля, як це вимагає методика нормування витрати палива [1]; для дизельного палива $H_n = 43000$ кДж/кг і $\rho_m = 0,84$ г/см³; коефіцієнт обтікуємості $kF = 5.65$ Н·с²·м⁻⁴; ККД автомобіля дорівнює 0.13. Тоді після підстановки цих показників в формулу (3) з урахуванням залежності (5) отримаємо витрати палива:

$$H_a = \frac{40 \cdot 9.81 \cdot 19250 \cdot 0.8}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.13 \cdot V_a} + \frac{7.7 \cdot 5.65 \cdot V_a^2}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.13} = \frac{1287}{V_a} + 0.0093 \cdot V_a^2. \quad (6)$$

При русі автомобіля по нерівній дорозі частину енергії, яка підведена до коліс автомобіля, витрачається на переміщення підвіскової і не підвіскової мас автомобіля. В роботі [5] втрати в підвісці машини при русі по нерівній дорозі розподіляються на 4 складових: подолання горизонтальної сили, тертя в ресорах, втрати в амортизаторах і шинах. Додаткові втрати враховуються коефіцієнтом опору каченню колеса, який розраховується за наступною залежністю

$$f_{\text{дон}} = \Delta_1 \cdot \frac{S^2 \cdot V_a}{G_a} + \Delta_2 \cdot \frac{S}{G_a}, \quad (6)$$

де Δ_1 і Δ_2 - конструктивні показники підвіски автомобіля;

S - ступінь рівності дорозі, см/км;

G_a - вага автомобіля на ведучих осях, Н.

В цьому випадку подовжнім профілем дорозі нехтуємо, тоді $\psi = f = f_o + f_{\text{дон}}$, де f_o - коефіцієнт опору каченню колеса без урахування нерівностей дорозі.

Для прикладу розрахуємо коефіцієнт сумарного дорожнього опору

автомобіля КрАЗ-6510 при наступних вихідних даних: $\Delta_1=7.16 \cdot 10^{-5}$; $\Delta_2=0.358$; $G_a = M_a \cdot g = 14025 \cdot 9.81 = 137585$ Н; $S = 400$ см/км; $f_o = 0.01$. Тоді

$$\Psi = 0.01 + 7.16 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{400^2 \cdot V_a}{137585} + 0.358 \cdot \frac{400}{137585} = 0.011 + 8.32 \cdot 10^{-5} \cdot V_a. \quad (7)$$

С збільшенням ступеня нерівності дороги (S) значення коефіцієнтів, що входять в формулу (7) зростають. Підставив формулу (7) в залежність (3) можна розрахувати для цього прикладу витрати палива автомобіля КрАЗ-6510:

$$H_a = \frac{1609}{V_a} \cdot (0.011 + 8.32 \cdot 10^{-5} \cdot V_a) + 0.0093 \cdot V_a^2 = 0.134 + \frac{17.7}{V_a} + 0.0093 \cdot V_a^2. \quad (8)$$

При русі по деформованій поверхні дороги частина енергії, що надходить до коліс автомобіля, витрачається на деформацію і зміщення ґрунту. В роботі [5] ці втрати враховуються коефіцієнтом опору каченню колеса по наступній формулі:

$$f_{\text{дон}} = \frac{3}{(\mu + 1) \cdot (3 - \mu)} \cdot \sqrt{\frac{h_k}{D_k}}, \quad (9)$$

де μ - коефіцієнт вологості ґрунту;

h_k - глибина колі, см;

D_k - діаметр колеса, см.

Значення μ змінюється в межах від 0 (сухий ґрунт) до 2 (текучий ґрунт). Глибина колі залежить від фізичних і геометричних параметрів шин і вертикальної навантаження на колесо. Для розрахунку h_k можна використовувати наступну формулу

$$h_k = \left[\frac{9 \cdot G_k^2}{C_1^2 \cdot b_k^2 \cdot (3 - \mu)^2 \cdot D_k} \right]^{\frac{1}{1+2\mu}}, \quad (10)$$

де G_k - вага, що припадає на колесо (тележку), Н;

C_1 - коефіцієнт осадки ґрунту; b_k - ширина шини, см.

