

Biliaiev M.M.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

Biliaieva V.V.

*PhD, Associate Professor of The Department «Fluid Dynamics, Energy and Mass Transfer»,
Oles Honchar Dnipro National University*

Kozachyna V.A.

*PhD, Senior lecturer of The Department « Hydraulics and water supply»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

Berlov O.V.

*PhD, Associate Professor of The Department «Workplace Safety and Health»,
Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*

APPLICATION OF «TX ACTIVE» SURFACES ON BUILDINGS TO REDUCE THE LEVEL OF CHEMICAL AIR POLLUTION IN WORKING AREAS

Біляєв Микола Миколайович

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Біляєва Вікторія Віталіївна

*кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос»,
Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара*

Козачина Віталій Анатолійович

*кандидат технічних наук, доцент
старший викладач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Берлов Олександр Вікторович

*кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри «Безпека життєдіяльності»,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

ВИКОРИСТАННЯ «TX ACTIVE» ПОВЕРХНІ НА БУДІВЛЯХ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В РОБОЧИХ ЗОНАХ

Summary. This paper is devoted to the problem of numerical modeling of TX ACTIVE surfaces on buildings to reduce air contamination. Numerical model was developed. To compute the process of pollutant dispersion in air the mass transfer equation is used, which takes into account the pollutant transfer due to convection and diffusion. Two-dimensional model of potential flow is used to determine wind flow over buildings. An explicit difference scheme is used to solve numerically the equation for velocity potential. The splitting method is used for numerical integration of the mass transfer equation.

A computer program based on the developed numerical model was developed. The results of a computational experiment are presented.

Анотація. Розглядається задача оцінювання рівня забруднення повітря в робочих зонах на відкритій місцевості при використанні TX ACTIVE поверхонь на стінках будівель. Ставиться задача розробки чисельної моделі, що дозволяє швидко визначати рівень забруднення повітря в робочих зонах з урахування TX ACTIVE поверхонь. Для розрахунку процесу поширення забруднювача в повітрі використовується рівняння масопереносу, що враховує поширення забруднювача за рахунок конвекції та дифузії. Для визначення поля швидкості повітряного потоку при наявності будівель використовується двовимірна модель потенціального руху. Для чисельного рішення рівняння для потенціалу швидкості використовується явна різницєва схема. Для чисельного інтегрування рівняння масопереносу використовується метод розщеплення.

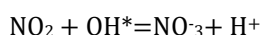
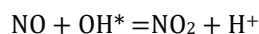
Створена комп'ютерна програма на базі розробленої чисельної моделі. Представлені результати обчислювального експерименту.

Key words: numerical simulation; air pollution, TX ACTIVE surface, labor protection

Ключові слова: чисельне моделювання; забруднення повітря, TX ACTIVE поверхня, охорона праці

Постановка проблеми.

Відомо, що для зниження рівня забруднення повітря при будівництві автотрас використовуються «photocatalytic» поверхні («ТХ Active» поверхні) [9-11]. Такі поверхні також використовуються на стінках будинків. На цих поверхнях під дією ультрафіолетового випромінювання (UV) має місце зниження рівня забруднення повітря. При цьому на поверхнях мають місце такі реакції:



Тобто, умовно можна назвати цей процес «нейтралізацією» NO .

«ТХ Active» поверхні створюються шляхом додання TiO_2 при виготовленні цементу. При проектуванні промислових будівель з такими поверхнями виникає задача по визначенню ефективності зниження концентрації забруднювача в робочих зонах біля будівель. Слід підкреслити, що ефективність використання «ТХ Active» поверхонь залежить від багатьох факторів: висоти будівель, розташування будівель відносно джерела забруднення, швидкості повітря тощо. У зв'язку з цим, на практиці дуже важливим є створення математичних моделей, що дозволяють адекватно визначати ефективність цих поверхонь для захисту робочих зон від забруднення.

Мета. Побудова чисельної моделі для експрес оцінки рівня хімічного забруднення робочих зон біля будинків, де використовуються «ТХ Active» поверхні.

