

Н.В. ВНУКОВА, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харків

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ І ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ

В статті розглядається залежність екологічної безпеки від технічного стану двигунів внутрішнього згоряння. Запропоновано питомий інтегральний показник еколого-хімічної небезпеки та критерій відповідності цього показника міжнародним нормам.

Ключові слова: двигуни внутрішнього згоряння, екологічна безпека.

В статье рассматривается зависимость экологической безопасности от технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Предложено удельный интегральный показатель эколого-химической опасности и критерий соответствия этого показателя международным нормам.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, экологическая безопасность.

In the article dependence of ecological safety is examined on the technical state of combustion engines. There are proposed the specific integral index environmental and chemical hazards and criteria for correspondence this indicator with international standards.

Key words: combustion engines, environmental safety.

1. Вступ

Технічний стан двигунів внутрішнього згоряння оцінюється точністю лінійних розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь, що є загальним як для тих автомобілів, що випускаються, так і тих, що знаходяться в експлуатації, і їх складових частин. Це поширюється на освоєвані вироби на етапах їх проектування, доведення і досвідченого випуску.

Відповідно до загальноприйнятої термінології використовується поняття технологічного показника якості, під яким розуміється кількісна характеристика властивостей, обумовлених вимогами до технології виготовлення, технічному обслуговуванню або ремонту. Тому якщо працездатність виробів визначається різними видами і ступенем пошкоджуваності конструктивних елементів, то, як наслідок, це породжує відповідні вихідні параметри (паливна економічність, вміст і обсяг викиду шкідливих речовин, шум, вібрація, зниження продуктивності, коефіцієнт корисної дії й ін.). Ці параметри визначають динамічний стан виробу.

2. Постановка завдання

Встановлення взаємозв'язку між технологічними показниками якості і вихідними параметрами. З цією метою використовуються методи аналізу випадкових процесів та розкриття фізики відмовлень. Для рішення поставленої задачі використовуються техніко-економічні, технологічні й екологічні критерії.

3. Аналіз публікацій

Зазначена проблематика відображена в роботах таких вчених та спеціалістів як: Кавтарадзе Д.М., Каніло П.М., Лаврик А.М., Абрамчук Ф.І., Куценко А.С., Лушпа А.І. та ін.

На підставі аналізу стану питання можна сказати, що до дійсного часу рішення цієї проблеми носить приватний характер. Наприклад, докладно досліджені питання обґрунтування параметрів і їх нормативних значень для встановлення технологічних і діагностичних (вихідних) показників. Однак невирішеною є задача встановлення взаємозв'язку між закономірностями зміни технологічних показників, показниками вихідних параметрів і надійністю виробу.

4. Основна частина

Зміна вихідного параметра не завжди відповідає тимчасовій залежності зміни технологічного показника. Наприклад, лінійний характер зміни технологічного показника може привести до нелінійної зміни вихідного параметра.

Використовуючи вихідну інформацію, що міститься в сукупності одиничних реалізацій, по відомим методикам визначається статистика моментних функцій. Для цього визначаються відповідні значення оцінок зміни математичних очікувань $U(L)$ і дисперсій $S_u^2(L)$, що використовують метод найменших квадратів, можуть бути апроксимовані залежностями виду, відповідно:

$$U(L) = \bar{U}_0 + V \cdot L, \quad (1)$$

$$U(L) = \bar{U}_0 + V \cdot L^\alpha, \quad (2)$$

$$U(L) = (A \cdot \bar{U}_0 - \alpha \cdot L) / (A - L), \quad (3)$$

$$S_u^2(L) = \alpha + \alpha_1 \cdot L, \quad (4)$$

$$S_u^2(L) = S_0^2 \cdot e^{\alpha L}, \quad (5)$$

де α , α_1 , V – параметри формул, що підлягають визначенню.

Умова визначення значення технологічного показника, що допускається, полягає в забезпеченні надійності досліджуваного виробу, що визначається запасом працездатності механізму ΔL .

Загальним випадком є ситуація, коли якість виробу оцінюється не одним, а декількома технологічними показниками. Крім цього, не всі технологічні показники в однаковій мірі несуть інформацію про стан виробу. При рішенні задачі, вагомість кожного з показників визначається проведенням блокового експерименту, методом випадкового балансу або планом повнофакторного експерименту. Для проведення дослідження вибирають технологічний показник, що лімітує, а для інших установлюються можливі допускові області їх існування.

