

# HYGIENIC CRITERIA FOR THE ASSESSMENT OF THE PLACEMENT OF EXHAUST VENTILATION IN THE UNDERGROUND GARAGES

Akimenko V.Ya., Yarygin A.V., Steblii N.N.

## ГІГІЄНІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ РОЗМІЩЕННЯ ВИТЯЖНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ВІД ПІДЗЕМНИХ ГАРАЖІВ



**АКИМЕНКО В.Я.,  
ЯРИГІН А.В., СТЕБЛІЙ Н.М.**

ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України", м. Київ  
УДК 614.71:644.1

**Ключові слова: підземні гаражі, забруднення повітря, вентиляція, гігієнічні критерії оцінки якості повітря, ризик впливу на здоров'я.**

станнім часом кількість автомобілів в Україні значно збільшилася, щорічний приріст становить 8% (Ходикіна І.Ю. та ін., 2011). Якщо 1990 року в Україні було зареєстровано менше 3 млн. автомобілів, то у 2010 році їх кількість збільшилася більш ніж вдвічі [1].

Останнє зумовлює необхідність створення належної кількості місць для паркування. Особливо це стосується великих міст, де поширення набувають закриті місця для зберігання автомобілів — підземні гаражі, які обладнуються механічною вентиляцією. Загальнообмінна вентиляція підземних гаражів має забезпечити нормовану якість повітря у приміщенні відповідно до ДСТУ 12.1.005-88. Деякі автори [2] пропонують застосовувати інші критерії оцінки хімічного забруднення повітря гаражів.

У сучасних гаражах передбачається встановлення датчиків для вимірювання концентрації CO та автоматичного включення припливно-витяжної вентиляції від цих сигналізаторів згідно з вимогами ДБН В.2.3-15:2007. Цей документ вимагає розміщувати витяжні вентиляційні шахти із підземних гаражів на даху будинку. Нам здається, що ця вимога не лише з гігієнічної, але й з технічної точки зору не завжди є достатньо науково обґрунтованою.

**Мета.** Дати гігієнічну оцінку умов викиду витяжної вентиляції підземного гаражу з позицій ризику впливу на здоров'я людини.

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі завдання:

□ проаналізувати з гігієнічних позицій методики розрахунку розсіювання шкідливих

### ГИГИЕНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ГАРАЖЕЙ

**Акименко В.Я., Ярыгин А.В., Стеблій Н.Н.**  
ГУ "Институт гигиены и медицинской экологии им. А.Н. Марзеева Национальной академии медицинских наук Украины", г. Киев

**Цель работы:** гигиеническая оценка прогнозируемого химического загрязнения воздушной среды подземных гаражей и условий выброса отработанного воздуха системой их вентиляции.

#### **Материалы и методы исследования.**

Произведен анализ применимости различных методов расчета рассеивания продуктов сгорания топлива автомобилей для прогнозирования уровня загрязнения воздушной среды подземного гаража. Дана сравнительная оценка критериям оценки загрязнения воздуха гаражей, применяемым в разных странах. Произведен расчет концентрации мощности выброса автомобилями монооксида углерода, окислов азота, углеводородов, углекислого газа, бенз(а)пирена, формальдегида. Инструментально определена концентрация углекислого газа в подземных гаражах в разное время года.

**Результаты.** Предложено в методике расчета загрязнения воздуха подземного гаража продуктами сгорания топлива, наряду с другими параметрами, учитывать количество одновременно работающих двигателей

автомобилей в час пик (не менее 35% от общего количества машино-мест) и современные данные об удельных выбросах автомобиля. Доказано, что при использовании разных подходов к определению уровня химического загрязнения воздуха прогнозируемая для одного и того же объекта проектирования концентрация монооксида углерода в воздухе подземного гаража может колебаться от 0,53 мг/м<sup>3</sup> до 10,8 мг/м<sup>3</sup>, окислов азота — от 0,09 мг/м<sup>3</sup> до 0,64 мг/м<sup>3</sup>, углеводородов — от 0,02 мг/м<sup>3</sup> до 1,36 мг/м<sup>3</sup>. При этом величина неканцерогенного риска по CO и CN не превышает единицы, а по NO<sub>x</sub> — выходит за пределы допустимых величин. Величина индивидуального канцерогенного риска, определяемая формальдегидом, равна CR=0,74x10<sup>-6</sup>, а бенз(а)пиреном — CR=0,12x10<sup>-7</sup>. **Выводы.** В качестве гигиенического критерия оценки загрязнения воздушной среды подземного гаража необходимо использовать ПДКм.р. атмосферного воздуха и для CO, и для NO<sub>x</sub>. С учетом индивидуального неканцерогенного риска для здоровья человека вентиляционный выброс подземного гаража можно отводить с коэффициентом разбавления не менее 10 в зону придомового пространства. **Ключевые слова: подземные гаражи, загрязнение воздуха, вентиляция, гигиенические критерии оценки качества воздуха, риск влияния на здоровье.**

© Акименко В.Я., Ярыгин А.В., Стеблій Н.М. СТАТТЯ, 2014.

