

**ПЕРЕДАЧА ВІБРАЦІЙ ВІД АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ
НА ДЕРЕВА ПРИДОРОЖНІХ СМУГ**

М. Нецвєтов, О. Суєлова

*Донецький ботанічний сад Національної академії наук України
просп. Ілліча, 110, Донецьк 83059, Україна
e-mail: herb@herb.dn.ua*

Пружно-механічні властивості деревних волокон і поширення коріння на значні відстані від стовбура обумовлюють можливість передачі їм вібрацій від різноманітних зовнішніх впливів. Рух автотранспорту викликає вібрації, що поширюються по частинах дерев, які ростуть уздовж автомобільних доріг. Частоти таких вібрацій реєструються здебільшого у діапазоні до 200 Гц. Вібрації від різних видів транспорту відрізняються за кількістю домінуючих частот у спектрах і за амплітудою.

Ключові слова: вібрації, транспорт, дерева.

Сьогодні в умовах міста через дедалі зростаючу кількість автомобілів виникає низка проблем, у тому числі екологічного характеру. Не останнє місце серед цих проблем посідає і вібраційний вплив транспорту на архітектурні та природні об'єкти. Так, в офіційних доповідях регулярно звертається увага на те, що транспортні й виробничі вібрації становлять велику загрозу культурним пам'яткам у ряді міст і регіонів [3, 4]. Як зазначається, особливо небезпечним є поєднання вібрацій із забрудненням середовища хімічними речовинами.

Добре відомим є і негативний вплив вібрацій, що поєднуються з хімічним навантаженням на живі організми, але особливо помітний він на ранніх фазах онтогенезу рослин [6]. Поряд із тим, численні рослини в природних умовах протистоять значним динамічним навантаженням (наприклад, дії вітру, який викликає їхні коливання і поширення по їхніх волокнах пружних хвиль – вібрацій), а в умовах міста проявляють стійкість до хімічного забруднення. Очевидно, що видоспецифічні відмінності фізичних властивостей рослинних волокон обумовлюють різну чутливість до дії вібрацій. Тому при підборі видового складу рослин зеленої смуги слід враховувати не лише пило- і газостійкість, але й здатність протистояти вібраційному впливові транспортного потоку. Тому першочерговим завданням є з'ясування частотних характеристик вібрацій, які поширюються по рослинах, визначення домінуючих частот у спектрах, порівняння впливів від різноманітних видів транспорту. Вивчення цих параметрів і було метою даної роботи.

Хоча причини виникнення вібрацій на дорогах у різних місцях є одними й тими самими (нерівності й дефекти траси, вібрації конструкцій автотранспорту, акустичний вплив та ін.), у кожному окремому випадку (місце вимірювання) конкретні значення частот і амплітуд вібрацій можуть варіювати. Такі розбіжності можуть бути обумовлені швидкістю руху автотранспорту, складом та інтенсивністю автопотоку, геометричними особливостями нерівностей і дефектів траси тощо. При розгляді поширення вібрацій від руху автотранспорту на дерева необхідно враховувати умови їх росту, наявність бордюрів, тротуарів, відстань від дороги тощо. Напевно, деяку роль відіграє і вид рослин зеленої смуги.

У зв'язку з вищесказаним було вироблено такий підхід під час вибору ділянки для проведення досліджень:

- вимірювання кожної серії слід проводити на ділянці з деревами одного виду в складі першого ряду зеленої смуги;
- абіотичні умови росту дерев мають бути однаковими;
- склад автотранспорту і швидкість руху вздовж досліджуваної ділянки є незмінними;
- зелена смуга відокремлена від дороги тротуаром однакової ширини й/або бордюром однакової висоти;
- для обраної ділянки необхідно досліджувати максимально можливу кількість дерев першого ряду.

