

МЕХАНИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И АВАРИЙНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ ВДОЛЬ УЛИЦЫ КИРОВА ГОРОДА ДОНЕЦКА

Корниенко Владимир Олегович

Старший преподаватель, ГОУ ВПО «Донецкий
национальный университет»
kornienkovo@mail.ru

Яицкий Андрей Степанович

Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Самарский
государственный социально-педагогический
университет»
yaitsky@sgspsu.ru

MECHANICAL STABILITY AND ACCIDENT RATE OF WOODY PLANTS GROWING ALONG KIROV STREET OF DONETSK CITY

**V. Kornienko
A. Yaitsky**

Summary. The paper gives the research results of the influence of anthropogenic load on the mechanical stability, accident rate and viability of woody plants in a large industrial area (Donetsk city). A vibration-acoustic noise measurement of in the studied afforestations showed an excess of the dose limits, which may affect durability of the trees; nevertheless the latter effectively reduce the level of acoustic noise. Trees of the genus *Aesculus hippocastanum* L. are found to be highly viable in both growing conditions, near the motorway and at a distance (they showed good condition). The species of *Populus bolleana* Lauche and *Populus simonii* Carriere had a satisfactory condition (4–5 points in ranking). Unsatisfactory condition were characteristic for *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia* L. The mechanical stability of *Acer platanoides* L. was the highest among all the studied species: d/l (ratio of diameter to trunk length) = 0,05; EI (bending stiffness) = 41×10^6 ; RRB (relative bending resistance) = 10.1×10^4 ; mcr (critical mass) = 150×10^4 . The average values of mechanical stability that characteristic for *Populus bolleana* Lauche, *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall are: d/l = 0,04; EI = 63×10^6 ; RRB = $4,3 \times 10^4$; mcr = 3.2×10^4 . The following species had low values in the intraspecific comparison of mechanical stability parameters: *Aesculus hippocastanum* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Populus simonii* Carriere (d/l = 0,04; EI = $6,0 \times 10^6$; RRB = $3,6 \times 10^4$; mcr = $1,8 \times 10^4$). A high degree of accident rate for plants growing in an urban environment was detected for *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia* L. and *Acer platanoides* L. The average degree of accident is typical for trees of the genus *Populus* L. (*Populus bolleana* Lauche and *Populus simonii* Carriere). *Aesculus hippocastanum* L. trees had a low degree of accident rate.

Keywords: mechanical stability; accident rate of trees; viability; vibration-acoustic noise; traffic flow intensity; morphometric coefficient.

Аннотация. В работе представлены результаты исследований влияния антропогенной нагрузки на механическую устойчивость, аварийность и жизнеспособность древесных растений в условиях крупного промышленного города (на примере г. Донецка). Определение вибрационно-акустического шума в исследованных насаждениях показали превышение ПДУ, что, возможно, влияет на долговечность зелёных насаждений, но при этом деревья эффективно снижают уровень акустического шума. Высокой жизнеспособностью отмечены деревья вида *Aesculus hippocastanum* L., как в условиях произрастания вблизи автомагистрали, так и при удалении от неё (хорошее состояние). Удовлетворительным состоянием обладали виды *Populus bolleana* Lauche и *Populus simonii* Carriere (4–5 баллов). Неудовлетворительное состояние отмечено у *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia* L. Механическая устойчивость *Acer platanoides* L. была наивысшей среди всех изученных видов (d/l (отношение диаметра к длине ствола) = 0,05; EI (жесткость на изгиб) = 41×10^6 ; RRB (относительное сопротивление изгибу) = $10,1 \times 10^4$; mcr (критическая масса) = 150×10^4). Средние значения механической устойчивости характерны для *Populus bolleana* Lauche, *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall (d/l = 0,04; EI = 63×10^6 ; RRB = $4,3 \times 10^4$; mcr = $3,2 \times 10^4$). Низкими значениями при внутривидовом сравнении параметров механической устойчивости обладали виды: *Aesculus hippocastanum* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Populus simonii* Carriere (d/l = 0,04; EI = $6,0 \times 10^6$; RRB = $3,6 \times 10^4$; mcr = $1,8 \times 10^4$). Высокая степень аварийности, для растений, произрастающих в условиях городской среды, выявлена у *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia* L. и *Acer platanoides* L. Средняя степень аварийности характерна для видов рода *Populus* L. (*Populus bolleana* Lauche и *Populus simonii* Carriere). Низкой степенью аварийности обладали деревья *Aesculus hippocastanum* L.