речовин від автомобілів і методи розрахунку необхідної вентиляції приміщень громадського призначення;

□ дослідити концентрації шкідливих речовин, які утворюються у повітрі підземного гаража у реальних умовах його використання;

□ дати гігієнічну оцінку викидів вентиляційної системи від підземного гаража з позицій ризику впливу на здоров'я людини.

**Методи та результати досліджень.** Існуючі темпи будівництва споруд з підземними гаражами потребують забезпечення нормативної якості повітря у приміщенні та визначення впливу даного об'єкта на повітря прибудинкового простору.

Регулювання повітрообміну у гаражах здійснюється за концентрацією CO або за встановленою нормою повітрообміну на одне машино-місце. Проведений аналіз інформаційних джерел (ДБН В.2.3-15:2007, МГСН 5.01-01, Ashrae standard ANSI/ASHRAE Standard 62-2001 та інших) стосовно вимог до концентрації CO для таких об'єктів (табл. 1) показує, що гігієнічні критерії проектування систем вентиляції у різних країнах суттєво відрізняються.

Як видно з таблиці 1, у Нідерландах, Великій Британії та Україні ці ГДК CO більше ніж вдвічі перевищують аналогічні показники, рекомендовані у США. Для порівняння, вимоги ВООЗ до максимальної кон-

центрації CO, осередненої за 15 хв. — 87 ppm, за 8 год. — 9 ppm.

Проведений Редзюком А.М. та ін. [4] аналіз легкових автомобілів України за екологічними характеристиками показує, що станом на кінець 2010 року 66-72% від загальної кількості автомобілів відповідали класу Євро-0; 18-20% — класу Євро-2; 5-7% — класу Євро-3; автомобілі класу Євро-1, Євро-4, Євро-5 склали менше 4%.

Наведені у таблиці 2 величини питомих викидів продуктів згоряння палива автомобілів свідчать про те, що проєктанти в Україні орієнтовані на величини, які не відповідають реальному складу парку легкових автомобілів. Треба відзначити, що вітчизняні нормативно-технічні документи також не враховують CO<sub>2</sub> як критерій забруднення повітря гаражів.

Як видно з таблиці 2, питомі викиди CO від автомобілів з бензиновим двигуном, що використовуються у методиці ВНТП-СГіП-46-16.96, майже не відрізняються, якщо порівнювати з автомобілями, які належать до класу Євро-0. Водночас за іншими шкідливими речовинами (CH, NO<sub>x</sub>) питомі викиди відрізняються більш ніж вдвічі.

Аналіз методик розрахунку розсіювання шкідливих речовин на території гаража і населених пунктів [ВНТП-СГіП-46-

### Порівняльна характеристика вимог до концентрації CO у гаражах

Країна (організація)	Концентрація CO, ppm (час осереднення)
США (ANSI/ASHRAE* Standard 62-2001)	9 (8 год.) 35 (1 год.)
США (NIOSH/OSHA**[3])	35 (8 год.) 200 (5 хв.)
Фінляндія [3]	30 (8 год.) 75 (15 хв.)
Нідерланди [3]	200 (30 хв.)
Велика Британія [3]	50 (8 год.) 300 (15 хв.)
Україна (ДБН В.2.3-15:2007)	12 (8 год.) 118 (15 хв.)
Росія (МГСН 5.01-01. - М., 2001)	12 (8 год.)

Примітки: \*ASHRAE — Американське товариство інженерів з опалення та кондиціонування повітря; \*\*OSHA — Управління з охорони праці у Міністерстві праці США.

Таблиця 1

Таблиця 2

### Питомі викиди шкідливих речовин для легкових автомобілів

Джерело інформації	Вид палива	Робочий об'єм двигуна, л	Питомі викиди продуктів згоряння палива, г/км			
			CO	CH	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
ВНТП-СГіП-46-16.96	Б	Середнього класу	20,8	1,3	0,63	-
МГСН 5.01-01	ДП	Середнього класу	1,8	0,4	1,9	-
Расчетная инструкция... [5]	Євро-0	Б	19,8	3,6	1,4	184
		ДП	0,7	0,15	3,4	234,0
	Євро-2	Б	4,2	0,08	0,33	206,1
		ДП	0,4	0,08	0,68	234,0
	Євро-3	Б	2,2	0,05	0,14	206,1
		ДП	0,4	0,07	0,52	234,0
Методика проведення інвентаризації... [6]	з покращеними екологічними характеристиками, для теплого періоду року	Б	9,4	1,2	0,17	-
		ДП	1,0	0,2	1,1	

Примітки: Б — бензин; ДП — дизельне паливо.