Візьмемо, що автомобіль КрАЗ-6510 рухається по пластичному супіщаним ґрунту. Для цього режиму приймаємо: $\mu=1.5$; $C_1=25$. Колесо автомобіля має наступні параметри: $D_k = 110$ см; $b_k=32$ см. Навантаження на одне колесо задньої тележки становить $G_k=14025 \cdot 9.81/4=34400$ Н. При цих прийнятих умовах $h_k=2.86$ см, а $f_{\text{дон}}=0,129$. Тоді витрати палива становлять:

$$H_a = \frac{40 \cdot 9.81 \cdot 19250 \cdot 0.129}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.13} + \frac{7.7 \cdot 5.65 \cdot V_a^2}{43000 \cdot 0.84 \cdot 0.13} = 208 + 0.0093 \cdot V_a^2. \quad (11)$$

Анализ результатов исследования. В результате аналитических исследований были получены формулы (6), (8) и (11) расхода топлива автомобиля-самосвала КрАЗ-6510, соответствующие трем режимам работы.

На рис. 1 представлены графические зависимости расхода топлива автомобиля КрАЗ-6510 при движении по ровной дороге. Минимальный расход топлива соответствует скорости автомобиля 35-45 км/ч. Контрольный расход топлива, установленный заводом изготовителем КрАЗ, при постоянной скорости и для снаряженного состояния составляет 33.7 л/100 км. Нормативное значение базовой нормы расхода топлива, устанавливается на половину загрузки самосвала [1], равным 48 л/100 км. С уменьшением скорости расход топлива интенсивно возрастает. На графике пунктиром указано предельное увеличение расхода топлива, которое предусмотрено методикой нормирования расхода топлива на Украине [1]. Из графика видно, что при скорости 20 км/ч расход топлива увеличивается на 50 % от нормативного значения, а при скорости 10 км/ч – уже более чем в 2.5 раза.

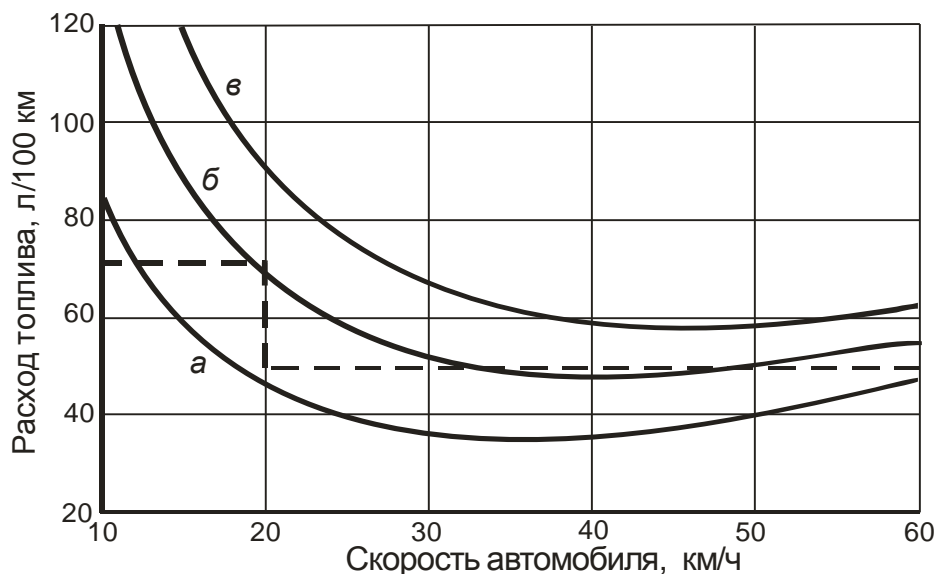


Рисунок 1 - Изменение расхода топлива автомобиля КрАЗ-6510 от скорости движения при различной степени загрузки: а – 0 %, б – 50 %; в – 100 %.

На рис. 2 представлены графические зависимости изменения расхода топлива при различной степени ровности дороги. С увеличением скорости увеличивается частота возмущающих колебаний, что приводит к увеличению потери энергии в подвески автомобиля. Однако для преодоления больших неровностей водителю необходимо снижать скорость движения. Пунктирной линии обозначено среднее взвешенное значение расхода топлива, которое при малых скоростях возрастает.