Ключевые слова: механическая устойчивость; аварийность деревьев; жизнеспособность; вибрационно-акустический шум; интенсивность транспортного потока; морфометрический коэффициент.

Введение

В условиях антропогенного загрязнения происходит нарушение физиолого-биохимических, клеточных, молекулярных и генетических процессов в растениях [1; 2]. Внешним результатом действия загрязнения являются изменения морфометрических параметров стволов и архитектоники кроны древесных растений, потеря жизнеспособности и как следствие — снижение механической устойчивости и повышение аварийности деревьев при действии экологических факторов [3].

Цель работы

Оценка жизнеспособности, механической устойчивости и аварийности древесных растений, произрастающих в условиях урбодендроценозов, на примере города Донецка.

Материалы
и методы

Мониторинговые исследования проводились с 2018 по 2021 гг. в г. Донецке, вдоль автомагистрали по ул. Кирова. В ходе исследования было оценено более 200 объектов древесных растений. Среди них выделены основные виды: клён остролистный (*Acer platanoides* L.), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), ясень высокий обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall), тополь Болле (*Populus bolleana* Lauche), тополь Симона (*Populus simonii* Carriere), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.).

Территория
проведения исследований

Исследуемая территория, на которой проводили дендрологические исследования, была разделена на 3 участка: 1 — «ост. ул. Скочинского — ост. ул. Бирюзова-2»; 2 — «ост. ул. Бирюзова-2 — ост. ул. Бирюзова-1»; 3 — «ост. ул. Бирюзова-1 — ост. ул. Алексинская» (рис. 1).

Методика оценки вибрационно-акустического загрязнения на исследуемой территории

Определение интенсивности движения производилось вблизи автомагистрали, в двух направлениях по улице Кирова, от остановки «ул. Скочинского» до остановки «ул. Алексинская». Интенсивность движения автотранспорта вдоль исследуемых участков на всей территории исследования оценивалась по количеству единиц автотранспорта определённого типа,

проезжающих мимо точки измерения за единицу времени [4].

Диагностика
механической устойчивости

При визуальной оценке диагностическими критериями снижения устойчивости служат следующие признаки: во время ветра — значительное по амплитуде раскачивание ствола, скрипы, поднятие почвы над корневой системой; наличие сухих и усыхающих ветвей, повреждений ствола и ветвей, дупел; наклоненный ствол; асимметрия кроны; сильно удлиненные или изогнутые ветви, отходящие от ствола под углом около 90°. В условиях г. Донецка аварийными часто становятся такие ветви у вязов, ясеня зеленого, клена ясенелистного, лип, ив, ореха черного, тополя черного, тополя китайского и др. У таких пород, как дуб черешчатый, клен остролистный, платан и др., с прочной и упругой древесиной горизонтально растущие здоровые ветви не являются аварийными.

Продольный модуль упругости деревьев и кустарников измеряли стандартным методом по величине изгиба цилиндрической балки (части свежеспиленной ветви), заземленной одним концом, под действием нагрузки [5].

Для оценки прочности и параметров механической устойчивости древесных растений в урбанизированных городах использовали общепринятые методы [6]. В работе оценивались следующие параметры механической устойчивости: EI — жесткость на изгиб, RRB — относительное сопротивление изгибу, m_{cr} — критическая масса, H/H_{cr} — высота к критической высоте дерева.

Оценка аварийности деревьев в городской среде. При оценке древесных насаждений нами были использованы следующие методы: а) визуальный (осмотр дерева с земли, осмотр дерева с подъёмом на ствол, осмотр местности); б) ретроспективный (изучение исполнительной и проектной документации по строительным и ландшафтным работам, изучение ветровой особенности и нагруженности данного участка местности, выявление предыдущих случаев падения деревьев); в) инструментальный (взятие керн прирастным буром (Бурав Пресслера) и прямое испытание биомеханических свойств дерева (прочность и устойчивость)) [7].

Угол отхождения ствола от вертикали, а также скелетных ветвей измеряли в программе — Axio Vision Rel. 4.8. Были охвачены места насаждений вдоль автомагистрали ул. Кирова.