**HYGIENIC CRITERIA FOR THE ASSESSMENT OF THE PLACEMENT OF EXHAUST VENTILATION IN THE UNDERGROUND GARAGES**

**Akimenko V. Ya., Yarygin A. V., Steblii N. N.**

*State Institution "A.N. Marzeiev Institute for Hygiene and Medical Ecology, National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kiev*

**Objective.** A hygienic assessment of the predicting chemical pollution of the ambient air of the underground garages and conditions of the exhaust emissions by the system of their ventilation.

**Materials and methods.** We performed the analysis of the application of different methods for the calculation of the dispersion of the products of combustion of the vehicle fuel for the prediction of the ambient air pollution level of the underground garage. We presented a comparative assessment of the criteria for the estimation of air pollution of the garages used in different countries.

We carried out a calculation of the concentration of the capacity of the vehicle emissions of carbon monoxide, nitrogen oxides, hydrocarbons, carbonic-acid gas, benzopyrene, formaldehyde. Concentration of carbonic-acid gas in the underground garages was determined with the help of devices in different seasons of the year.

**Results.** We proposed to take into account an amount of the engines, operating simultaneously in rush hours (not less 35% from the total

amount of parking places) and present data on vehicle specific emission in the methodology for the calculation of air pollution in underground garage. We demonstrated that at the application of one and the same design object a concentration of carbon monoxide in the air of underground garage could vary from 0.53 mg/m<sup>3</sup> up to 10.8 mg/m<sup>3</sup>, nitrogen oxides — from 0.09 mg/m<sup>3</sup> up to 0.64 mg/m<sup>3</sup>, and hydrocarbon— from 0.02 mg/m<sup>3</sup> up to 1.36 mg/m<sup>3</sup>. A value of size of non-carcinogenic risk of CO and CH doesn't exceed one and by NO<sub>x</sub> exceeds the limitations of the allowable values. Size of the individual carcinogenic risk, determining by formaldehyde, is equal CR=0.74x10<sup>-6</sup>, and by benzopyrene — CR=0.12x10<sup>-7</sup>.

**Conclusions.** MAC of maximal single of atmospheric air both for CO and for NO<sub>x</sub> should be used as a hygienic criterion for the assessment of ambient air of underground garage. Taking into account a non-carcinogenic risk for a man's health a ventilating emission of underground garage may be carried outside with a coefficient of dilution not less 10 in a space near house.

**Keywords:** underground garages, pollution of the ambient air, ventilation, hygienic criteria of air quality assessment, risk of health effects.

16.96, 5,6,7] свідчить, що питомі викиди продуктів згоряння палива автомобілів суттєво відрізняються залежно від того, як у методиках враховують тип двигуна (бензиновий, дизельний), його робочий об'єм та режим роботи, швидкість руху автомобіля, активізацію каталізатора, технічний стан автомобіля та багато інших моментів.

Основну частку автомобільного парку в Україні складають автомобілі, вік яких більше 10 років (52% від загальної кількості) та 21% віком до 3-х років. У м. Києві ця ситуація є де-що іншою. Кількість автомобілів віком понад 10 років та до 3-х років є майже однаковою та становить 42% і 43% відповідно [1].

Важливими факторами при визначенні забруднення повітря підземного гаража є тривалість руху автомобілів у приміщенні. За даними Berner A. [8], тривалість руху автомобілів на території таких об'єктів значно відрізняється і у середньому становить 60-180 с, хоча досвід США показує, що ця величина може коливатися від 60 с до 600 с.

Наступним фактором, який значно впливає на формування забруднення повітря приміщення, є інтенсивність руху автомобілів на території гаражу. За да-

ними Berner A. [8], для гаражів під житловими будинками та торговими центрами приймається інтенсивність руху автомобілів 3-5% від загальної кількості машино-місць, а під кіноконцертними залами, спортивними об'єктами ця величина збільшується до 15-20%. У нормах МГСН 5.01-01 (Росія, 2001) запропоновано при розміщенні гаражів під житловими будинками під час проектування приймати інтенсивність руху автомобілів не менше 35% на годину від загальної кількості машино-місць.