З урахуванням зазначених особливостей дослідження вібраційного впливу автотранспорту на рослини було проведено вздовж автомобільної дороги на бульварі Шевченка й вул. І. Ткаченка в м. Донецьку. На бульварі Шевченка досліджували дві ділянки, розташовані в нижній третині схилу західної експозиції у балці р. Кальміус. Ділянка №1 починається клином у місці розподілу лівої та правої сторін руху автотранспорту, відокремлена від дороги двома бордюрами й тротуаром, завершується перехрестям. Оскільки на перехресті світлофор відсутній, рівномірність потоку автотранспорту не порушується (виняток – затори на наступному перехресті). Довжина ділянки №1 – 180 м, ширина від 10 м в нижній частині до 15 м у верхній.

Ділянка № 2 починається одразу за відокремлюючим перехрестям і продовжується до наступного перехрестя, на якому є світлофор. Довжина ділянки № 2 – 252 м, ширина – 16 м. Через зміну характеру руху на регульований приблизно зі середини ділянки № 2 швидкість автотранспорту істотно знижується до повної зупинки перед світлофором. Враховуючи це, вимірювання проводили на відрізку від початку ділянки до її середини (довжина 120 м від нерегульованого перехрестя до точки навпроти входу до будинку № 26).

На обох ділянках частота насадження дерев першого ряду близько 5 м. У складі першого ряду зеленої смуги – тополя пірамідальна (*Populus pyramidalis* Roz.) віком 35–40 років, відстань між деревами 5 м, відстань від основи стовбурів до автодороги $3\pm 0,2$ м. У другому ряді – каштан кінський (*Aesculus hippocastanum* L.) або клен гостролистий (*Acer platanoides* L.). Відстань між рядами – 3 м, дерева розташовані в шахматному порядку.

Реєстрацію вібрацій проводили на зрізах (пнях) і основах коренів тополь, які зрізували робітники "Зеленбуду" у березні 2008 р. Крім того, контрольні заміри робили на тротуарі, що відокремлює зелену смугу від дороги. Дослідження проводили з обох напрямків руху: від р. Кальміус вгору (напрямок А–В) і до неї – вниз (напрямок В–А). Запис осцилограм зроблено на більш ніж 20-ти деревах. Час реєстрації – 11–14 год у будні дні.

Вібраційний вплив автотранспорту вивчали також на ділянці №3, розташованій на вул. Ткаченка, між зупинками "Машинобудівний завод" і "вул. Універсальна" з боку руху в напрямку вул. Універсальної. Тут дерева – тополя чорна (*Populus nigra* L.) віком 30–40 років – ростуть у безпосередній близькості до траси в 0,3–0,5 м від огорожувального бордюру. Рух у різних напрямках розділено трамвайною колією. Таким чином, зелені насадження розміщені ближче до правого ряду дороги. Відстань між найближчими деревами 5 м. Вібрації реєстрували на основах коріння, що виступають над землею. Запис зроблено з 5-ти дерев, що перебувають у приблизно однакових умовах за рівнем впливу автотранспорту: нижче й вище обраної ділянки швидкість руху змінюється.

Для реєстрації вібрацій рослин було використано п'єзоелектричний кристал – робочий елемент звукознімача радіола, який є досить високочутливим, що дозволяло застосовувати його без підсилювача. П'єзоелектричний кристал з'єднували з ручним осцилоскопом НРS 10 фірми "Villeman" (Бельгія). Робочий діапазон частот осцилоскопа включав частоти від тисячних часток до тисяч герц, що є значно ширшим за можливий діапазон вимірюваних нами коливань. Датчик міг бути розташований на вібруючій поверхні повністю або тільки робочим кінцем, тоді інший кінець закріплювали на штативі.