Таблица 1. Бланк оценки механической устойчивости древесных растений на примере тополя Болле

Параметр, ед. измерения	Показатель
Вид	Populus bolleana Lauche
Возраст, лет*	51
Диаметр основания, $d_{осн}$, м	0,52
Диаметр на высоте 1,3 м, d_{bh} , м	0,47
Обхват ствола у основания $C_{осн}$, м	1,4
Обхват ствола на высоте 1,3 м, C_{bh} , м	1,2
Высота дерева, Н, м	17 ± 0,2
Угол наклона ствола, °	70
Балл жизненного состояния по Савельевой	2
Морфологические повреждения ствола	морозобоины, потеки гнили
Описание архитектоники кроны	наблюдается асимметрия, неравномерное распределение массы
Наличие морфогенетических и экзогенных повреждений листовой пластинки, +/-	+
Заселённость ствола вредителями, +/-	+
Наличие дупел, +/-	-
Ветровая особенность и нагруженность данного участка местности	дерево слабо защищено от ветра, находится в сильно продуваемом месте
Режим посещения территории (рекреационная нагрузка)	средняя
Направление возможного падения	в сторону автополотна, расстояние до цели 3–4 м
Радиус ствола в месте забора керна, см	28
Длина участка здоровой древесины на керне, l , см*	10
Процент ядровой гнили, %*	64
Модуль упругости древесины, Е, ГН/м ² *	1,45
Плотность древесины, ρ , кг/м ³	826
Механическая устойчивость к статическим/ динамическим нагрузкам согласно расчётам по биомеханике*	к статическим — да, к динамическим — нет
Степень опасности**	высокая

Примечание. * — отмечены параметры, измерить которые возможно только современными методами исследования; ** — оценка степени опасности дерева производится путём сложения, с различными весовыми коэффициентами, числового выражения различных влияющих факторов.



Рис. 1. Территория проведения дендрометрических исследований вдоль автомагистрали по ул. Кирова г. Донецка (ост. «ул. Скочинского» — ост. «ул. Алексинская»)

Таблица 2. Интенсивность транспортного потока вдоль ул. Кирова г. Донецка

Временной интервал, час	Легковые иномарки	Легковые отечественные	Грузовые легкие («Газель»)	Грузовые тяжелые	Автобусы (№ 66, № 41, № 8, № 22)	Итого в час
	Количество, авт.					
06:00–07:00	220	140	15	10	17	402
07:00–08:00	300	225	20	11	17	573
08:00–09:00	320	240	23	15	17	615
09:00–10:00	204	130	19	13	17	383
10:00–11:00	135	145	15	10	17	322
11:00–12:00	145	111	16	11	17	300
12:00–13:00	170	125	11	15	17	338
13:00–14:00	154	133	12	13	17	329
14:00–15:00	245	127	10	14	17	413
15:00–16:00	230	113	9	18	17	387
16:00–17:00	277	186	18	14	17	512
17:00–18:00	335	196	19	15	17	582
18:00–19:00	320	178	25	20	17	560
19:00–20:00	185	144	13	11	17	370
20:00–21:00	205	124	15	10	17	371
21:00–22:00	150	110	7	8	17	292
22:00–23:00	84	115	9	7	17	232
Итого, авт.	3679	2542	256	215	289	6981
Среднее, авт./час	216	150	15	13	17	411

Учитывались следующие показатели (табл. 1): критический возраст в условиях региона; угол наклона ствола от вертикали (оценивается по трём градациям: а) 10% и менее; б) 11–40%; в) более 40%); наличие морозобоин, дупел, развилок, раковых повреждений, плодовых тел дереворазрушающих грибов, видимых повреждений корневой системы в результате строительных работ; архитектура кроны (развитость кроны, асимметрия, сомкнутость, состояние листовых пластинок, усыхание ветвей); заселённость ствола вредителями; процент ядровой гнили (оценивается по трём градациям: а) ≥80%; б) 40–79%; в) 5–39% (согласно методике [8]).

Также немаловажным является режим посещения территории (рекреационная нагрузка), направление возможного падения в сторону возможного скопления людей (рассматривается при выявлении скрытых гнилей); отношение диаметра к длине ствола; биомасса надземной части к критической массе с учётом угла наклона и ядровой гнили; механическая устойчивость к статическим нагрузкам; механическая устойчивость к динамическим нагрузкам [7].

Для статистической обработки данных использовали программы «Statistica 8» (StatSoft Inc.) и «Excel 2010» (Microsoft). Оценивались средние значения и стандартное отклонение от среднего. Также, по результатам регрессионного анализа оценивалась достоверность

кривых в графиках зависимости параметров механической устойчивости древесных растений от морфометрических показателей [7].