Враховуючи вищевикладене, ми вирішили за допомогою орієнтовних розрахунків визначити максимальні секундні викиди основних продуктів згоряння палива автомобілів у приміщенні гаража. За основу було використано формулу для розрахунку максимальних секундних викидів з методики ВНТП-СГП-46-16.96.

Розрахунки забруднення повітря підземного гаражу проведені за такими речовинами: оксид вуглецю — CO, оксиди азоту — NO<sub>x</sub>, вуглеводні — CH,

**Таблиця 3**  
**Результати розрахунку потужності викидів забруднюючих речовин від автомобілів**

Методика розрахунку	Загальний секундний викид, мг/с					
	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CH	Формальдегід	Бенз(а)-пірен
ВНТП-СГП-46-16.96 Методика Держкомекології Росії [7]	956,0	-	21,2	58,2	0,26	66·10 <sup>-6</sup>
ЄВРО-3 [5]	66,0	7348,0	11,8	2,6	-	-
ЄВРО-0 [5]	516,0	6624,0	80,0	82,0	-	-
Методика проведення інвентаризації ... [6]	462,38	-	28,07	26,8	-	-

Примітка:

Дані за формальдегідом і бенз(а)піреном взято з методики [7].

діоксид вуглецю — CO<sub>2</sub>, формальдегід, бенз(а)пірен, які можуть утворитися за умови використання обраного нами підземного простору протягом 20-хвилинного інтервалу у "годину пік". Для розрахунку було взято реально діючий підземний гараж з кількістю машино-місць 120 (довжина — 60 м, ширина — 50 м, висота приміщення — 2,5 м), який розташований під торговельно-розважальним комплексом у центрі м. Києва. Власне спостереження показало, що найбільша інтенсивність руху у приміщенні становить 240 авто на дві години, або на 20 хвилин 40 автомобілів, тобто майже 35% від загальної кількості машино-місць. Швидкість руху автомобілів на території закритого гаража приймаємо, згідно з ВНТП-СГіП-46-16.96, 5 км/год. Середню відстань пробігу автомобіля у приміщенні визначали за формулами методики [6]. Осереднений час руху автомобіля розраховували залежно від середньої відстані пробігу та швидкості руху машини. У ре-

зультаті розрахунку отримали значення 40 с, але, враховуючи дані [8], приймаємо значення 60 с як час проїзду автомобіля на території гаража.

Питомі викиди забруднюючих речовин легковими автомобілями взято згідно з ВНТП-СГіП-46-16.96 за 2000 рік. При розрахунках умовно приймаємо, що половина автомобілів є малого класу, а половина — середнього. Дані пробігових викидів формальдегіду та бенз(а)пірену взято з методики [7] для легкових автомобілів. Для розрахунку максимальних секундних викидів легкових автомобілів класу Євро-3 та Євро-0 ми скористалися даними питомих викидів із методики Російської Федерації [5]. Умовно приймаємо, що автомобілі у гаражі належать до двох типів: 20 дизельних та 20 бензинових, з робочим об'ємом двигуна 1,4-2,0. Значення питомих викидів шкідливих речовин автомобілями взято для міських вулиць та доріг малих, середніх та великих міст [5].

Методика інвентаризації викидів забруднюючих речовин [6] дозволяє враховувати різні режими роботи двигуна (прогрів, робота на холостому ходу, під час руху зі швидкістю 10-20 км/год). Викиди забруднюючих речовин ми розраховували за формулами, наведеними у методиці [6]. При цьому використовували питомі викиди шкідливих речовин для двигунів сучасних легкових автомобілів з покращеними екологічними характеристиками [6]. Умовно розділили, що 20 авто-

мобілів заїжджають до гаража, а 20 виїжджають. Половина автомобілів з дизельним типом двигуна, половина — з бензиновим, робочий об'єм двигуна приймаємо від 1,2 л до 1,8 л. Питомі викиди для автомобілів з бензиновим двигуном розділили: 10 автомобілів з двигунами з карбюраторами та 10 автомобілів з системою впрыскування палива. При розрахунках приймаємо згідно з [6] тривалість роботи двигуна на холостому ходу — 1 хв. Час прогріву двигуна приймаємо як для теплих закритих гаражів — 1,5 хв. Хоча Квашнин И.М. (2005 р.) зазначає, що час прогріву двигуна для різних категорій автомобілів відрізняється, наприклад для автомобілів закордонного виробництва становить 1 хв, а для автомобілів виробництва країн СНД — 3 хв.

Результати розрахунку секундних викидів за формулою методики ВНТП-СГіП-46-16.96 представлено у таблиці 3.

Оскільки потужності виділення шкідливих речовин від автомобілів за різними методиками суттєво відрізняються (табл. 3), на стадії проектування точно спрогнозувати, якими будуть концентрації забруднювачів у повітрі приміщення гаража, дуже складно. Результат залежить від обраної методики розрахунку та взятих питомих викидів продуктів згоряння палива.