Математична модель.

Для експрес рішення задачі по оцінці рівня забруднення робочих зон при використанні «ТХ Active» поверхонь на стінках будівель була побудована математична модель. Ця модель включає наступні рівняння механіки суцільного середовища [1-4, 7, 8]:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \sum_{i=1}^N Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (3)$$

де P – потенціал швидкості; S – концентрація забруднювача (NO); $Q_i(t)$ – інтенсивність емісії забруднювача; u, v – проекції вектора швидкості повітряного потоку на вісі декартової системи координат; t – час; μ_x, μ_y – коефіцієнти турбулентної дифузії x_i, y_i – координати джерела емісії; $\delta(x - x_i), \delta(y - y_i)$ – дельта-функція Дірака.

Граничні умови для моделюючих рівнянь [1, 3, 4]:

$$1) \frac{\partial P}{\partial n} = 0 \text{ на непроникливих границях;}$$

$$2) \frac{\partial P}{\partial n} = 0 \text{ на верхній поверхні;}$$

$$3) \frac{\partial P}{\partial n} = V_n \text{ на межі, де потік втікає}$$

(V_n – швидкість повітряного потоку);

$$4) P = \text{const на границі «виходу» потоку;}$$

$$5) \text{ на межі входу потоку } S = 0;$$

$$6) \text{ на границі виходу потоку } \left. \frac{\partial S}{\partial n} \right|_{\Gamma_2} = 0;$$

7) на межі $y = 0$ та $y = L_y$ (L_y – верхня границя області): $\frac{\partial S}{\partial n} = 0$,

де n – одиничний вектор зовнішньої нормалі до поверхні.

Для моменту часу $t = 0$ початкова умова записується так: $S = 0$.

Для моделювання процесу поглинання «ТХ Active» поверхнею будемо використовувати для цієї поверхні таку граничну умову (для концентрації NO):

$$S = 0. \quad (4)$$

Для визначення кількості забруднювача, що поглинає «ТХ Active» поверхня за час dt , використовується така процедура: на кожному новому часовому кроці розрахунок починається з того, що в комірці, яка прилягає до «ТХ Active» поверхні задається гранична умова (4). Далі, протягом інтервалу часу dt , розраховується потік забруднювача до «ТХ Active» поверхні на базі закону Фіка, тобто розраховується потік забруднювача від зони з високою концентрацією (різницева комірка в повітрі, що прилягає до photocatalytic поверхні) до цієї поверхні. Закон Фіка записується так:

$$J = -\mu A \frac{\partial S}{\partial n} dt,$$

де J – потік маси забруднювача до «ТХ Active» поверхні; μ – коефіцієнт дифузії; A – площа поверхні, крізь яку направлений дифузійний потік; n – одинична зовнішня нормаль.

Розглянемо методологію чисельного інтегрування моделюючих рівнянь.

Для рішення рівняння для потенціалу швидкості запишемо його так:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \quad (5)$$

де t – фіктивний час.

Далі, для рівняння (5) здійснимо його геометричне розщеплення таким чином:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \quad (7)$$

Розрахункова залежність (метод Річардсона) [5, 6] для визначення невідомого значення P на базі рівняння (6) має вигляд:

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + \Delta t \frac{P_{i+1,j}^n - P_{i,j}^n}{\Delta x^2} + \Delta t \frac{-P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{\Delta x^2}. \quad (8)$$

Розрахункова залежність (метод Річардсона) [5, 6] для визначення невідомого значення P на базі рівняння (7) має вигляд:

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + \Delta t \frac{P_{i,j+1}^n - P_{i,j}^n}{\Delta y^2} + \Delta t \frac{-P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{\Delta y^2}. \quad (9)$$

Оскільки ми вирішуємо еволюційне рівняння типу (6) або (7), то розрахунок за залежностями (8), (9) закінчується коли виконується умова:

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon, \quad (10)$$

де ε – мале число; n – номер ітерації.

