

В.П. Тарасов, В.П. Молодець В.П., Т.М. Булана, О.Г.Байбуз

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯ

*Анотація. Робота присвячена існуючим технологіям моніторингу повітря: наземні (датчики, дифузійні трубки і т.п.) та віддалені ресурси (супутники, літаки і т.п.). Також в рамках роботи описані стандарти оцінки якості повітря (європейський та американський). В якості прикладу розглянуто європейський індекс якості повітря (EAQI) та індекс якості повітря за стандартами EPA (Environmental Protection Agency): описані показники, за якими ці індекси розраховуються, ранжування стану повітря в залежності від значення індексу.*

*Ключові слова: моніторинг, якість повітря, індекси якості повітря.*

Стан повітря – є важливим фактором не тільки для навколишнього середовища, а й для людини в цілому. В 2020 році було проведено дослідження щодо взаємозв'язку між довгостроковим впливом NO<sub>2</sub> і смертністю від COVID-19. Результати показують, що з 4443 смертельних випадків, 3487 (78%) були в п'яти регіонах, розташованих на півночі Італії і в центральній Іспанії. Крім того, в тих же п'яти регіонах спостерігаються найвищі концентрації NO<sub>2</sub> в поєднанні з низхідним потоком повітря, який перешкоджає ефективному розсіюванню забруднення повітря. Ці результати показали, що довгостроковий вплив цього забруднювача може бути одним з найбільш важливих факторів смертності, викликані COVID-19 в цих регіонах, а можливо, і в усьому світі [1].

З цього дослідження можна зробити припущення що погіршення якості повітря впливає на швидкість розповсюдження респіраторних захворювань. Щоб вирішити проблему зі станом повітря необхідно проводити спочатку моніторинг (збір даних) з подальшим їх аналізом та класифікацією. Мета цієї роботи – провести аналіз існуючих способів моніторингу якості повітря, дослідити стандарти які використовуються в Україні та в світі, показники, що впливають на їх значення.

Моніторинг атмосферного повітря - це систематична, довгострокова оцінка рівня певних видів забруднюючих речовин шляхом вимірювання їх кількості у відкритому повітрі. Моніторинг атмосферного повітря є невід'ємною частиною ефективної системи управління якістю повітря та

здійснюється за допомогою мереж навколишнього моніторингу, що повинні підтримувати [2]:

- Своєчасне надання широкому загалу даних про забруднення повітря.
- Дотримання стандартів якості навколишнього повітря та розробки стратегії викидів.
- Підтримку досліджень щодо забруднення повітря.

Для забезпечення роботи мережі відповідно до умов, вона повинна бути розроблена з урахуванням різних типів ділянок моніторингу. Вони повинні бути здатні інформувати про піковий рівень забруднення повітря, типові рівні в населених пунктах, забруднення повітря, що транспортуються до міста та регіону та за його межами, та рівні забруднення повітря поблизу конкретних джерел. Тож можна виділити шість загальних типів ділянок, які потребують контролю [3]:

- Ті, які визначають найвищі концентрації, які очікуються в зоні, що охоплена мережею;
- Розміщені для вимірювання типових концентрацій у районах з високою щільністю населення;
- Які визначають вплив джерел забруднення або категорій джерел на якість повітря;
- Які визначають загальний рівень фонові концентрації;
- Для визначення ступеня транспорту забруднюючих речовин серед населених пунктів;
- Які розміщені для вимірювання впливу забруднення повітря на видимість, рослинний покрив чи інші впливи на оточуюче середовище.

Для уточнення природи зв'язку між загальними цілями моніторингу, типами ділянок та фізичним розташуванням конкретного монітора визначається концепція просторового масштабу. Метою розміщення моніторів є правильна відповідність просторового масштабу, представленого вибіркою спостережуваного повітря, та просторового масштабу, найбільш відповідного до типу моніторингової ділянки, забруднювача повітря, що вимірюється, та цілі моніторингу.