Записаний на осцилоскопі сигнал оцифровували у програмі "Grafula", а потім обробляли у програмі "MathCad 2000" із застосуванням швидкого перетворення Фур'є для одержання амплітудних спектрів і спектрів потужності. Основними досліджуваними параметрами вібрацій рослин були: домінуюча частота, ширина діапазону частот, що реєструються, відносна амплітуда. Потенціал, що генерується при механічному впливі на п'єзоелектрик, на осцилографі реєструється в мВ. У додатковому дослідженні було проведено калібрування датчика на вібропристрої, під час якого з'ясовано, що вібрація в діапазоні від 2 до 1000 Гц з амплітудою $0,5 \pm 0,1$ мкм викликає електричний потенціал $1,7 \pm 0,3$ мВ. Оскільки в роботі аналізували частотні діапазони сигналів від кількох однотипних джерел (видів транспортних засобів), то для нівелювання різниці в амплітудах коливань, викликаній різною відстанню між транспортним засобом, що проїжджає, і деревом або іншими причинами, вираховували середні спектри у відносних одиницях амплітуди. Значення амплітуд (мВ) у кожному індивідуальному спектрі відносили до максимального, потім для кожного виду транспортного засобу одержані спектри усереднювали. Для порівняльного аналізу амплітуд вібрацій використовували величину потенціалів у мВ на первинних осцилограмах.

Інтенсивність руху автотранспорту вздовж досліджуваних ділянок на бульварі Шевченка оцінювали за кількістю одиниць автотранспорту певного типу, що проїжджав повз точку вимірювання за одиницю часу [1]. Сумарна інтенсивність руху 35–40 од./хв. Як видно з табл. 1, основна частина проїжджаючих транспортних засобів припадає на легковий пасажирський транспорт. Не менше половини з нього – марки іноземного виробництва, з них близько 1/15 – позашляховики (джипи). З-поміж засобів громадського транспорту домінують мікроавтобуси. Кількість великих і середніх автобусів є значно нижчою, тролейбуси проходять з інтервалом близько 8–10 хв. З-поміж вантажного транспорту переважають вантажні мікроавтобуси.

Інтенсивність руху вздовж ділянки № 3 по вул. Ткаченка представлено в табл. 2. Порівняно з ділянками № 1 і 2 тут швидкість руху вантажного і пасажирського автотранспорту є вищою, однак кількість одиниць транспорту, що проїжджає за хвилину, менша.

Таблиця 1

Інтенсивність і швидкість руху автомашин на бул. Т. Шевченка
в м. Донецьку (інтервал 9–14 год у будні дні)

Параметри руху	Вид автомашин					
	вантажні		пасажирські			
	важкі	легкі	легкові	мікроавтобуси	автобуси	тролейбуси
Інтенсивність, од./хв	<1	2–3	35–40	5–8	1	<1
Швидкість, км/год (діл. 1; 2 В–А)	30–40	50	50–60	50	30–40	20–30
Швидкість, км/год (діл. 2 А–В)	15–20	15–25	15–30	15–30	15–20	15–20

Таблиця 2

Інтенсивність і швидкість руху автомашин на вул. І.Ткаченка
в м. Донецьку (інтервал 9–14 год у вихідні дні)

Параметри руху	Вид автомашин				
	вантажні		пасажирські		
	важкі	легкі	легкові	мікроавтобуси	автобуси
Інтенсивність, од./хв	<1	<1	10–15	2–3	<1
Швидкість, км/год	40–50	50	50–60	50–60	40–50

При аналізі вібраційного впливу різних видів транспорту на рослини було проведено порівняння основних частот у знятих сигналах. Діапазони частот зареєстрованих вібрацій дерев коливаються в проміжку від 15 до 300–400 Гц. При цьому максимуми у спектрах припадають на частоти до 200 Гц. Слід відзначити, що для деяких типів автотранспорту в одиничних випадках спостерігали вібрації з більш високими частотами. Так, при русі автобуса марки "Ікарус" зі швидкістю близько 50 км/год було зареєстровано коливання на основі коренів тополі чорної з частотою 900 Гц. На стовбурах тополь пірамідальних (ділянки № 1 і 2) – 300 Гц від руху джипа "Субару" зі швидкістю більше 60 км/год, 330 Гц і 1200 Гц від джипа "Лексус", швидкість 20 км/год, а також вібрації з частотою 600 Гц було викликано рухом "Деу Ланос" зі швидкістю 15 км/год. Оскільки ці дані було одержано на різних деревах, можна припустити, що повний діапазон вібрацій частин дерев від руху автотранспорту включає частоти вищі за кілогерц.