Встановлення залежності $\psi(L)$, яка характеризує вплив зміни вихідних параметрів двигуна внутрішнього згоряння в залежності від наробітку, представляє складну науково-дослідну й інженерну задачу, рішення якої може бути здійснене шляхом встановлення взаємозв'язку між ψ та U шляхом проведення стендових іспитів, як найбільш оперативним, менш трудомістким, більш інформативним і достовірним методом. З цією метою формується матриця динамічного стану двигуна внутрішнього згоряння, яка характеризує технологічні показники якості, що враховуються. Як вихідні параметри прийнята питома ефективна витрата палива (група техніко-економічних критеріїв), рівень вібрації, шуму і димності відпрацьованих газів (група екологічних критеріїв). За результатами експериментальних досліджень встановлюються шукані залежності:

$$\Delta L^B \leq \Delta L^T, \quad (6)$$

де ΔL^B та ΔL^T – запас працездатності механізму за критерієм вихідного параметра і технологічного показника відповідно.

Особливо значимим є питання про роль впливу регламентованих токсичних інгредієнтів (СО, СН, NO_x, ТЧ), а також сумарної канцерогенності відпрацьованих газів ДВЗ на їх інтегральну еколого-хімічну небезпеку або, точніше, на їх екологічну безпеку [1-5].

Для узагальнення теоретичних і експериментальних даних пропонується питомий інтегральний показник еколого-хімічної небезпеки $(EXH)_j$ двигунів внутрішнього згорання; показник, який нормативно допускається $[EXH]_j$, а також – критерій відповідності інтегрального еколого-хімічного показника транспортного засобу міжнародним нормам K_j :

$$(EXH)_j = 10^3 \left\{ \sum_{i=1}^n k_i \frac{m_{ij}}{[ГДК_i]_{сд}} \right\}, \quad (7)$$

$$[EXH]_j = 10^3 \left\{ \sum_{i=1}^n k_i \frac{[m_i]_j}{[ГДК_i]_{сд}} \right\}, \quad (8)$$

$$K_j = EXH_j / [EXH]_j, \quad (9)$$

де $[ГДК_i]_{сд}$ – середньодобові гранично допустимі концентрації компонентів ВГ в атмосферному повітрі, мг/м³ (таблиця 1);

n – кількість компонентів відпрацьованих газів ДВЗ, які враховуються при оцінці еколого-хімічної небезпеки;

j – для ДВЗ, обладнаних поршневими двигунами з примусовим запаленням пальної суміші – (Б), для дизельних ДВЗ – (Д);

m_i , $[m_i]$ – відповідно питомі реальні і допустимі рівні викидів i -х шкідливих речовин із відпрацьованими газами ДВЗ при їх іспиті у відповідності до міжнародних вимог (m_i : СО, СН, NO_x, ТЧ, БП, SO₂), г/квт·год (г/км – для транспортних засобів, що пройшли іспит за їздовим циклом);

k_i – безрозмірні показники посилення сполученої дії особливо небезпечних токсичних і канцерогенних речовин на людину в умовах міського середовища (у тому числі з урахуванням явищ синергізма – утворення нітродіоксидів і мутагенів, промотування дрібнодисперсними твердими частками канцерогенної агресивності ВГ, доокислення NO у NO₂, підвищення кислотності середовища, тощо): $k_{NO_x} = 3$; $k_{БП} = 5,2$; $k_{КВ} = 1,3$; $k_{ТЧ} = 2,4$.

Таблиця 1. Середньодобові гранично допустимі концентрації деяких компонентів відпрацьованих газів ДВЗ в атмосферному повітрі

Речовина	$[ГДК_i]_{сд}$, мг/м ³	Речовина	$[ГДК_i]_{сд}$, мг/м ³
Оксид вуглецю	3	Сажа	0,05
Вуглеводні (неканцерогенні)	1,5	Діоксид азоту	0,04
Оксид азоту	0,06	Формальдегід	0,003
Діоксид сірки	0,05	Бенз(а)пирен	0,000001

Показник $(EXH)_j$ характеризує питому кратність розведення ВГ чистим повітрям (питомий нормообмін) до гранично безпечних для людини концентрацій шкідливих речовин.