Результаты и обсуждения

Оценка интенсивности транспортного потока исследуемого участка. Анализ интенсивности транспортного потока исследуемого участка осуществлялся в разрезе основных категорий автомобилей, также учитывался временной интервал, в течение которого автомобили осуществляли движение.

Общее количество единиц транспортного потока в день составляет 6981 автомобилей (табл. 2). В среднем за 1 час вдоль исследуемой территории по ул. Кирова проезжает около 411 автомобилей.

Наибольшую долю нагрузки составляют легковые иномарки (3679 ед.) и легковые отечественные автомобили (2542 ед.) их доли составляют 53% и 36% соответственно. На долю грузовых легких автомобилей приходится 3,7%, грузовых тяжелых — 3,1%. Доля зашумления от рейсовых маршрутов составляет ~4%. В целом, транспортный поток с итоговым дневным значением в 6981 автомобиль, позволяет оценивать территорию как умеренно нагруженную.

Таблица 3. Вибрационно-акустические параметры некоторых моделей автомобилей различной категории г. Донецка

Тип кузова	Модель автомобиля	I, дБ		
		min	max	среднее значение
Грузовой автомобиль отечественного производства	ГАЗ-3307	68,8	93,7	83,3
Городской автобус	Богдан	63,7	86,0	74,7
Легковой автомобиль иностранного производства	Skoda Octavia	47,9	73,8	59,9
Микроавтобус	ГАЗ-3221	47,2	79,0	62,5
Легковой автомобиль отечественного производства	ВАЗ-2106	47,8	75,2	60,1
Грузовой автомобиль отечественного производства (тяжелый)	КАМАЗ-5308	48,4	83,3	62,6
Микроавтобус	УАЗ-2206	41,4	84,0	63,0
Легковой автомобиль иностранного производства	Hyundai Solaris	46,8	73,5	60,0
Внедорожник	Mercedes-Benz W164	44,9	69,7	55,4

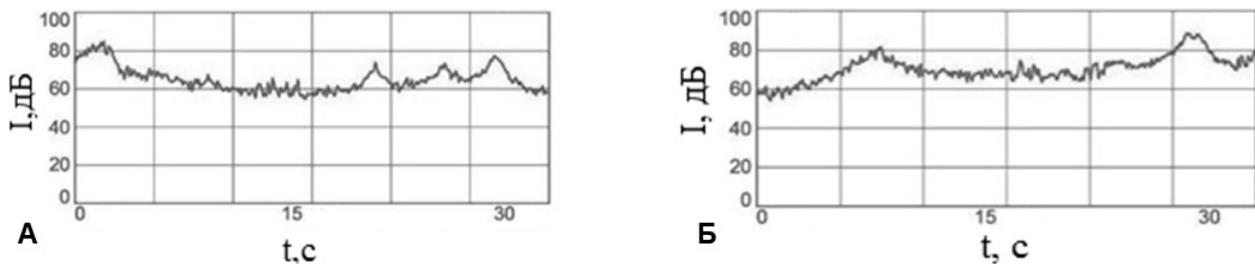


Рис. 2. Некоторые значения шумовой нагрузки, вызванной автомобильным потоком в будние дни по ул. Кирова г. Донецка. Примечания: А — замеры осуществлялись при интенсивности транспортного потока менее 400 ед./час; Б — замеры осуществлялись при интенсивности транспортного потока более 400 ед./час (в «час пик»)

Оценка вибрационно-акустического загрязнения территории. Оценку вибрационно-акустического загрязнения исследуемого участка по ул. Кирова выполняли путем анализа данных, полученных с помощью шумомера Benetech GM1351, при различном временном интервале (рис. 2).

Максимальная шумовая нагрузка, вызванная автомобильным потоком на исследуемой территории при интенсивности транспортного потока менее/более 400 ед./час (рис. 2: А, Б) составляет 89–91 дБ со спектром частот на максимуме энергии до 400 Гц, минимальное значение при этом составляет 44 дБ. Различия в вибрационно-акустических значениях заключаются только в продолжительности действия экологического фактора. Немаловажным фактором также является вид транспортного средства и его собственные вибрационно-акустические параметры, действие которых имеет различные биологические и экологические эффекты (табл. 3) [9].

Так, наибольший вклад в вибрационно-акустическое зашумление территории вносят грузовые автомобили отечественного производства ($I_{max} = 93,7$ дБ), городские автобусы ($I_{max} = 86$ дБ) и микроавтобусы ($I_{max} = 84$ дБ). Расстояния до зеленых насаждений от автополотна по ул. Кирова приведены в табл. 4. Можно выделить 2 ряда линейных насаждений, где первый находится вблизи автомагистрали на расстоянии в среднем 2 м, а второй ряд на небольшом удалении — 5–6 м.