В різницевому вигляді швидкість потоку розраховується так:

$$u = \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{\Delta x}, v = \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{\Delta y}.$$

Для чисельного рішення рівняння переносу (1) здійснимо його розщеплення за фізичними процесами так:

$$S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = S_{i,j}^n - \Delta t \frac{u_{i+1,j}^+ S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^n + S_{i+1,j}^n}{2\Delta x^2},$$

- на другому кроці різницева залежність має вигляд:

$$S_{i,j}^{n+1} = S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \frac{u_{i+1,j}^- S_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^- S_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+1} + S_{i+1,j}^{n+1}}{2\Delta x^2},$$

$$\text{де } u^+ = \frac{u+|u|}{2}, u^- = \frac{u-|u|}{2}.$$

Для чисельного інтегрування рівняння (13) використовується така двокрокова схема розщеплення:

$$S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = S_{i,j}^n - \Delta t \frac{v_{i,j+1}^+ S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - v_{i,j}^+ S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y^2} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^n + S_{i,j+1}^n}{2\Delta y^2},$$

- на другому кроці різницева залежність має вигляд:

$$S_{i,j}^{n+1} = S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \frac{v_{i,j+1}^- S_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- S_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+1} + S_{i,j+1}^{n+1}}{2\Delta y^2},$$

$$\text{де } v^+ = \frac{v+|v|}{2}, v^- = \frac{v-|v|}{2}.$$

Друге рівняння з системи (11) (рівняння дифузії) розщеплюється на два одновимірних рівняння таким чином:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right), \quad \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right). \quad (14)$$

Розрахункова залежність, за методом Річардсона, для визначення невідомого значення концентрації для першого рівняння цієї системи має вигляд:

$$C_{i,j}^{n+1} = C_{i,j}^n + \Delta t \frac{C_{i+1,j}^n - C_{i,j}^n}{\Delta x^2} + \Delta t \frac{-C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n}{\Delta x^2}.$$

Розрахункова залежність, за методом Річардсона, для визначення невідомого значення концентрації з другого рівняння системи (14) має вигляд:

$$C_{i,j}^{n+1} = C_{i,j}^n + \Delta t \frac{C_{i+1,j}^n - C_{i,j}^n}{\Delta y^2} + \Delta t \frac{-C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n}{\Delta y^2}.$$

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right); \\ \frac{\partial S}{\partial t} = \sum_{i=1}^N Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \end{cases} \quad (11)$$

Для рішення першого рівняння з даної системи (рівняння переносу за рахунок конвекції) виконаємо його геометричне розщеплення таким чином:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right); \quad (12)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right). \quad (13)$$

Для чисельного інтегрування (12) використовується двокрокова схема розщеплення:

- на першому кроці різницева залежність має вигляд:

$$S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = S_{i,j}^n - \Delta t \frac{u_{i+1,j}^+ S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^n + S_{i+1,j}^n}{2\Delta x^2},$$

- на першому кроці різницева залежність має вигляд:

$$S_{i,j}^{n+1} = S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \frac{u_{i+1,j}^- S_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^- S_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+1} + S_{i+1,j}^{n+1}}{2\Delta x^2},$$

- на першому кроці різницева залежність має вигляд:

$$S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = S_{i,j}^n - \Delta t \frac{v_{i,j+1}^+ S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - v_{i,j}^+ S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y^2} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^n + S_{i,j+1}^n}{2\Delta y^2},$$

- на другому кроці різницева залежність має вигляд:

$$S_{i,j}^{n+1} = S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \frac{v_{i,j+1}^- S_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- S_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+1} + S_{i,j+1}^{n+1}}{2\Delta y^2},$$

$$\text{де } v^+ = \frac{v+|v|}{2}, v^- = \frac{v-|v|}{2}.$$

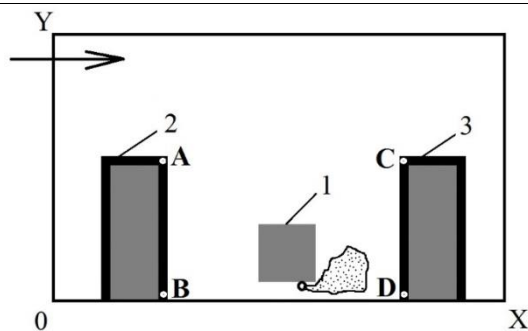
Для чисельного інтегрування останнього рівняння з системи (11) використовується метод Ейлера [6].