При цьому допустимі рівні викидів БП із відпрацьованими газами ДВЗ $[m_{БП}]_j$ можуть бути визначені з граничних умов для нормованих NO_x ($NO \sim 90\%$, $NO_2 \sim 10\%$) за залежністю:

$$k_{NO_x} \cdot \left(\frac{0,9 \cdot [m_{NO_x}]_j}{[NO]_{CD}} + \frac{0,1 \cdot [m_{NO_x}]_j}{[NO_2]_{CD}} \right) = k_{KB} \cdot \frac{[m_{БП}]_j}{[БП]_{CD}}, \quad (10)$$

а граничні рівні $[m_{SO_2}]_j$ – з відповідних міжнародних поетапних вимог до вмісту сірки в паливі ($[C_s]$: 0,1; 0,05 і 0,02%) і обчислені з використанням залежності:

$$[m_{SO_2}]_j = 0,02[C_s] \cdot g_T, \quad (11)$$

де g_T – витрата палива на 1 км пробігу транспортного засобу при його іспиті за Європейським міським їздовим циклом, г/км.

В роботах [1, 4, 6, 7] при визначенні приведеної маси річних викидів шкідливих речовин від джерела, наприклад транспортного засобу, в атмосферу пропонується методика оцінки факторних коефіцієнтів підсилення шкідливого впливу для ряду токсичних і канцерогенних інгредієнтів (додатково до відносних показників $[ГДК_{CO}]_{CD} / [ГДК_i]_{CD}$) і зв'язаних, наприклад, з умовами експлуатації транспортних засобів у містах. Значення складових коефіцієнтів підсилення негативного впливу ряду шкідливих речовин, що викидаються з відпрацьованими газами ДВЗ, приведені в таблиці 2 [8].

Таблиця 2. Значення складових при визначенні коефіцієнтів підсилення негативного впливу ряду шкідливих речовин, що викидаються з відпрацьованими газами ДВЗ в умовах міського середовища

Компонент ВГ	Коефіцієнти			
	α_i	β_i	δ_i	k_i
Оксид вуглецю і легкі (неканцерогенні) вуглеводні	1	1	1	1
Оксиди азоту	1	2	1,5	3
Діоксид сірки	1	1	2	2
Бенз(а)сирен	2	2	1	4
Тверді (сажисті) частки	2	1	1,2	2,4

В таблиці: $k_i = \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \delta_i$; α_i – поправки, які враховують ймовірність нагромадження газоподібної домішки й аерозолів у компонентах навколишнього середовища й у ланцюгах харчування, а також надходження газоподібних домішок і аерозолів до організму людини неінгаляційним шляхом; β_i – поправки на ймовірність утворення при участі вихідних газоподібних домішок і аерозолів, що викидаються в атмосферу, інших забруднювачів (явища синергізму) більш небезпечних, ніж вихідні; δ_i – поправки, що враховують дію на різні реципієнти, крім людини. Враховуючи, що $\sum KA_{(ВГ)} = 1,3 \cdot m_{БП}$, показник $k_{KB} = 1,3$, $k_{БП} = 5,2$.

При використанні залежностей (10) і (11) були розраховані граничні рівні $[m_{\text{БП}}]$ і $[m_{\text{SO}_2}]$, а також інтегральні показники $[EXH]_j$ для транспортних засобів з поршневими бензиновими (Б) і дизельними (Д) двигунами стосовно до міжнародних норм: «Євро-2», «Євро-3», «Євро-4» (табл. 3).

Узагальнені показники $(EXH)_B$, $K_B = (EXH)_B / [EXH]_B$ норми Євро-2, а також – часткова участь i -х шкідливих речовин у еколого-хімічній небезпеці транспортних засобів, обладнаних ДВЗ із примусовим запаленням пальної суміші (Б) і при використанні нафтових палив, представлені в таблиці 4 і на рис. 1.