При розгляді усереднених амплітудних спектрів вібрації дерев від руху тролейбусів можна відзначити, що частоти розташовуються переважно в діапазоні від одиниць до 400 Гц. Домінуючими є частоти (у порядку спадання відносної амплітуди) близько 150, 30, 70 і 290 Гц (рис. 1, а). При вивченні вібрації від тролейбусів можна зіткнутися з деякими труднощами. Тролейбуси займають лівий ряд і їх обганяє інший транспорт, а дерева зеленої смуги на ділянках № 1 і 2 розташовані з боку лівого ряду. У підсумку вібрації, зумовлені рухом тролейбусів, "маскуються" вібраціями автомашин, які їх обганяють. Крім того, амплітуда коливань від тролейбусів є порівняно невеликою, напевно, з кількох причин: через відносну віддаленість від зеленої смуги рослин і через малу швидкість руху. Внаслідок цього їх складно виділити зі сигналу від кількох джерел.

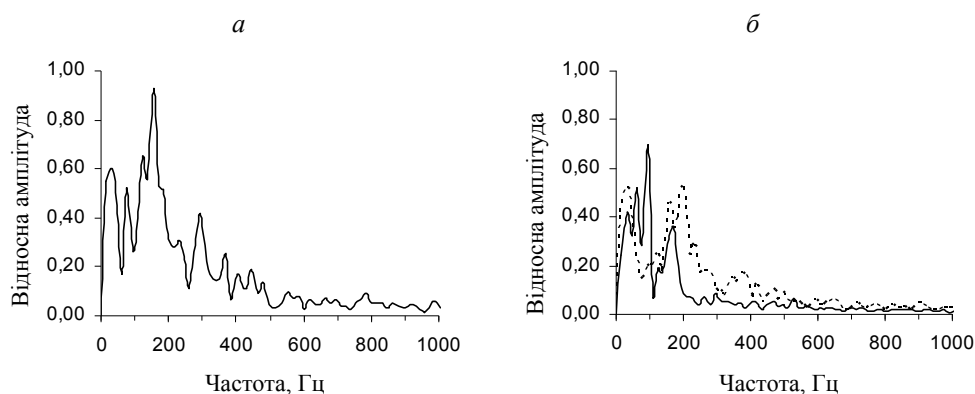


Рис. 1. Усереднені від кількох джерел амплітудні спектри вібрацій дерев *Populus pyramidalis* Roz. і *Populus nigra* L., зумовлених транспортом, що проїжджає: а – тролейбуси, б – автобуси (суцільна лінія – важкі, пунктир – мікроавтобуси).

Спектр вібрацій від руху автобусів дещо відрізняється від такого самого для тролейбусів, основні піки зміщено до ділянки більш низьких частот (рис. 1, *б*, суцільна лінія). Домінуючі частоти – близько 90, 60, 30 і 120 Гц (у порядку спадання амплітуди). У спектрі пасажирських мікроавтобусів є два практично рівних максимуми – близько 30 і 150–200 Гц (пунктир на рис. 1, *б*).

Спочатку ми поділили легкові автомобілі залежно від виробництва:

- 1) російські та радянські;
- 2) іноземні.

Це було пов'язане з тим, що відмінності в амплітуді створюваних ними вібрацій значно відрізняються (див. нижче). Після приведення амплітуд до максимальних у кожному спектрі цих розбіжностей не видно. Основна відмінність у спектрах вібрацій дерев, викликаних рухом автомобілів російського виробництва, – це наявність кількох виражених максимумів: близько 60, 140 і 170 Гц (рис. 2, *а* – суцільна лінія). Для іноземних автомобілів характерний пік відносної амплітуди сумарного спектру на 140 Гц (рис. 2, *а* – пунктир).

На рис. 2, *б* наведено амплітудний спектр вібрацій дерев від джипів, що проїжджають. Для автомобілів цього класу характерна висока відносна амплітуда як на низьких (~15, ~60 Гц), так і на більш високих частотах (140 Гц). На відміну від звичайних легкових автомобілів, повнопривідні індукують вібрації рослин, що реєструються і на частотах, вищих за 200 Гц (див. рис. 2, *а, б*).