Враховуючи об'єм приміщення та потужність викидів шкідливих речовин автомобілями, ми провели розрахунок концентрацій досліджуваних речо-

Таблиця 4

#### Орієнтовні розрахунки концентрацій шкідливих речовин у приміщенні гаража (без урахування фону)

Назва речовини	Гранично допустимі концентрації		Концентрації шкідливих речовин, розраховані за різними методиками, мг/м <sup>3</sup>			
	ГДКр.з., мг/м <sup>3</sup>	ГДКм.р., мг/м <sup>3</sup>	ВНТП-СГіП-46-16.96	ЄВРО-3 [5]	ЄВРО-0 [5]	Методика проведення інвентаризації... [6]
CO	20	5,0	7,60	0,53	4,1	10,8
CO <sub>2</sub>	-	-	-	59,0	53,0	-
NO <sub>x</sub>	2	0,2	0,17	0,09	0,64	0,63
CH	300	1,0	0,50	0,02	0,66	1,36
Формальдегід	0,5	0,035	0,002	-	-	-
Бенз(а)пірен	0,00015	1*10 <sup>-6</sup>	0,53*10 <sup>-6</sup>	-	-	-

Примітки: гранично допустимі концентрації наведено: ГДКр.з. — згідно з ДСТУ 12.1.005-88. "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны". ГДКм.р. — згідно з ДСП -201-97 "Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами)".

вин (CO, NO<sub>x</sub>, CH, CO<sub>2</sub>, формальдегіду, бенз(а)пірену) у повітрі приміщення гаража (табл. 4) за кратності повітрообміну менше 0,1 год<sup>-1</sup>.

З результатів орієнтовних розрахунків видно, що концентрації шкідливих речовин продуктів згоряння палива автомобілів, навіть у час пік, за відсутності вентиляції не перевищують гранично допустимі концентрації для робочої зони, як того вимагає ДБН В.2.3-15:2007. Проте для населення і як критерій якості повітря доцільніше приймати ГДКм.р. згідно з ДСП 201-97. При цьому ми бачимо, що при використанні для розрахунку питомих викидів продуктів згоряння палива за методикою ВНТП-СГП-46-16.96 є перевищення концентрації CO щодо ГДКм.р. Якщо ж використовувати дані питомих викидів від автомобілів класу Євро-0, які складають основну частину автомобільного парку України, то навпаки — концентрація CO відповідає вимогам ДСП 201-97, а за NO<sub>x</sub> є перевищення ГДКм.р. майже у 3,2 рази. Якщо ж використовувати дані питомих викидів автомобілів класу Євро-3, то концентрації за усіма досліджуваними речовинами не перевищують ГДКм.р. згідно з ДСП 201-97. З

ми розрахунковими величинами цієї речовини (табл. 4). Те саме можна сказати і про результати дослідження Акію Тсучію (2006) у трьох підземних гаражах, які показали, що концентрація CO у приміщенні коливалася від 1,1 мг/м<sup>3</sup> до 23,5 мг/м<sup>3</sup> і залежала від типу гаража, пори доби та інтенсивності руху автомобілів у приміщенні.

Дослідження, проведені авторами у New Delhi (2013), навпаки, дають підстави вважати, концентрації бенз(а)пірену коливаються у межах від 1,9 нг/м<sup>3</sup> до 8,4 нг/м<sup>3</sup>, а формальдегіду — від 0,002 мг/м<sup>3</sup> до 0,018 мг/м<sup>3</sup>. Найвищі концентрації CO перевищують аналіз літератури показують, що основними забруднювачами приміщення гаражу є CO та NO<sub>x</sub>. Для визначення продуктивності системи вентиляції гаража

Дослідження, проведені ми скористалися формулою Турос О.І. та співавторами стандарту ДСТУ Б EN (2009) у м. Запоріжжі, показують, що концентрації шкідливих речовин біля автомагістралей коливаються у таких межах: CO — 0,08 ÷ 2,78 мг/м<sup>3</sup>, видалення шкідливих речовин з NO<sub>2</sub> — 0 ÷ 0,118 мг/м<sup>3</sup>, CH — 0 ÷ 0,79 мг/м<sup>3</sup>.

Проведені дослідження за інтенсивністю забруднення приміщення гаража як ГДКм.р., атмосферного повітря у районі автомагістралей м. Києва [9] показують, що значення кон- як ГДКс.д. згідно з ДСП 201-97.