Таблиця 3. Розрахункові значення граничних показників еколого-хімічної небезпеки ДВЗ

Тип двигуна	$[EXH]_j \cdot 10^{-3}$, м ³ /км / $[m_{\text{БП}}] \cdot 10^6$, г/км		
	«Євро-2»	«Євро-3»	«Євро-4»
Б	27/2,5	17/1,5	9/0,8
Д	75/6	58/4	29/2,5
$[m_{\text{SO}_2}]_D$, г/км	0,2	0,1	0,04

Таблиця 4. Розрахункові дані за еколого-хімічними показниками транспортних засобів при використанні нафтових палив

Тип ДВЗ	$(EXH)_B \cdot 10^{-3}$, м ³ /км	K_B	$(EXH)_B / [EXH]_B$, %		
			СО + СН	NO _x	БП
1	170	6,3	2,5	70	27,5
2	146	5,4	2,0	75	23
3	67	2,5	2,0	89	9,0
4	56	2,1	3,0	89	8,0
5	118	4,4	1,0	97	2,0
6	36	1,3	1,0	96	3,0
7	51	1,9	1,0	97	2,0
8	9	0,3	2,0	57	41
9	17	0,6	5,0	73	22
10	12	0,45	3,0	64	33
11	24	0,9	4,0	71	25

З отриманих результатів можна зробити висновок, що:

- частка СО і СН в інтегральному еколого-хімічному показнику ДВЗ складає не більш 5% (в основному 1-3%) і при оцінці екологічної безпеки автомобілів зазначені інгредієнти практично можуть не враховуватися. Слід зазначити, що аналіз рівнів викидів СО і СН з відпрацьованими газами ДВЗ важливий при

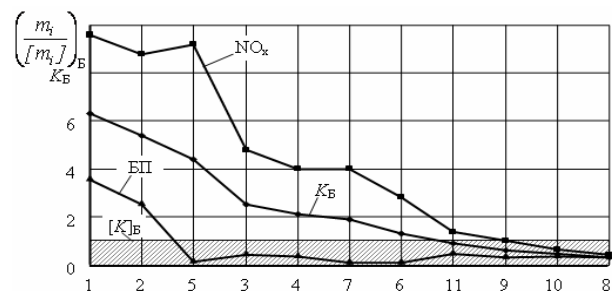


Рис. 1. Відповідність інтегральних еколого-хімічних показників ДВЗ міжнародному стандарту «Євро-2», який прийнято в Україні

відпрацьовуванні й удосконалюванні робочих процесів ДВЗ з метою мінімізації питомих експлуатаційних витрат палив;

- еколого-хімічна небезпека (безпека) досліджених ДВЗ в основному (на 95% і більше) визначається рівнями викидів з відпрацьованими газами NO_x і канцерогенних вуглеводнів (БП);

- значиме зниження рівнів викидів NO_x з відпрацьованими газами ДВЗ при використанні нафтових палив забезпечуються: застосуванням форкамерно-факельного запалення збіднених бензоповітряних сумішей; використанням як паливо пропан-бутану й особливо при облаштуванні ДВЗ біфункціональними системами нейтралізації ВГ (БСНВГ). Використання високоароматизованих нафтових палив призводить до росту рівнів викидів як NO_x , так і КВ з відпрацьованими газами ДВЗ;

- істотне (на порядок і більше) зниження сумарної канцерогенності відпрацьованих газів ДВЗ (рівнів викидів КВ) забезпечується: при використанні форкамерно-факельного запалення збіднених бензоповітряних сумішей; застосуванням як паливо пропан-бутану й особливо при облаштуванні ДВЗ, як окисними, так і біфункціональними системами нейтралізації ВГ. Тому, устаткування ДВЗ навіть ОСНВГ, особливо при використанні високоароматизованих нафтових палив, представляється гранично важливим для зниження канцерогенного забруднення атмосфери міст;

- нормативним вимогам «Євро-2», які діють на даний час в Україні, відповідають ДВЗ №8-№11, двигуни які обладнані біфункціональними системами нейтралізації відпрацьованих газів.

Досліджуваний транспортний засіб з дизелем характеризується більш високими рівнями викидів КВ, а також – наявністю у ВГ досить високих рівнів твердих часток ($m_{\text{ТЧ}} = 0,82 / \text{км}$) і оксидів сірки ($m_{\text{SO}_2} = 0,62 / \text{км}$). При цьому, $(\text{ЕХН})_d = 329 \cdot 10^3 \text{ м}^3 / \text{км}$ і $[\text{ЕХН}]_d = 75 \cdot 10^3 \text{ м}^3 / \text{км}$ (щодо нормативних вимог «Євро-2», а також – розрахункових граничних умов по БП і SO_2 , а $K_d = 4,4$, тобто зазначений ДВЗ з дизелем перевищує норми «Євро-2» більш, ніж у 4 рази. Слід зазначити, що частка КВ в $[\text{ЕХН}]_d$ ДВЗ, обладнаного дизелем ГАЗ-560, займає