Рух вантажних автомобілів приводить до вібрацій дерев, що відрізняються за спектром залежно від вантажопідйомності. Ми дотримувалися класифікації Стандарту СЕВ 4940-84. Легкі вантажні автомобілі характеризуються вираженим максимумом відносної амплітуди усередненого спектру на частоті ~60 Гц (рис. 3, *а* – суцільна лінія), а важкі – декількома піками на частотах близько 15, 120, 150, 185, 280 Гц, а також на більш високих частотах (рис. 3, *а* – пунктир). Такий спектр нагадує спектр вібрацій дерев від руху тролейбуса, що підтверджується високим коефіцієнтом кореляції (0,91). Незважаючи на зазначені відмінності у спектрах, які характеризують вібрації дерев від руху різних транспортних засобів, на усередненому для всіх видів транспорту спектрі можна виділити кілька піків, що свідчить про неоднакове поширення вібрацій різних частот (рис. 3, *б*). Максимуми припадають на частоти близько 15, 60, 155 Гц і на кілька більш високих час-

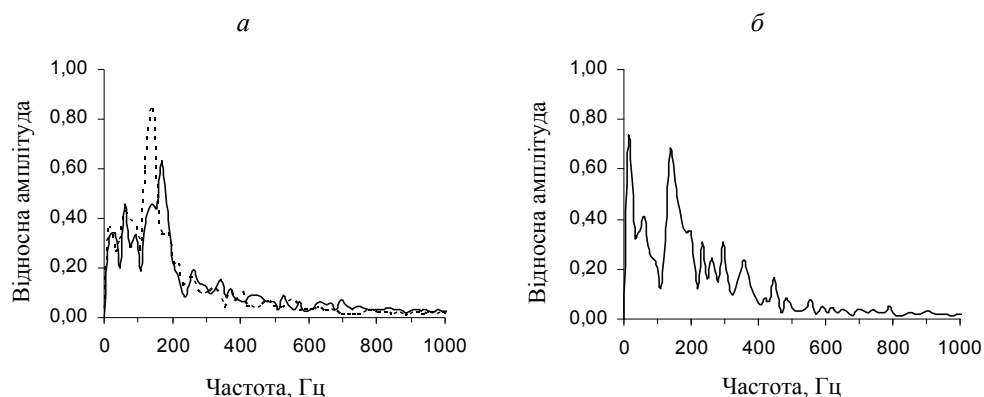


Рис. 2. Те саме, що на рис. 1: *а* – легкові автомобілі російського/радянського виробництва (суцільна лінія) й іноземного (пунктир), *б* – джипи.

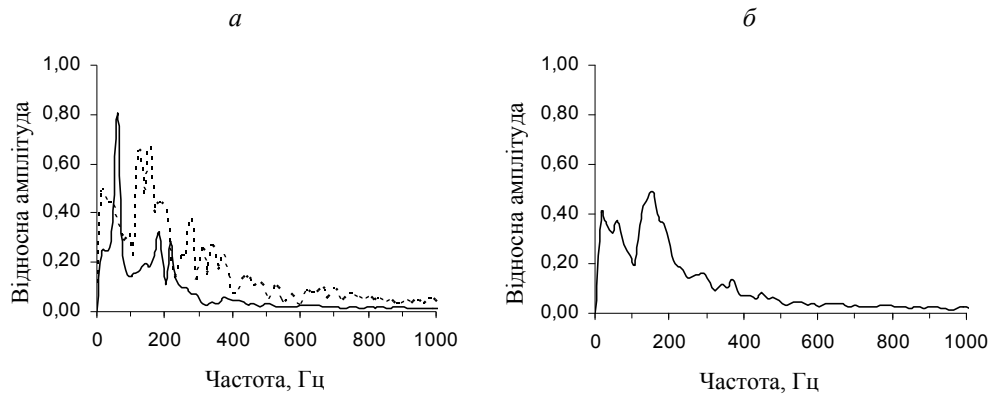


Рис. 3. Те саме, що на рис. 1: *а* – легкі вантажні (суцільна лінія) і важкі вантажні автомобілі (пунктир), *б* – спектр, усереднений для всіх зареєстрованих видів транспортних засобів.