Таким чином, масштаб описується з точки зору фізичних розмірів повітряного об'єму, найближчого до місця спостереження, яке має досить однакові фактичні концентрації забруднюючих речовин. Масштаби, що представляють найбільший інтерес для типів моніторингу представлені у таблиці 1[3]:

## Просторові масштаби

Назва масштабу	Опис
Мікро масштаб	Визначає концентрації в об'ємах повітря, пов'язані з розмірами площі від кількох метрів до приблизно 100 метрів
Середній масштаб	Визначає концентрацію, характерну для районів розміром до декількох міських кварталів з розмірами від 100 метрів до 0,5 кілометра
Районний масштаб	Визначає концентрації в межах деякої розширеної площі міста, яка має відносно рівномірне використання земель із розмірами в межах від 0,5 до 4 кілометрів
Міський масштаб	Визначає концентрації в межах міста, порядку від 4 до 50 кілометрів
Регіональний масштаб	Визначає, як правило, сільську територію з досить однорідною географією без великих джерел забруднення і простягається від десятків до сотень кілометрів
Національний та глобальний масштаби	Представляють концентрації, що характеризують територію країни та земну кулю в цілому

Правильне розміщення приладу вимагає уточнення мети моніторингу, типів ділянок, необхідних для досягнення мети, а потім бажаного просторового масштабу[4].

Класифікація ділянок моніторингу якості повітря є необхідною умовою для будь-якої інтерпретації даних забруднення. Це потрібно для:

- Макромасштабних критеріїв розміщення;
- Звітування про метадані оцінки (2011/850 / ЄС) [5];
- Оцінки репрезентативності, експозиції, моделі, розподілу джерел тощо.

Будь-яка класифікація повинна мати чітко визначені кількісно вимірювані параметри та чіткі пороги між класами на основі таких параметрів для її використання по всій Європі[6].

Відповідно до 361 статті Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Україна зобов'язалася впровадити основні положення двох європейських директив: 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи; а також 2004/107/ЄС про миш'як, кадмій, ртуть, нікель і поліциклічні ароматичні вуглеводні у атмосферному повітрі.

Типовими датчиками, які можуть використовуватись в населених пунктах для побудови мережі моніторингу високої щільності, є:

- Пасивні монітори та дифузійні трубки;
- Прилади на основі фільтрів для твердих часток;
- Високоякісні датчики, інтегровані в нерухому інфраструктуру [7];
- Датчики низької вартості варіюються від простих датчиків, що вимірюють лише один забруднювач до пристроїв, які вимірюють декілька і включають можливості зв'язку та метеорологічного моніторингу;

- Мобільні датчики[7].

Оскільки багато країн, мають великі прогалини в наземних мережах моніторингу забруднення повітря, а супутники надають доволі великомасштабну інформацію, то постає питання використання літаків та інших повітряних засобів для вимірювання якості повітря верхнього шару, що дозволить збільшити покриття території та надати більш точні дані по забрудненню, наприклад, для вимірювання [8] оцінки викидів літальних апаратів.

Супутникові знімки допомагають визначити великі райони забруднення, спричинені пожежами, пиловими або піщаними бурями, виверженнями вулканів, великими промисловими джерелами або транспортуванням техногенного забруднення з інших регіонів [8].

Прикладом такого супутника є Sentinel-5. Це місія з моніторингу атмосферного середовища в рамках програми European Copernicus. Основна мета місії - оперативний моніторинг концентрацій газів в атмосфері та клімату.

Для дослідження впливу розподілу забруднення від конкретного джерела або групи джерел для оцінки якості повітря та впливу на здоров'я людини для малих просторових масштабів приватними компаніями розробляється спеціальне програмне забезпечення (ПЗ). Окрім моделювання, ПЗ може включати оцінку прогнозу якості повітря відповідно до стандартів та граничних

значень, а також містити стандарти Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), Європейського Союзу (ЄС), Великобританії, США або Китаю.

Для діагностики системи оцінки якості повітря створюються критерії якості навколишнього повітря або стандарти - це допустимі концентрації забруднюючих речовин у повітрі.

Нещодавно ВООЗ видала настанови щодо рівня забруднення оточуючого повітря, які широко використовуються у всьому світі, як орієнтири для встановлення стандартів та цілей управління якістю повітря [9].

В керівництві ВООЗ зазначено, що середньорічні концентрації  $PM_{2.5}$  не повинні перевищувати 10 мкг/м<sup>3</sup>, тоді як середньодобова не більш 25 мкг/м<sup>3</sup> більше трьох разів на рік.

У свою чергу ЄС розробив широкий законодавчий акт, який встановлює стандарти та цілі щодо ряду забруднюючих речовин у повітрі.

Директиви ЄС щодо якості повітря (Директива 2008/50/ЄС про якість навколишнього повітря та очищення повітря для Європи та Директива 2004/107/ЄС про важкі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні в навколишньому повітрі) встановлюють порогові концентрації забруднюючих речовин, які не повинні перевищуватись у заданий проміжок часу. У разі перевищення, органи влади повинні розробити та впровадити плани управління якістю повітря.