приблизно 50%, NO_x – 30%, ТЧ – 12%, SO_2 – 8%. Тому широка дизелізація транспортних засобів, особливо при збільшеному вмісті АВ в дизельних паливах, як було показано раніше, може ускладнити рішення екологічних проблем, особливо екологічних проблем міст. Узагальнені показники і часткова участь i -х шкідливих речовин в еколого-хімічній небезпеці ДВЗ при використанні різних палив представлені в таблиці 5 і на рис. 2.

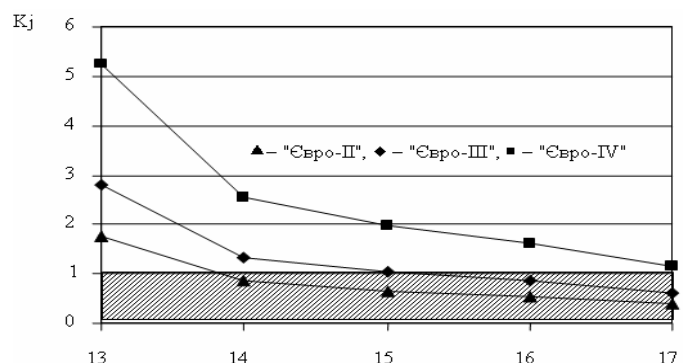


Рис. 2. Відповідність інтегральних еколого-хімічних показників ДВЗ міжнародним стандартам

Таблиця 5. Розрахункові дані за еколого-хімічними показниками ДВЗ при використанні альтернативних і композитних палив з підвищеним вмістом водню

Тип ДВЗ	$(EXH)_B \cdot 10^{-3}$, м ³ /км	$(EXH)_B / (EXH)_B$, %			K_B		
		СО + СН	NO _x	БП	Євро-2	Євро-3	Євро-4
13	47	7	87	7	1,75	2,79	5,26
14	23	5	91	5	0,85	1,34	2,54
15	18	5	87	7	0,66	1,05	1,98
16	14,5	4	89	7	0,54	0,86	1,62
17	10	0	100	0	0,38	0,61	1,15

З отриманих результатів можна зробити висновок, що:

- частка СО і СН в інтегральному еколого-хімічному показнику досліджуваних ДВЗ при використанні нафтових палив складає не більш 5%;
- еколого-хімічна небезпека досліджуваних ДВЗ при використанні альтернативних і композитних палив (з підвищеним водневим показником) в основному визначається рівнями викидів з ВГ оксидів азоту. При цьому частка рівнів викидів КВ з відпрацьованими газами ДВЗ не перевищує 10%;
- нормативні вимоги «Євро-2» виконуються досліджуваними ДВЗ при використанні як паливо: природного газу, метанолу, водню, а також – збіднених бензоводне-повітряних сумішей. Норми «Євро-3» фактично виконуються тільки при використанні водню в якості, як основного, так і додаткового енергоносія.

Слід зазначити, що жоден з досліджуваних транспортних засобів практично не відповідає сучасним нормативним вимогам «Євро-4», а тим більше «Євро-5». За питомими викидами NO_x до зазначених нормативних рівнів наближаються тільки ДВЗ, обладнані БСНВГ.

Таким чином, використання зазначених альтернативних палив, у першу чергу природного газу, а також водню як додаткового енергоносія, є одним з важливих напрямків по зниженню канцерогенного забруднення атмосфери міст. Для зниження рівнів викидів NO_x необхідно додатково застосовувати сучасні відбудовні нейтралізатори, у тому числі накопичувального типу, плазмені, тощо. При цьому чітко повинні виконуватися вимоги щодо мінімізації рівнів змісту АВ і сірки в паливах.