тот. Слід, однак, звернути увагу на малу висоту піків порівняно зі спектрами для окремих видів транспорту – додаткове свідчення наявних між ними відмінностей.

Певний інтерес становить також відмінність вібрацій, що реєструються на дереві та найближчому бордюрі. Як видно з наведених на рис. 4 спектрів потужності, вібрації від проїжджаючого джипа на бордюрі мають великий набір частот (піки на спектрі потужності) порівняно з вібраціями на дереві. Амплітуда коливань (див. осцилограми) вищою є на бордюрі, ніж на дереві.

Для аналізу амплітуди вібрацій транспорту часто користуються умовними одиницями [7] і якісними описами. Класифікація вібрацій за амплітудою, наведена в табл. 3, складена нами за аналогією, але показник U в ній відповідає електричній напрузі, що подається на осцилоскоп із п'єзодатчика.

Як показали вимірювання на різних деревах амплітуди вібрацій, що виникають на них від проїжджаючого транспорту, ця амплітуда може варіювати залежно від видимого по основі напрямку росту коренів. Максимальні амплітуди коливань відзначаються при рості в бік траси. При цьому на осцилоскопі хвиля з максимальним піком виникає в момент потрапляння колеса на певну точку, не обов'язково найближчу до стовбу-

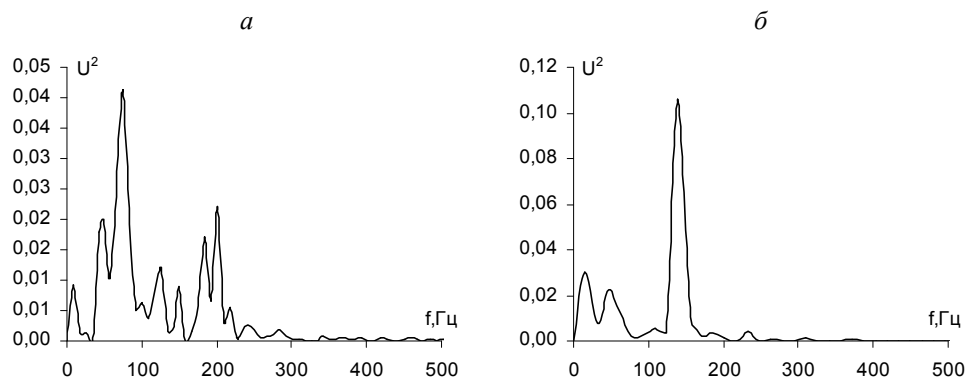


Рис. 4. Спектри потужності вібрацій від руху джипа: *а* – на бордюрі; *б* – на стовбурі ($h=30$ см) найближчого дерева *Populus pyramidalis* Roz. По осі ординат – квадрат відносної амплітуди.

Таблиця 3

Класифікація вібрацій за амплітудою

Клас	Напруга, мВ	Якісний опис
1	$U \leq 0,1$	Не визначаються
2	$0,1 < U < 0,3$	Важко визначаються
3	$0,3 < U < 1,6$	Реєстровані
4	$1,6 < U < 6,3$	Сильні вібрації
5	$U > 6,3$	Дуже сильні вібрації

ра, а, очевидно, яка розміщена над коренями, що проходять близько до полотна. Ця обставина певною мірою нівелює відмінність амплітуд коливань частин дерева, що передаються від автотранспорту різного виду. Тим не менш, усі дані можна узагальнити й класифікувати автотранспорт за рівнем вібраційного впливу на рослини (табл. 4).