В связи с близким расположением древесных растений, вибрационно-акустический шум как постоянно действующий антропогенный фактор может влиять на жизнеспособность и общее состояние деревьев.

Представленность и жизнеспособность исследуемых видов по ул. Кирова г. Донецка. На исследуемой территории представленность видов, в зависимости от удаленности от автотрассы, отражена в табл. 5. Наибольшую долю в общей видовой совокупности

Таблица 4. Расстояние от автополотна до объектов исследования по ул. Кирова г. Донецка

Участок	Расстояние, м	
	min (1 ряд)	max (2 ряд)
1 — «ост. ул. Скочинского — ост. ул. Бирюзова-2»	1,5	6,0
2 — «ост. ул. Бирюзова-2 — ост. ул. Бирюзова-1»	2,0	6,0
3 — «ост. ул. Бирюзова-1 — ост. ул. Алексинская»	2,5	5,0

Таблица 5. Представленность видов на исследуемой территории в зависимости от удаленности от автотрассы

Вид	Представленность, %	Жизнеспособность, балл (ср. знач. ± ст. откл.)	
		вблизи автотрассы (до 3 м)	на удалении от автотрассы (более 3 м)
<i>Acer platanoides</i> L.	5	2 ± 1	4 ± 1
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	6	6 ± 1	7 ± 1
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	12	3 ± 1	4 ± 1
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall	13	3 ± 1	3 ± 1
<i>Populus bolleana</i> Lauche	29	4 ± 2	5 ± 1
<i>Populus simonii</i> Carriere	26	5 ± 1	5 ± 1
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	9	3 ± 1	3 ± 1
Всего:	100		

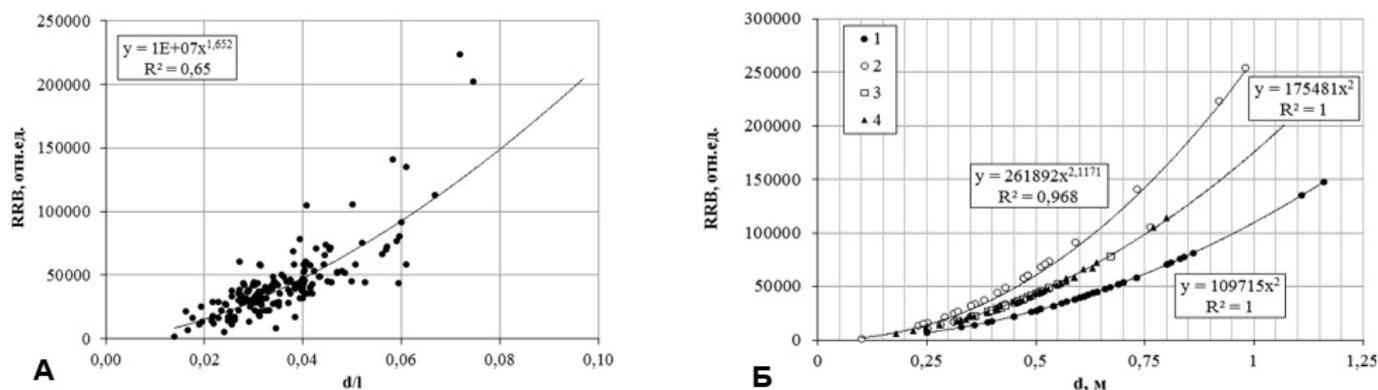


Рис. 3. Зависимость RRB от d/l (диаметр/длина) (А) и d (диаметра) ствола (Б).

Примечания: 1 — значения для *Populus bolleana* Lauche; 2 — *Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Robinia pseudoacacia* L.; 3 — *Populus simonii* Carriere; 4 — *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall.

имеют такие виды как: *Populus bolleana* Lauche (29%), *Populus simonii* Carriere (26%), *Fraxinus pennsylvanica* Marshall (13%), *Fraxinus excelsior* L. (12%). Незначительную долю составляют представители *Acer platanoides* L. (5%), *Aesculus hippocastanum* L. (6%), *Robinia pseudoacacia* L. (9%). Средневозрастное значение древесных насаждений на исследуемом участке составляет 40–45 лет.