В Україні оцінка фактичного або прогнозного (розрахункового) рівня забруднення атмосферного повітря проводиться шляхом співставлення показника забруднення однією речовиною або сумарного показника забруднення (СПЗ) сумішшю речовин з показником гранично допустимого забруднення (ГДЗ). Допустимим визнається рівень, що не перевищує ГДЗ [10].

Air Quality Index (AQI) - це індекс для звітування про якість щоденного повітря, що зосереджується на впливі на здоров'я та відчущуються протягом декількох годин або днів після вдихання забрудненого повітря. ЕРА розраховує AQI для п'яти основних забруднювачів повітря: наземний озон, забруднення РМ (також відомих як тверді частинки), оксид вуглецю, діоксид сірки та діоксид азоту. Для кожної з цих забруднюючих речовин ЕРА встановила національні стандарти якості повітря для захисту здоров'я населення. Озонові та частинки повітря, які містяться в повітрі, є двома забруднювачами, які представляють найбільшу загрозу здоров'ю людини в цій країні.

Чим вище значення AQI, тим більший рівень забруднення повітря та більша стурбованість здоров'ям. Наприклад, значення AQI 50 являє собою хорошу якість повітря з невеликим потенціалом впливу на здоров'я, тоді як значення AQI понад 300 представляє небезпечну якість повітря. Мета AQI - допомогти зрозуміти, яким чином місцева якість повітря впливає на ваше здоров'я. Щоб полегшити розуміння EPA розробила власний стандарт AQI, який ділиться на шість категорій, кожна з яких має власний вплив на здоров'я. Рівні індексу представлені у таблиці 2 [11].

Таблиця 2

Рівні індексу якості повітря за стандартом EPA

Назва рівню	Діапазон значень	Пояснення
Хороший	від 0 до 50	Якість повітря вважається задовільною, а забруднення повітря не представляє мало ризику або не має ніякого ризику
Помірний	від 51 до 100	Якість повітря прийнятна; однак для деяких забруднювачів може спостерігатися помірне занепокоєння щодо здоров'я дуже незначної кількості людей. Наприклад, люди, які незвично чутливі до озону, можуть відчувати респіраторні симптоми
Нездоровий для чутливих груп	від 101 до 150	Люди з уразливої групи можуть мати проблеми зі здоров'ям
Нездоровий	від 151 до 200	Кожен може почати відчувати деякі негативні наслідки для здоров'я, а члени уразливих груп можуть відчувати більш серйозні наслідки
Дуже нездоровий	від 201 до 300	Кожен може зазнати більш серйозних наслідків для здоров'я
Небезпечний	більше 300	Може постраждати все населення

Європейський індекс якості повітря дозволяє користувачам більше розуміти якість повітря там, де вони живуть, працюють або подорожують. Відображаючи інформацію для Європи, користувачі можуть отримати розуміння якості повітря в окремих країнах, регіонах та містах. Індекс базується на значеннях концентрації п'яти основних забруднюючих речовин,

включаючи тверді частинки (PM<sub>10</sub>), дрібнодисперсні речовини (PM<sub>2.5</sub>), озон (O<sub>3</sub>); діоксид азоту (NO<sub>2</sub>); діоксид сірки (SO<sub>2</sub>). Індекс якості повітря відображає потенційний вплив якості повітря на здоров'я, обумовлений забруднювачем, концентрація якого найбільша[12]. Інформація про концентрацію та відповідний вплив на здоров'я людини приведена в таблиці 3 та таблиці 4.

Таблиця 3

Індекс на основі концентрацій забруднювачів

Забруднювач	Рівень індексу				
	Добре	Непогано	Помірно	Погано	Дуже погано
PM <sub>2.5</sub>	0-10	10-20	20-25	25-50	50-800
PM <sub>10</sub>	0-20	20-35	35-50	50-100	100-1200
NO <sub>2</sub>	0-40	40-100	100-200	200-400	400-1000
O <sub>3</sub>	0-80	80-120	120-180	180-240	240-600
SO <sub>2</sub>	0-100	100-120	200-350	350-500	500-1250

Таблиця 4

Пов'язані із індексом повідомлення про вплив на здоров'я людини

Індекс якості повітря	Все населення	Уразливі групи населення
Добре	Якість повітря добра	Якість повітря добра
Непогано	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку
Помірно	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку
Погано	Подумайте про зменшення інтенсивних занять на свіжому повітрі, якщо у вас з'являються такі симптоми, як біль в очах, кашель або біль у горлі	Подумайте про зменшення фізичних навантажень, особливо на відкритому повітрі, особливо якщо у вас симптоми.
Дуже погано	Зменшіть фізичні навантаження на свіжому повітрі	Уникайте фізичних занять на свіжому повітрі

можливість користувачам отримати інформацію про забруднення повітря за допомогою відкритих даних та інструментів з відкритим кодом [12,13].