На базі розробленої чисельної моделі створено код «WALL-TX», мова програмування – FORTRAN.

Нижче представлено результати рішення задач по визначенню ефективності використання «TX Active» поверхні на будівлях для зменшення рівня хімічного забруднення в робочих зонах (рис. 1), швидкість повітря 6 м/с. В перерізі $x=11\text{м}$ знаходиться автомобіль. Розрахунок виконувався для таких сценаріїв:

1) немає «TX Active» поверхні на промислових будівлях, сценарій #1;

2) є «TX Active» поверхня на промислових будівлях (поверхні АВ, CD, рис.1), сценарій #2.



1 – місце емісії (автомобіль); 2, 3 – будинки; АВ, CD – «TX Active» поверхня
Рисунок 1 – Розрахункова область

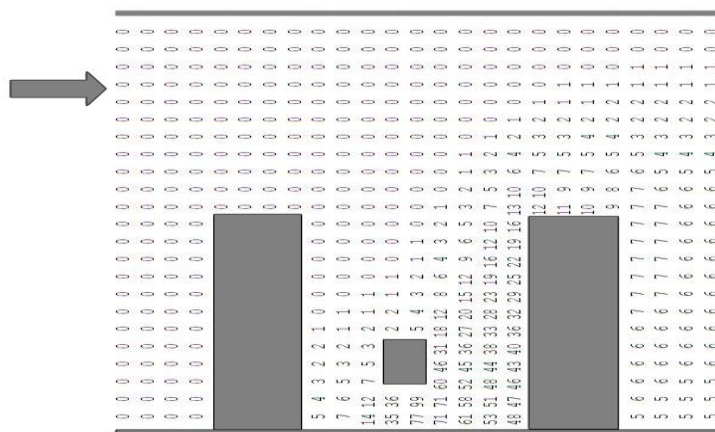


Рисунок 2 – Розподіл концентрації NO (немає «TX Active» поверхні)

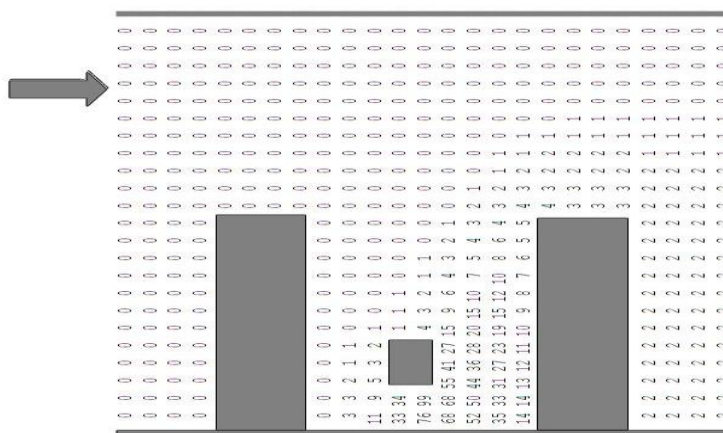


Рисунок 3 – Розподіл концентрації NO (є «TX Active» поверхня)

Слід відзначити, що для проведення системного аналізу впливу «TX Active» поверхні на зниження рівня забруднення повітря в робочих зонах, розрахункові дані представлено в форматі «INTENGER». Кожне число показує значення концентрації в відсотках від максимальної концентрації в розрахунковій області. Максимальна концентрація «99%» має місце біля автомобіля, де є викид забруднювача.