Как вблизи (до 3 м), так и на удалении от автотрассы (более 3 м) наибольшую жизнеспособность, согласно шкале Савельевой, имеют представители вида *Aesculus hippocastanum* L., среднее значение жизнеспособности которых составляет 6 и 7 баллов соответственно. Вблизи автотрассы наименьшую жизнеспособность имеют представители вида *Acer platanoides* L., где среднее значение для вида составляет 2 балла (неудовлетво-

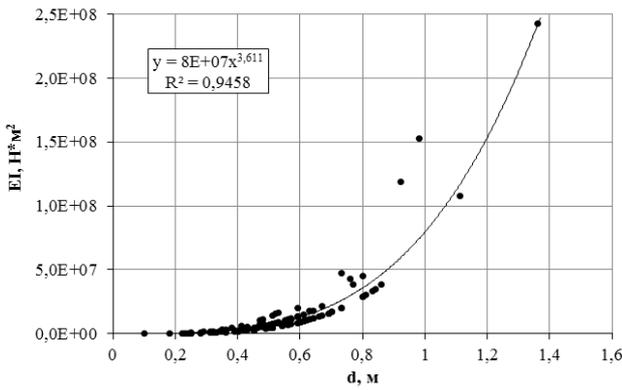


Рис. 4. Зависимость жесткости на изгиб (EI) от диаметра (d) ствола

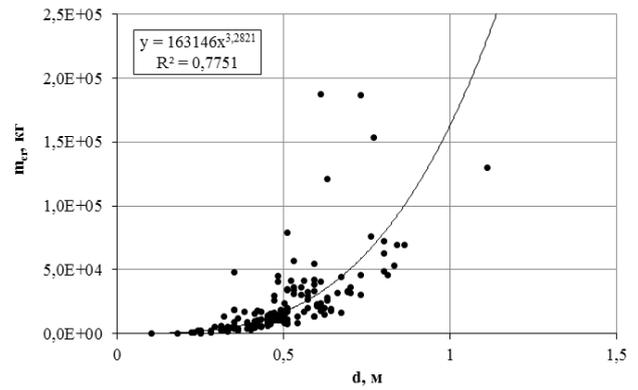


Рис. 5. Зависимость критической массы (m_{cr}) от диаметра (d) ствола

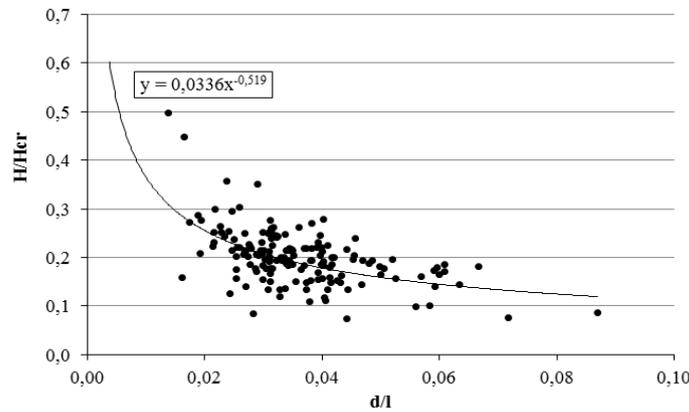


Рис. 6. Зависимость высоты к критической высоте дерева (H/H_{cr}) от d/l (диаметр/длина) ствола

рительное состояние, частично сухой), а во втором ряду, при удалении от автомагистрали — *Fraxinus pennsylvanica* Marshall и *Robinia pseudoacacia* L., среднее значение которых составляет 3 балла (неудовлетворительное состояние).

Механическая устойчивость древесных растений в городе Донецке, на примере ул. Кирова. Общеви́довая зависимость параметра механической устойчивости относительного сопротивления изгибу ствола (RRB), носит степенной характер (коэффициент детерминации (R^2) = 0,65). При значениях отношения диаметра ствола к его высоте (d/l) от 0,01 до 0,04 наблюдаются минимальные значения RRB (рис. 3: A). В диапазоне d/l от 0,4 и выше, относительного сопротивления изгибу ствола находится в пределах $5,0 \times 10^4 - 2,0 \times 10^5$ отн. ед.

Рассматривая видовые зависимости относительно сопротивления изгибу ствола древесного растения,

можно сделать вывод о высокой устойчивости *Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L. и *Robinia pseudoacacia* L., произрастающих в урбодендрозах города Донецка. Интересным является тот факт, что растения подразделяются на 3 класса по наклону кривой. Так, во втором классе (средняя устойчивость) находятся деревья *Populus simonii* Carriere, *Fraxinus excelsior* L. и *Fraxinus pennsylvanica* Marshall. Из общей выборки тополь Болле имеет наименьший наклон кривой, однако он компенсируется большими значениями диаметра ствола в возрасте 40–50 лет.