Таблиця 5  
**Розрахунок об'ємних витрат припливного повітря та кратності повітрообміну у дослідному гаражі**

Методика розрахунку	Об'ємні витрати припливного повітря, м <sup>3</sup> /год. (кратність повітрообміну год. <sup>-1</sup> )					
	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CH	Формальдегід	Бенз(а)пірен
ВНТП-СГП-46-16.96 (Україна) Методика Держкомекології Росії [7]	86040 (9,6)	-	23850 (2,7)	700 (0,1)	1476 (0,16)	1595 (0,17)
Євро-3 [5]	5940 (0,7)	1080 (0,12)	13284 (1,5)	31 (0,01)	-	-
Євро-0 [5]	46440 (5,2)	972 (0,11)	90000 (10)	987 (0,1)	-	-
Методика проведення інвентаризації... [6]	114480 (12,7)	-	86850 (9,7)	323 (0,04)	-	-

результатів розрахунків концентрацій шкідливих речовин за методикою [6] видно, що має місце перевищення ГДКм.р. за вуглеводнями (CH) в 1,4 рази, за оксидом вуглецю (CO) — у 2,2 рази, за оксидом азоту (NO<sub>x</sub>) — у 3,2 рази.

Kim et al. (2007) повідомляють, що у літній період року концентрації CO у гаражі становили у будні дні 3,24 мг/м<sup>3</sup>, а у вихідні — 1,5 мг/м<sup>3</sup>, що узгоджується з отриманими на-

Таблиця 6  
**Концентрація CO<sub>2</sub> (M ± m) у повітрі приміщення дослідного гаража (осінній та зимовий період)**

Точки замірів	Осінній період	Зимовий період	t критерій Ст'юдента (вірогідність)
	Визначена концентрація, ppm M ± m	Визначена концентрація, ppm M ± m	
Фон	359,9 ± 4,7	348,7 ± 0,96	2,31 (p<0,026)
Приміщення	558,2 ± 14,7	401,4 ± 0,26	10,3 (p<0,00001)

Примітки: M — значення середніх арифметичних;  
m — величина статистичних помилок середніх арифметичних.

Концентрацію CO<sub>2</sub> у припливному повітрі приймаємо згідно з ДСТУ Б EN 13779:2011, як для великих міст. В Україні ГДК CO<sub>2</sub> регламентована у повітрі житлових приміщень на рівні 0,1% (тобто 1000 ppm). Концентрацію вуглеводнів у припливному повітрі приймаємо згідно з ДСП 201-97, а у приміщенні — згідно з ДСТУ 12.1.005-88. Для визначення потужності виділення шкідливих речовин у приміщенні використовуємо дані таблиці 4, осереднені за 20 хв.

Результати проведеного розрахунку об'ємних витрат припливного повітря для підземного гаража свідчать, що використання датчиків, налаштованих на рівень концентрації CO, не завжди є обґрунтованим. Якщо врахувати, що найбільша кількість автомобілів в Україні належить до класу Євро-0, то датчики з регулювання якості повітря у гаражі лише за концентрацією CO не можна застосовувати, оскільки витрати припливного повітря на видалення концентрації NO<sub>x</sub> майже

вдвічі більші. Розрахунки показують, що необхідно регулювати повітрообмін у приміщенні як за CO, так і за NO<sub>x</sub>.

Враховуючи те, що у сучасних автомобілях з каталізаторами викид CO<sub>2</sub> майже у 100 разів вищий, ніж CO, ми вирішили дослідити рівень забруднення повітря підземного гаража діоксидом вуглецю. Дослідження проводились у гаражі у центрі м. Києва в осінній та зимовий періоди року. Експериментальне визначення концентрації CO<sub>2</sub> проводилося газоаналізатором PSENSE з часом осереднення 1 хв. Заміри здійснювалися на рівні підлоги та на висоті 1 м у 9 точка.

З результатів дослідження видно (табл. 6), що концентрації CO<sub>2</sub> у гаражі у зимовий період нижчі, ніж в осінній.

Результати досліджень Н. Martin (2001) за 3 дні цілодобового спостереження показали, що концентрації CO<sub>2</sub> у приміщенні гаража не перевищують значення 650 ppm, тоді як концентрації CO перевищували значення 49,9 мг/м<sup>3</sup>.

Наші власні дослідження та дані Н. Martin (2001) показують, що значення концентрації CO<sub>2</sub> у повітрі гаража не перевищують гігієнічний норматив навіть для житлових помешкань (1000 ppm). Отже, концентрація CO<sub>2</sub> не може слугувати критерієм гігієнічної оцінки якості повітря гаража.