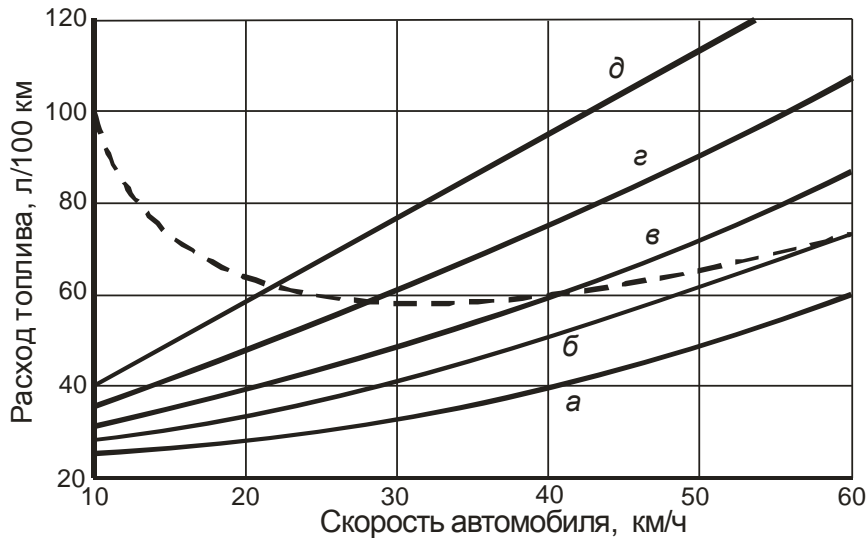


Рисунок 2 - Изменение расхода топлива при различной степени ровности дороги: а – $S = 200$ см/км; б – $S = 400$ см/км; в – $S = 600$ см/км; г – $S = 800$ см/км; д – $S = 1000$ см/км.

На рис. 3 показана зависимость изменения расхода топлива при движении по деформированному грунту. С увеличением скорости движения потери на деформацию грунта возрастают, что приводит к увеличению расхода топлива. Минимальный расход топлива для автомобиля КраЗ-6510 при коэффициенте влажности грунта $\mu = 1.3$.

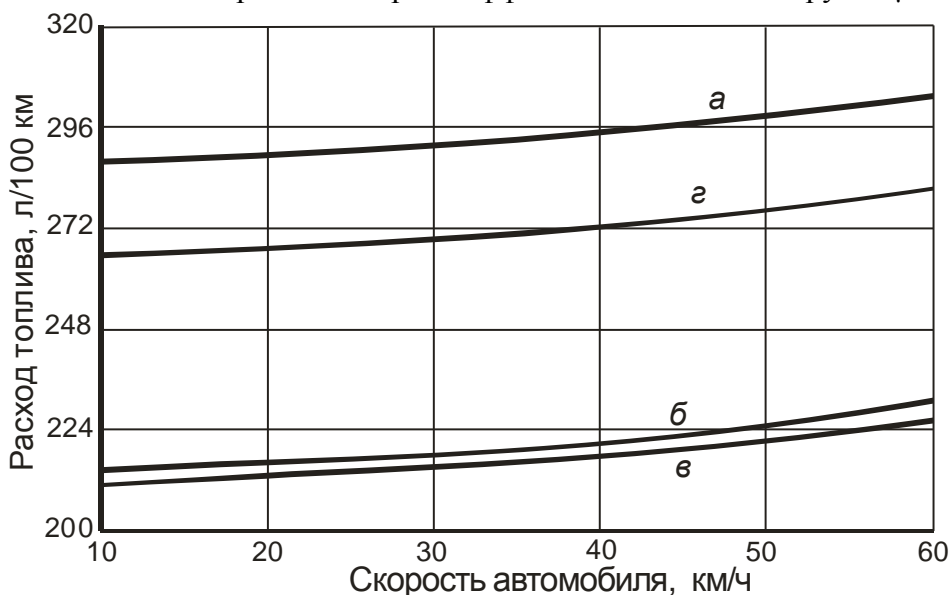


Рисунок 3 - Изменение расхода топлива от скорости при различных значениях μ : а – 0.5; б – 1.0; в – 1.5; г – 2.0.

Движение автомобиля по деформированному грунту может приводить к увеличению расхода топлива в 4-6 раз, по сравнению с нормативными значениями.

Выводы. Результаты исследований показали необходимость увеличивать норму расхода топлива для машин, работающих в сложных дорожных условиях.

Список литературы: 1. Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте [электронный ресурс] // Налоги и бухгалтерский учет - Режим доступа : http://www.nibu.factor.ua/info/Zak_basa/NormiGSM/. - Дата обращения : 05 февраля 2015. 2. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С.