Для общеви́довой характеристики зависимость параметра механической устойчивости жесткость на изгиб (EI), носит степенной характер ($R^2 = 0,95$). При значениях d от 0,2 до 0,7 наблюдаются минимальные значения EI (рис. 3). В диапазоне d от 0,7 и выше, жесткость на изгиб находится в пределах $1,5 \times 10^7 - 5,0 \times 10^8$ Н·м², что является высоким показателем механической устойчиво-

Таблица 6. Оценка степени аварийности древесных растений, произрастающих в условиях городской среды

Вид	Степень аварийности
<i>Acer platanoides</i> L.	высокая
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	низкая
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	высокая
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall	высокая
<i>Populus bolleana</i> Lauche	средняя
<i>Populus simonii</i> Carriere	средняя
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	высокая

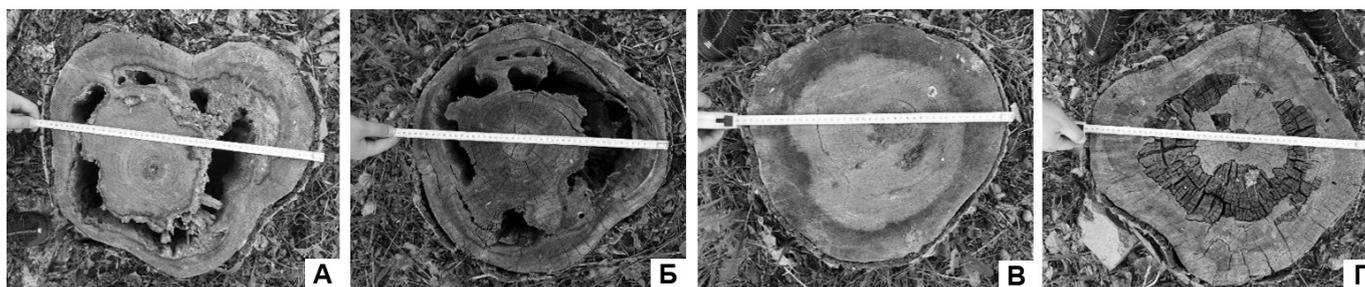


Рис. 7. Некоторые спилы растений *Populus bolleana* Lauche, имеющих высокую степень аварийности до момента ликвидации объекта. Примечания: А — № 5, D = 51 см, участок № 3, удаленность от трассы: 2 м (1 ряд); Б — № 17, D = 45 см, участок № 3, удаленность от трассы: 1,5 м (1 ряд); В — № 18, D = 48 см, участок № 2, удаленность от трассы: 5 м (2 ряд); Г — № 42, D = 50 см, участок № 2, удаленность от трассы: 5 м (2 ряд)

сти растений к действию статических и динамических нагрузок (рис. 4).

Общевидовая зависимость критической массы (m_{cr}) от отношения диаметра ствола к его высоте (d/l) носит степенной характер ($R^2 = 0,78$). При значениях d от 0,1 до 0,5 наблюдаются минимальные значения m_{cr} (рис. 5). В диапазоне d от 0,5 и выше, значения критической массы находятся в пределах $1,0 \times 10^2 - 2,0 \times 10^5$ кг.

Общевидовая зависимость высоты к критической высоте дерева (H/H_{cr}) от отношения диаметра ствола к его высоте (d/l) имеет степенной характер (рис. 6), однако значение достоверности является незначительным ($R^2 = 0,3$). Из прогностической зависимости хода регрессии можно сделать вывод, что при значениях d/l до 0,01 деревья будут иметь критические значения (0,8–1,0) и оцениваться как механически неустойчивые. Однако в нашей выборке таких растений выявлено не было.

Оценка аварийности древесных растений в городе Донецке. Наибольшую степень аварийности на исследуемой территории имели представители видов *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica*

Marshall и *Robinia pseudoacacia* L. (табл. 6). Это может быть связано с приближением к критическому значению возраста деревьев в условиях региона, нарушению физиолого-биохимических процессов в растениях [1] в результате чего происходит снижение их жизнеспособности, невыполнение ряда экологических функций и в крайнем случае выпадение из древостоя.