Для гігієнічної оцінки ймовірного впливу досліджених шкідливих речовин у вентиляційно-

му викиді підземного гаража на здоров'я людей були визначені канцерогенний та неканцерогенний ризику [10].

Умовно приймаємо, що людина щодня перебуває у зоні впливу повітряного потоку витяжної вентиляції гаража 1 годину.

Результати розрахунку тривалості перебування людини у зоні впливу витяжної вентиляції гаража використовуємо для визначення середньодобової дози впливу речовин з атмосферного повітря при розрахунках канцерогенного ризику.

Коефіцієнт небезпеки неканцерогенного ризику характеризується як співвідношення середньорічних концентрацій і референтних [10]. Отримані концентрації досліджуваних речовин у таблиці 4 характеризуються як максимально разові. Для визначення середньорічних концентрацій ми скористалися інструкцією № 2.1.6.11-9-29-2004 (Білорусія). Значення середньорічних концентрацій представлено у таблиці 7.

Результати розрахунку неканцерогенного ризику основних забруднювачів повітря (CO, NO<sub>x</sub>, CH) від вентиляційного викиду гаража представлено у таблиці 8.

З результатів розрахунку неканцерогенного ризику індекси небезпеки для досліджуваних речовин (CO, CH) не перевищують одиницю. Водночас неканцерогенний ризик для здоров'я населення за впливу концентрацій NO<sub>x</sub> (розрахованої за даними питомих викидів [5, 6]) не можна вважати прийнятним.

Таблиця 7

#### Розраховані рівні середньорічних концентрацій забруднюючих речовин у повітрі гаража

Назва речовини	Гранично допустимі концентрації ГДКс.д., мг/м <sup>3</sup>	Середньорічні концентрації шкідливих речовин, розраховані за різними методиками, мг/м <sup>3</sup>			
		ВНТП-СГП-46-16.96	ЄВРО-3 [5]	ЄВРО-0 [5]	Методика проведення інвентаризації... [6]
CO	3,0	0,8	0,05	0,41	1,1
CO <sub>2</sub>	-	-	5,9	5,3	-
NO <sub>x</sub>	0,04	0,02	0,01	0,06	0,06
CH	1,0	0,05	0,002	0,07	0,14

Таблиця 8

#### Розрахунок неканцерогенного ризику

Методика	Неканцерогенний ризик (HQ)		
	CO	NO <sub>x</sub>	CH
ВНТП-СГП-46-16.96	0,27	0,5	0,05
ЄВРО-3 [5]	0,02	0,25	0,002
ЄВРО-0 [5]	0,14	1,5	0,07
Методика [6]	0,37	1,5	0,14

Величини індивідуального канцерогенного ризику, який формується формальдегідом та бенз(а)піреном у цих умовах, визначені за методикою [10]: бенз(а)пірен — CR=0,12x10<sup>-7</sup>; формальдегід — CR=0,74x10<sup>-6</sup>.

За даними Турос O.I і співавторів [11], коефіцієнти небезпеки у м. Києві для діоксиду азоту становили 1,2 ÷ 2,4, у

м. Запоріжжі —  $1,1 \div 6,4$ , у м. Черкаси —  $1,24 \div 3,0$ . Як бачимо, у зоні міських магістралей забруднення повітря від автотранспорту більше, ніж у підземному гаражі.

#### Висновки

1. Методика розрахунку забруднення повітря підземного гаража продуктами згоряння палива разом з іншими вихідними даними має враховувати кількість одночасно працюючих двигунів автомобілів у час пік (не менше 35% від загальної кількості машино-місць), сучасні дані про питомі викиди двигуна автомобіля залежно від типу та режиму його роботи.

2. Результати розрахунку очікуваних концентрацій шкідливих речовин показують, що під час проектування систем вентиляції підземних гаражів необхідно в якості гігієнічного критерію оцінки забруднення повітря використовувати не ГДК для робочої зони, а максимально разові ГДК не лише  $\text{CO}$ , а й  $\text{NO}_x$ .  $\text{CO}_2$  не може слугувати санітарно-показовим критерієм забруднення повітря гаража іншими продуктами згоряння автомобільного палива та інтегральної оцінки ефективності роботи вентиляційної системи.

3. Неканцерогенний ризик впливу на людину шкідливих речовин у концентраціях, що можуть утворюватись у повітрі підземного гаража, в агравованих умовах його експлуатації за  $\text{CO}$  і  $\text{CH}$  є допустимим, а за  $\text{NO}_x$  — виходить за ці межі. Величини індивідуального канцерогенного ризику перебувають нижче прийнятного ризику для здоров'я населення (за бенз(а)піреном —  $\text{CR}=0,12 \times 10^{-7}$ ; а за формальдегідом —  $\text{CR}=0,74 \times 10^{-6}$ ).