Аналіз концентраційних полів NO на рис.2, 3 показує, що при відсутності «TX Active» поверхні концентрація на поверхні другої будівлі змінюється від 48% до 16% (рис. 2). Біля першої будівлі, концентрація змінюється від 5% до 1%. Але, при використанні «TX Active» поверхні, концентрація

на поверхні другої будівлі змінюється від 14% до 5% (рис. 3). Біля першої будівлі – концентрація близька до «0». Таким чином, використання «TX Active» поверхні дозволяє зменшити рівень забруднення повітря в робочих зонах біля будівель.

Відзначимо, що час розрахунку – 7с.

Наукова новизна та практична цінність. Запропонована ефективна чисельна модель для експрес розрахунку процесу забруднення повітря в робочих зонах при використанні «TX Active» поверхні на стінках будівель. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння для потенціалу швидкості та рівняння масопереносу. Модель дозволяє швидко оцінювати вплив «TX Active» поверхонь на зниження концентрації забруднювача

та може бути використана на етапі ескізного проектування. В подальшому, слід розвивати даний напрям, створюючи 3D чисельну модель процесу, що досліджується.

Висновки. 1. На основі побудованої чисельної моделі розв'язано задачу по оцінюванню рівня забруднення повітря в робочих зонах біля будівель у випадку використання «TX Active» поверхонь.

2. Результати розрахунків показують, що використання «TX Active» поверхні дає можливість зменшити рівень забруднення повітря в робочих зонах, що розташовані біля цих поверхонь.

Список використаних джерел

1. Беляев Н.Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д. : «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
 2. Беляев Н.Н., Гунько Е.Ю., Кириченко П.С., Мунтян Л.Я. Оценка техногенного риска при эмиссии опасных веществ на железнодорожном транспорте / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. С. Кириченко, Л. Я. Мунтян. – Кривой Рог : Изд. Р. А. Козлов, 2017. – 127 с.
 3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л. Г. – Москва : Наука, 1978. – 735 с.

4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
 5. Роч П. Вычислительная гидродинамика / П.Роч.–М: Мир, 1980.– 616 с.
 6. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский.– Москва : Наука, 1983. –616 с.
 7. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.
 8. Biliaiev M. “Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography”, *Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer)*.2012, – P. 87-91.
 9. Heather Lee Dylla. Quantification of the environmental impact of titanium dioxide photocatalytic pavements for air pollution remediation //http://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_dissertations/2658
 10. Husken G., Brouwers H.J.H. Air purification by cementitious materials: Evaluation of air purifying properties. ICCBT 2008 – A – (24) – pp263 – 274
 11. Ingo During, W. Bachlin, M. Ketzler, A. Baum, U. Friedrich, S. Wurzler. A new simplified NO/NO2 conversion model under consideration of direct NO2-emissions// *Meteorologische Zeitschrift*, Volume 20, No. 1, 067-073, February 2011.- pp. 67-73.

УДК 621.311

Бурикін О.Б.

к.т.н., доцент

Винницький національний технічний університет

Малогоулко Ю.В.

к.т.н., доцент

Винницький національний технічний університет

Затхей М.В.

студент,

Винницький національний технічний університет

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ SMART METERING В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

O.B. Burykin

PhD, associate professor,

Vinnitsa National Technical University

Yu.V. Malohulko

PhD, associate professor,

Vinnitsa National Technical University

M.V. Zatkhei

student,

Vinnitsa National Technical University

THE APPLICATION OF SMART METERING DEVICES IN DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORKS

Summary. The availability of synchronized information about the measured operating parameters of the distribution electrical network makes it possible to determine the amount of electricity consumed by standard algebraic methods. However, often due to hardware or information failure, this data may not be available throughout the day or part of it. During measurements, as well as information transmission, the influence of electromagnetic interference, resynchronization, loss of individual information packets or targeted attacks on the information network by third parties in the form of manual or "viral" interference in the information system. Thus, a necessary condition for the information system functioning is the analysis of the obtained data, their verification