Среднюю степень аварийности имели виды *Populus bolleana* Lauche и *Populus simonii* Carriere. Хотя для некоторых растений рода *Populus* L. (17 деревьев), которые достигли критического возраста 50 и более лет, степень аварийности была оценена как высокая (рис. 7).

Наиболее устойчивым видом являлся *Aesculus hippocastanum* L. Деревья данного вида — в основном это растения, не имеющие серьезных повреждений ствола и кроны, кроме морозобоин, которые характерны для этого вида на юго-востоке степной зоны.

Отметим, что в зимний период (февраль) 2021 г коммунальной службой Кировского района г. Донецка были ликвидированы 14 объектов древесных растений вблизи автомагистрали по ул. Кирова, в связи с уча-

стившимися случаями крушения деревьев. Все деревья тополя Болле на этом участке нами были оценены как аварийные с высокой долей вероятности облома. Распространение гнили в стволе растений показаны на рис. 7. Из анализа графического материала видно, что степень распространения гнили коррелирует с оценкой аварийности деревьев по использованной нами методике, включающей дендрологические и математические методы анализа.

Выводы

Высокой жизнеспособностью отмечены деревья вида *Aesculus hippocastanum* L., как в условиях произрастания вблизи автомагистрали, так и при удалении от неё (6–7 баллов). Удовлетворительным состоянием обладали виды *Populus bolleana* Lauche и *Populus simonii* Carriere (4–5 баллов). Неудовлетворительное состояние характерно для *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia* L.

Механическая устойчивость *Acer platanoides* L. была наивысшей среди всех изученных видов ($d/l = 0,05$; $EI = 41 \times 10^6$; $RRB = 10,1 \times 10^4$; $m_{cr} = 150 \times 10^4$). Средние значения механической устойчивости характерны для *Populus bolleana* Lauche, *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall ($d/l = 0,04$; $EI = 63 \times 10^6$; $RRB = 4,3 \times 10^4$; $m_{cr} = 3,2 \times 10^4$). Низкими значениями при внутривидовом сравнении всех параметров механической устойчивости обладали виды: *Aesculus hippocastanum* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Populus simonii* Carriere ($d/l = 0,04$; $EI = 6,0 \times 10^6$; $RRB = 3,6 \times 10^4$; $m_{cr} = 1,8 \times 10^4$).

Высокая степень аварийности для растений, произрастающих в условиях городской среды, выявлена у *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia* L. и *Acer platanoides* L. Средняя степень аварийности характерна для видов рода *Populus* L. (*Populus bolleana* Lauche и *Populus simonii* Carriere). Низкой степенью аварийности обладали деревья *Aesculus hippocastanum* L.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды / под общ. ред. чл.- корр. НАН Украины А.З. Глухова. Донецк: Ноулидж, 2009. 268 с.
2. Alonso-Serra J. et al. Elimäki locus is required for vertical proprioceptive response in birch trees // *Current Biology*. 2020. Vol. 30, iss. 4. P. 589–599. DOI: 10.1016/j.cub.2019.12.016.
3. Корниенко В.О., Приходько С.А., Яицкий А.С. Оценка жизненного состояния древесных насаждений в условиях урбанизированной среды // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2020. № 03/2. С. 14–19.
4. ГОСТ 20444–85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. М.: Издательство стандартов, 1985. 20 с.
5. Нецветов М.В., Сулова Е.П. Механическая устойчивость деревьев и кустарников к вибрационным нагрузкам // *Промышленная ботаника*. 2009. Вып. 9. С. 60–67.
6. Корниенко В.О., Калаев В.Н., Елизаров А.О. Влияние температуры на биомеханические свойства древесных растений в условиях закрытого и открытого грунта // *Сибирский лесной журнал*. 2018. № 6. С. 91–102.
7. Корниенко В.О., Приходько С.А. Новый методический подход к оценке механической устойчивости зелёных насаждений в городской среде // *Самарский научный вестник*. 2018. Т. 7, № 2 (23). С. 72–77. DOI: 10.17816/snv201872114.
8. Румянцев Д.Е. Выявление аварийных деревьев в урбанизированной среде: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] // *Дендрология и уход за деревьями в урбанизированной среде*. — <https://s.econf.rae.ru/pdf/2015/03/4337.pdf>.
9. Нецветов М.В., Хиженков П.К., Сулова Е.П. Введение в вибрационную экологию. Донецк: Вебер, 2009. 164 с.

© Корниенко Владимир Олегович (kornienkovo@mail.ru), Яицкий Андрей Степанович (yaitsky@sgspu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»