Кузнецов – М.: Наука, 2001. – 534 с. **3.** Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 г. № АМ-23-р [электронный ресурс] // Главбух : Бумажный и электронный журнал, сообщество, справочная система и онлайн-сервисы. — Режим доступа : <http://www.glavbukh.ru/doc/2126>. - Дата обращения : 05 февраля 2015. **4.** Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с. **5.** Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследования) : монография / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 292 с. **6.** Мастепан С.Н. Диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса транспортной машины с помощью детерминированных методов расчета : дис. ... канд. техн. наук; 05.22.20. / С.Н. Мастепан. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – 167 с. **7.** Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) [текст] // Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Автомобильный транспорт : Сб. науч. тр. - Харьков: ХНАДУ. - 2004. - № 15. - С. 31-34. **8.** Кривошапов С.И. Разработка методики и алгоритма общего диагностирования автомобилей по изменению коэффициента полезного действия : дис. ... канд. техн. наук; 05.22.10 / С.И. Кривошапов. – Харьков: ХГАДТУ, 1999. – 216 с. **9.** Кривошапов С.И. Особенности нормирования расхода топлива транспортных машин, работающих в сложных дорожных условиях [Текст] / С.И. Кривошапов // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенко. - Вип. 155. - 2014. - С. 82-89. **10.** Великанов Д.П. Эффективность автомобильных транспортных средств и транспортной энергетики : Изб. труды. / Д.П. Великанов. – М.: Наука, 1989. – 199 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Normy rashoda topliva i smazochnyh materialov na avtomobil'nom transporte [jelektronnyj resurs] Nalogi i buhgalterskij uchet - Rezhim dostupa : http://www.nibu.factor.ua/info/Zak_basa/NormiGSM/. - Data obrashhenija : 05 fevralja 2015. **2.** *Kuznecov E.S.* Tehnicheskaja jekspluatacija avtomobilej / *E.S. Kuznecov* – М.: Наука, 2001. – 534 p. **3.** Rasporjazhenie Mintransa Rossii ot 14.03.2008 g. No АМ-23-р [jelektronnyj resurs] Glavbuh : Bumazhnyj i jelektronnyj zhurnal, soobshhestvo, spravocnaja sistema i onlajn-servisy. — Rezhim dostupa : <http://www.glavbukh.ru/doc/2126>. - Data obrashhenija : 05 fevralja 2015. **4.** *Govorushhenko N.Ja.* Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte / *N.Ja. Govorushhenko*. – Moscow.: Transport, 1990. – 135 p. **5.** *Mastepan S.N.* Diagnostirovanie i prognozirovanie ostatochnogo resursa transportnoj mashiny s pomoshh'ju determinirovannyh metodov rascheta : dis. ... kand. tehn. nauk; 05.22.20. / *S.N. Mastepan*. – Kharkov: KhNADU, 2006. – 167 p. **6.** *Govorushhenko N.Ja.* Novaja metodika normirovanija rashoda topliva transportnyh mashin (metod chetyreh KPD) *N.Ja. Govorushhenko, S.I. Krivoschapov.* Avtomobil'nyj transport : Sb. nauch. tr. - Kharkov: KhNADU. - 2004. - No 15. - p. 31-34. **7.** *Krivoschapov S.I.* Razrabotka metodiki i algoritma obshhego diagnostirovanija avtomobilej po izmeneniju kojefficienta poleznogo dejstvija : dis. ... kand. tehn. nauk; 05.22.10 / *S.I. Krivoschapov*. – Kharkov: KhGADTU, 1999. – 216 p. **8.** *Govorushhenko N.Ja.* Sistemotehnika avtomobil'nogo transporta (raschetnye metody issledovanija) : monografija / *N.Ja. Govorushhenko*. – Kharkov: KhNADU, 2011. – 292 p. **9.** *Krivoschapov S.I.* Osobennosti normirovanija rashoda topliva transportnyh mashin, rabotajushhih v slozhnyh dorozhnyh uslovijah [Tekst] / *S.I. Krivoschapov* // Vistnik Harkivs'kogo nacional'nogo universitetu sil'skogo gospodarstva im. Petra Vasilenko. - Vip. 155. - 2014. - p. 82-89. **10.** *Velikanov D.P.* Jeffektivnost' avtomobil'nyh transportnyh sredstv i transportnoj jenergetiki : Izb. trudy. / *D.P. Velikanov*. – Moscow.: Nauka, 1989. – 199 p.

Поступила (received) 07.03.2015