4. Повітря гаража, забруднене відпрацьованими газами автомобілів, може бути викинуте системою вентиляції з коефіцієнтом розбавлення не менше 10 у прибудинковий простір.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Марков О.Д. Незалежний автосервіс: аналіз стану та перспективи розвитку / О.Д. Марков, М.М. Дронь // Вісник ЖДТУ. — 2012. — № 3 (62). — С. 128-136.

2. Акіменко В.Я. Удосконалення критеріїв санітарно-

епідеміологічної оцінки хімічного забруднення повітря приміщень житлового і громадського призначення / В.Я. Акіменко, Л.І. Михіна // Довкілля та здоров'я. — 2011. — № 2. — С. 26-33.

3. Krarti M. Ventilation for enclosed parking garages / M. Krarti, A. Ayari // ASHRAE Journal. — February, 2001. — P. 52-55.

4. Редзюк А.М. Уведення екологічних норм ЄВРО-3 — ЄВРО-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А.М. Редзюк, В.С. Устименко, О.А. Клименко та ін. // Автошляховик України. — 2011. — № 4. — С. 2-6.

5. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух / Министерство транспорта Российской Федерации. — М., 2006. — 46 с.

6. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом) / Министерство транспорта Российской Федерации от 28.10.1998 г. — М., 1998. — 124 с.

7. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов / Утв. приказом Госкомэкологии России № 66 от 16.02.1999. — М., 1999. — 6 с.

8. Berner A. Вентиляция крытых автостоянок / A. Berner // АВОК. — 1999. № 6. — С. 12 — 21.

9. Черниченко І.О. Ще раз про роль автотранспорту у забрудненні атмосферного повітря / І.О. Черниченко, Я.В. Першегуба, Л.С. Соверткова та ін. // Гігієна населених місць. — 2010. — Вип. 50. — С. 150-157.

10. Турос О.І. Порівняльний аналіз ризику для здоров'я населення від викидів промислових підприємств різних галузей народно-господарської діяльності / О.І. Турос, А.А. Петросян, О.В. Ананьева та ін. // Довкілля та здоров'я. — 2012. — № 4. — С. 34-38.

#### REFERENCES

1. Markov O.D., Dron M.M. Visnyk Zhytomyrskoho derzh. tekhn. universytetu. 2012 ; 3 (62) : 128 — 136. (in Ukrainian)

2. Akimenko V. Ya., Mykhina L.I. Dovkillia ta zdorovia. 2011; 2 : 26 — 33. (in Ukrainian)

3. Krarti M., Ayari A. ASHRAE Journal. February, 2001: 52 — 55.

4. Redziuk A.M., Ustymenko V.S., Klymenko A.O. et al. Avtoshliakhovyk Ukrainy. 2011; 4 : 2 — 6. (in Ukrainian)

5. Raschetnaia instrukciia (metodika) po inventarizacii vybrosov zagriazniaiushchikh veshchestv avtotransportnyimi sredstvami v atmosferyni vozdukh / Ministerstvo transporta Rossiiskoi Federacii [Calculation Instructions (Methodology) on the Emission Inventory of the Pollutants from Motor Transport in Atmospheric Air]. Moscow; 2006: 46 p. (in Russian)

6. Metodika provedeniia inventarizacii vybrosov zagriazniaiushchikh veshhestv v atmosferu dlia avtotransportnykh predpriatii (raschetnym metodom) / Ministerstvo transporta Rossiiskoi Federacii [Methodology on the Performance of the Inventory of the Emissions Polluted the Atmosphere for Motor Transport Enterprises (by Calculation Method)]. Moscow; 1998: 124 p. (in Russian)

7. Metodika opredeleniia vybrosov avtotransporta dlia provedeniia svodnykh raschetov zagriazneniia atmosfery gorodov / Goskomekologii Rossii [Methodology on the Determination of Motor Transport Emissions for the Performance of Master Calculations of the Cities' Polluted Atmosphere]. Moscow ; 1999 : 6 p. (in Russian)

8. Berner A. АВОК. 1999 ; 6 : 12 — 21. (in Russian)

9. Chernyuchenko I.O., Pershehuba Ya.V., Sovertkova L.S. et al. In : Hihiiena naselenykh mist [Hygiene of Settlements]. Kyiv ; 2010; 50: 150 — 157. (in Ukrainian)

10. Turus O.I., Petrosian A.A., Ananieva O.V., Kartavtsev O.M., Zahorodnii V.V. Dovkillia ta zdorovia. 2012 ; 4 : 34 — 38. (in Ukrainian)

Надійшла до редакції 18.01.2014.