Як видно з табл. 4, найменший вібраційний вплив на дерева справляють легкові автомобілі іноземного виробництва. У більшості випадків при швидкості руху до 55–60 км/год вібрації від їх руху не перевищують рівня, що важко визначається (клас 3). Винятком є позашляховики (джипи), вібрації від яких сягають класу 3. Автомашини решти видів практично не відрізняється за амплітудою створюваних коливань, що належать до класів 3 і 4, тобто класів, що реєструються як сильні вібрації.

На досліджених ділянках зелених смуг, розташованих уздовж автодоріг у межах Донецька, рух автотранспорту призводить до виникнення вібрацій на деревах. Діапазон частот реєстрованих сигналів припадає переважно на ділянку від 15 до 180 Гц. Для різних видів транспорту розподіл частот із зареєстрованих сигналів відрізняється за кількістю і розташуванням максимумів. У більшості спектрів кількість піків – два в ділянці частот до 100 Гц і вище за 120–140 Гц. За амплітудами, що викликають на деревах вібрації, відмінності спостерігаються в основному для легкових автомобілів іноземного виробництва, котрі при швидкості до 55–60 км/год індукують такі коливання частин рослин, що складно реєструються.

З одержаних даних можна зробити висновок, що амплітудно-частотні характеристики вібрацій залежать від розташування коренів дерев відносно дорожнього полотна, а це вказує на те, що дерева з різними типами кореневої системи відрізняються за схильністю до вібрацій транспорту. Оскільки спектр вібрацій, який реєструється на бордюрі, що огорожує зелену смугу, відрізняється від вібрацій на рослинах, це свідчить про

Таблиця 4

Рівень вібраційного впливу автомашин на рослини

Умовна амплітуда вібрацій	Вид автомашин							
	тролейбус	автобус	мікро-автобус	легкова	легкова 2	джип	вантажна 1	вантажна 2
1					+			
2					+	+		
3	+	+	+	+		+	+	+
4		+	+	+			+	+
5								

Примітка. Легкова 2 – легкова машина іноземного виробництва після 1990 року; вантажна 1 – важка вантажна [2]; вантажна 2 – легка вантажна [2].

можливість фільтрації пружних коливань деревними волокнами. Разом із тим, волокна дерев різних видів можуть істотно відрізнятися за модулем пружності й густини, а отже, і за здатністю "гасити вібрації" різних частот (див. огляд у [6]), що дає змогу підібрати більш ефективні види рослин для зелених смуг.

1. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1995. 24 с.
2. ГОСТ Стандарт СЭВ 4940-84. Дороги автомобильные международные. Учет интенсивности движения. М.: Изд-во стандартов, 1984. 20 с.
3. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году". Ч. 3. Влияние экологических факторов на сохранение культурного наследия. <http://www.mnr.gov.ru>.
4. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2006 году". Ч. 3. Влияние экологических факторов на сохранение культурного наследия. <http://www.mnr.gov.ru>.
5. Хиженков П. К., Нецветов М. В. Накопление свинца растениями под влиянием электрических токов и вибраций // Экологія та ноосферологія. 2006. Т. 17. № 1–2. С. 51–54.
6. Cocroft R. B., Rodriguez R. L. The behavioral ecology of insect vibrational communication // BioScience. 2005. Vol. 55. P. 323–334.
7. Lacusic S. Impact of tram traffic on noise and vibrations // Electronic J. Technical Acoustics. <http://www.ejta.org>. 2006, 13.

INFLUENCE OF CITY VEHICLES PRODUCED VIBRATIONS ON ROAD EDGE TREES

M. Netsvetov, O. Suslova

*Donetsk Botanical Garden of the NAS of Ukraine
110, Illicha Ave., Donetsk 83059, Ukraine
e-mail: herb@herb.dn.ua*

Due to long distance dispersed roots and elastic properties, the trees are often under influence of some extern factors, like vehicle motion, for instance. The provoked vibrations are dispatching all the long of trees bordering the route and the registered average of its frequency's around 200 Hz. To note, that different kind of transport-caused vibrations depend on number of leading frequencies presented in spectres and on amplitude.

Key words: vibrations, vehicles, trees.

Стаття надійшла до редколегії 02.06.08

Прийнята до друку 09.07.08