Отримані результати свідчать, що еколого-хімічна небезпека (безпека) ДВЗ з примусовим запаленням паливних сумішей при використанні, як нафтових, так і альтернативних вуглеводневих палив в основному (на 95% і більше) визначається рівнями викидів NO_x і КВ. Тому представляється можливим визначити еколого-хімічну небезпеку легкових автомобілів із зазначеними двигунами як:

$$(EXH)_B = k_{NOx} \cdot \frac{m_{NOx}}{[NO_x]_{CD}} + k_{KB} \cdot \frac{m_{BP}}{[BP]_{CD}}, \quad (11)$$

А для ДВЗ з дизелями зазначений показник може оцінюватися як:

$$(EXH)_D = k_{NOx} \cdot \frac{m_{NOx}}{[NO_x]_{CD}} + k_{KB} \cdot \frac{m_{BP}}{[BP]_{CD}} + k_{TC} \cdot \frac{m_{TC}}{[TC]_{CD}}, \quad (12)$$

Автори роботи [4], показуючи вплив пробігу транспортних засобів типу ВАЗ-2105 на зміну питомих рівнів викиду шкідливих речовин з ВГ, пропонують

при оцінці показника еколого-хімічної безпеки транспортних засобів враховувати вплив технічного стану ДВЗ на масовий викид i -ої шкідливої речовини, тобто:

$$M_i = m_i \cdot k_{i(TЗ)}, \quad (13)$$

де $k_{i(TЗ)}$ – коефіцієнт, який враховує вплив величини пробігу транспортного засобу і відповідно технічного стану ДВЗ на масовий рівень викиду i -ої шкідливої речовини.

Графік, побудований на підставі експериментальних даних (рис. 3), був доповнений, для наочності, розрахованими значеннями критерію відповідності транспортних засобів міжнародним вимогам «Євро-4».

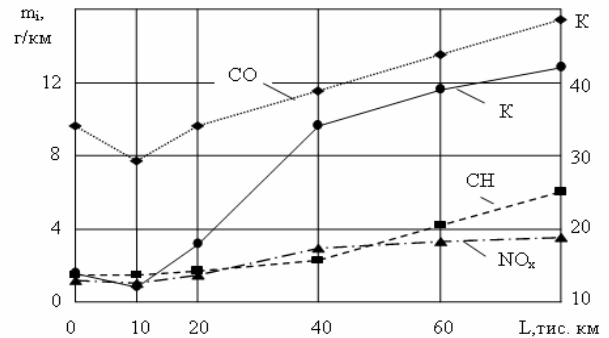


Рис. 3. Залежність еколого-хімічних показників транспортних засобів від їх пробігу

Список літератури: 1. *Иванов А.* Удельные показатели образования вредных веществ, выделяющихся в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятий машиностроения и военно-промышленного комплекса [Текст] / А. Иванов. – Х.: ХГПИ, 1997. – Т.1.– 318 с. 2. *Канило П.М.* Анализ экологохимических показателей легковых автомобилей при использовании различных топлив / П.М. Канило, М.В. Сарапина // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наукових праць. – Х.: Райдер. – 2008. Вып. XXX. – С. 248-259. 3. *Воробьев-Обухов А.И.* Наночастицы и мегазатраты / А.И. Воробьев-Обухов // За рулем. – 2008. – № 1. – С. 176-177. 4. *Коротков М.В.* Пробег и экологическая безопасность автомобиля / М.В. Коротков, Е.В. Бондаренко // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 8-10. 5. *Ахмедов Р.Б.* Технология сжигания горючих газов и жидких топлив [Текст] / Р.Б. Ахмедов, Л.М. Цирульников. – Л.: Недра, 1984. – 283 с. 6. *Канило П.М.* Автомобиль и окружающая среда [Текст] / П.М. Канило, И.С. Бей, А.И. Ровенский. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с. 6. *Звонов В.А.* Анализ европейских норм на выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобильных дизелей / В.А. Звонов, Л.С. Заиграев // Автошляховик України.– 1996.– № 2.– С. 2-5. 7. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / [авт. текста И. Петров]. – М.: Экономика, 1986. – 95 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 573.6.086.83:582.28

Л. О. АНТОНЕНКО, асп., НТУУ «КПІ», Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ БАД НА ОСНОВІ БІОМАСИ *CORIOLUS VERSICOLOR*

Розглянута можливість використання біомаси базидіального гриба *Coriolus versicolor* для створення БАД лікувально-профілактичного або харчового призначення. Оптимізовано поживне середовище та умови культивування.

Ключові слова: біомаса, *Coriolus versicolor*, БАД

Рассмотрена возможность использования биомассы базидиального гриба *Coriolus versicolor* для создания БАД лекарственно-профилактического и пищевого назначения. Оптимизированы