Отже джерелом інформації можуть виступати, як дані з наземних станцій, так і супутникові дані. Наземні станції дають більш точну картину щодо стану повітря в точці, в той час як дані супутникового зображення з певною похибкою (через хмарність тощо) можуть охопити більшу територію та вирішити проблему з покриттям станціями місцевості. В якості показника впливу повітря на стан людини використовують AQI. В якості параметрів розрахунку тверді частинки, дрібнодисперсні речовини, озон, діоксид азоту, діоксид сірки. Єдиного стандарту для розрахунку не існує. На сьогодні в Україні та в Європі використовується Європейський індекс якості повітря (EAQI).

#### **ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА**

1. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality [Електронний ресурс] / Science of The Total Environment – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.researchgate.net/publication/340587171\\_Assessing\\_nitrogen\\_dioxide\\_NO2\\_levels\\_as\\_a\\_contributing\\_factor\\_to\\_the\\_coronavirus\\_COVID-19\\_fatality\\_rate](https://www.researchgate.net/publication/340587171_Assessing_nitrogen_dioxide_NO2_levels_as_a_contributing_factor_to_the_coronavirus_COVID-19_fatality_rate).
2. 40 CFR Appendix D to Part 58 - Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D\\_to\\_part\\_58](https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D_to_part_58).
3. 40 CFR Part 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-50>.
4. Ambient Air Monitoring Protocol For PM<sub>2.5</sub> and Ozone Canada-wide Standards for Particulate Matter and Ozone [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.ccme.ca/files/Resources/air/pm\\_ozzone/pm\\_oz\\_cws\\_monitoring\\_protocol\\_pn1456\\_e.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resources/air/pm_ozzone/pm_oz_cws_monitoring_protocol_pn1456_e.pdf).
5. 2011/850/EU: Commission Implementing Decision of 12 December 2011 laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air qual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011D0850>.
6. Assessment on siting criteria, classification and representativeness of air quality monitoring stations [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SCREAM\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SCREAM_final.pdf)



7. Air Monitoring, Measuring, and Emissions Research [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epa.gov/air-research/air-monitoring-measuring-and-emissions-research>.
8. Satellite Observations Part II. Track Pollution from Space [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://terra.nasa.gov/citizen-science/air-quality/part-ii-track-pollution-from-space>.
9. WHO Air Quality Guidelines [Електронний ресурс]  
Режим доступу до ресурсу: [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US).
10. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/ed20000223>.
11. Air quality standards [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>.
12. OpenAQ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/OpenAQ?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/OpenAQ?language=en_US).
13. About AirNow [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.airnow.gov/index.cfm?action=topics.about\\_airnow](https://www.airnow.gov/index.cfm?action=topics.about_airnow).

#### REFERENCES

1. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality [Electronic resource] / Science of The Total Environment – Resource access mode:  
[https://www.researchgate.net/publication/340587171\\_Assessing\\_nitrogen\\_dioxide\\_NO2\\_levels\\_as\\_a\\_contributing\\_factor\\_to\\_the\\_coronavirus\\_COVID-19\\_fatality\\_rate](https://www.researchgate.net/publication/340587171_Assessing_nitrogen_dioxide_NO2_levels_as_a_contributing_factor_to_the_coronavirus_COVID-19_fatality_rate).
2. 40 CFR Appendix D to Part 58 - Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring [Electronic resource] – Resource access mode:  
[https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D\\_to\\_part\\_58](https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D_to_part_58).
3. 40 CFR Part 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS [Electronic resource] – Resource access mode:  
<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-50>.
4. Ambient Air Monitoring Protocol For PM<sub>2.5</sub> and Ozone Canada-wide Standards for Particulate Matter and Ozone [Electronic resource] –  
Resource access mode: [https://www.ccme.ca/files/Resources/air/pm\\_ozone/pm\\_oz\\_cws\\_monitoring\\_protocol\\_pn1456\\_e.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resources/air/pm_ozone/pm_oz_cws_monitoring_protocol_pn1456_e.pdf).

5. 2011/850/EU: Commission Implementing Decision of 12 December 2011 laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air quality [Electronic resource] – Resource access mode: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011D0850>.
6. Assessment on siting criteria, classification and representativeness of air quality monitoring stations [Electronic resource] – Resource access mode: [https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SCREAM\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SCREAM_final.pdf)
7. Air Monitoring, Measuring, and Emissions Research [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.epa.gov/air-research/air-monitoring-measuring-and-emissions-research>.
8. Satellite Observations Part II. Track Pollution from Space [Electronic resource] – Resource access mode: <https://terra.nasa.gov/citizen-science/air-quality/part-ii-track-pollution-from-space>.
9. WHO Air Quality Guidelines [Electronic resource] – Resource access mode: [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US).
10. State sanitary rules of protection of atmospheric air of settlements (from pollution by chemical and biological substances) [Electronic resource]. – Resource access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/ed20000223>.
11. Air quality standards [Electronic resource]. – 2019. – Resource access mode: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>.
12. OpenAQ [Electronic resource] – Resource access mode: [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/OpenAQ?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/OpenAQ?language=en_US).
13. About AirNow [Electronic resource] – Resource access mode: [https://www.airnow.gov/index.cfm?action=topics.about\\_airnow](https://www.airnow.gov/index.cfm?action=topics.about_airnow)

Received 11.03.2021.  
Accepted 15.03.2021.

**Анализ существующих технологий мониторинга воздуха**

*Работа посвящена существующим технологиям мониторинга воздуха: наземные (датчики, диффузные трубки и т.п.) и отдаленные ресурсы (спутники, самолеты и т.п.). Также в рамках работы описаны стандарты оценки качества воздуха (европейский и американский). В качестве примера рассмотрен европейский индекс качества воздуха (EAQI) и индекс качества воздуха по стандартам EPA (Environmental Protection Agency): описаны показатели, по которым эти индексы рассчитываются, ранжирование состояния воздуха в зависимости от значения индекса.*

**Analysis of existing air monitoring technologies**

*Atmospheric air monitoring is a systematic, long-term assessment of the level of certain types of pollutants by measuring their amount in the open air. Atmospheric air monitoring is an integral part of an effective air quality management system and is carried out through environmental monitoring networks, which should support timely provision of public information about air pollution, support compliance with ambient air quality standards and development of emission strategies, support for air pollution research.*

*The work is devoted to existing air monitoring technologies: ground (sensors, diffusion tubes, etc.) and remote resources (satellites, aircraft, etc.). In addition, standards of air quality assessment (European and American) are described. As an example, we consider the European Air Quality Index (EAQI) and the Air Quality Index according to EPA standards: indicators by which these indices are calculated, the ranking of air status depending on the value of the index are described.*

*AQI (Air Quality Index) is used as an indicator of the impact of air on the human condition. The European Air Quality Index allows users to better understand air quality where they live, work or travel. By displaying information for Europe, users can gain an understanding of air quality in individual countries, regions and cities. The index is based on the values of the concentration of the five main pollutants, including particles less than 10 $\mu$ m (PM10), particles less than 2.5 $\mu$ m (PM2.5), ozone (O<sub>3</sub>); nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>); sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>).*

*To conclude, ground stations give a more accurate picture of the state of the air at a point, while satellite image data with a certain error (due to cloud cover, etc.) can cover a larger area and solve the problem of coverage of stations in the area. There is no single standard for calculation. Today, the European Air Quality Index (EAQI) is used in Ukraine and Europe.*

**Тарасов Володимир Павлович** – магістр, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

**Молодець Богдан Володимирович** – аспірант, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

**Булана Тетяна Михайлівна** – доцент, кандидат технічних наук, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

**Байбуз Олег Григорович** – професор, доктор технічних наук, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

**Тарасов Владимир Павлович** – магістр, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Молодец Богдан Владимирович** – аспирант, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Буланая Татьяна Михайловна** – доцент, кандидат технических наук, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Байбуз Олег Григорьевич** – профессор, доктор технических наук, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Tarasov Volodymyr** – Master Student, Oles Honchar Dnipro National University.

**Molodets Bohdan** – Postgraduate Student, Oles Honchar Dnipro National University.

**Bulanaya Tatyana** – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Oles Honchar Dnipro National University.

**Baybuz Oleg** – Full Professor Doctor of Technical Sciences, Oles Honchar Dnipro National University.