

Створена інформаційна технологія забезпечує побудову математичних моделей візуальних і функціональних складових інформаційних технологій і систем.

Побудована математична модель описує опрацювання формул алгебри алгоритмів.

Програмною реалізацією і апробацією виконано верифікацію побудованої математичної моделі інформаційної технології опрацювання формул алгоритмів.

1.Owsiak W., Owsiak A. *Rozszerzenie algebry algorytmów /Pomiary, automatyka, kontrola.* – 2010. – № 2. – S. 184 – 188. 2.Owsiak W., Owsiak A., Owsiak J. *Teoria algorytmów abstrakcyjnych i modelowanie matematyczne systemów informacyjnych.* – Opole: Politechnika opolska, 2005. – 275 s. 3.Ovsiyak V.K.: *Computation Models and Algebra of Algorithms.* [http://www.nbuu.gov.ua/Portal/natural/VNULP/ISM/2008\\_621/01.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/Portal/natural/VNULP/ISM/2008_621/01.pdf) 4.Овсяк О. *Класи інформаційної системи генерування коду /О. Овсяк // Вісник Тернопільського державного технічного університету: “Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя”.* – № 1, 2010. – С. 171 – 176. 5.Petzold C. *Programowanie Windows w języku C#.* –Warszawa: „RM”, 2002. – 1161 s. 6.Мэтью Мак-Дональд. *Windows presentation foundation в .NET 3.5 с примерами на C# 2008.* – М.–СПб.–К.: Apress, 2008. – 922 с.

УДК 622.691.4:622.692.4

Н. Притула<sup>1,2</sup>, М. Притула<sup>1,2</sup>, В. Ямнич<sup>2</sup>, А. Дацюк<sup>3</sup>, С. Гладун<sup>3</sup>, О.Химко<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я.С.Підстригача НАН України,  
<sup>2</sup>ТЗОВ “Математичний центр”,

<sup>3</sup>Об’єднане диспетчерське управління ДК „Укртрансгаз”,

<sup>4</sup>Національний університет “Львівська політехніка”

## ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ

© Притула Н., Притула М., Ямнич В., Дацюк А., Гладун С., Химко О., 2011

Проаналізовано проблему розрахунку теплового режиму транспортування газу для задач планування режимів роботи магістральних газопроводів та результати числових експериментів. Показано на реальних даних, що при плануванні режимів існуючі формули розрахунку параметрів стаціонарного температурного режиму транспортування газу вносять значну похибку. Для підвищення точності розрахунку запропоновано поправкові емпіричні коефіцієнти.

**Ключові слова:** тепловий режим, магістральний газопровід, газотранспортна система, компресорна станція, потенціал оптимізації.

The calculation problem of thermal conditions of gas transportation for tasks of working conditions of trunk gas pipelines planning is analyzed and shown in the results of numerical experiments. When planning the conditions the existing calculation formulae of stationary temperature conditions of gas transportation parameters cause a considerable error. It's shown on real data. In order to increase the calculation accuracy an empirical correction factors are suggested.

**Key words:** thermal conditions, trunk gas pipeline, gas-transport system, compressed air plant, optimization potential.

### Вступ

На компресорних станціях магістральних газопроводів після газоперекачувальних агрегатів (ГПА) встановлені апарати повітряного охолодження (АПО) газу. Вони використовуються переважно влітку для виконання технологічних умов (температура газу на виході із станції повинна бути нижчою за 40 °С). У холодну пору року вентилятори АПО відімкнені для економії електро-

енергії. Досягти максимального охолодження газу в теплообмінних апаратах, використовуючи АПО газу, можна саме при низьких температурах зовнішнього повітря, тому багато авторів [1–3] досліджували вплив процесу охолодження газу в АПО на енергетичну ефективність системи стиску, охолодження, транспортування газу трубопроводом та запропонували математичні моделі систем транспортування газу з охолодженням. Проте отримані результати (ефект від охолодження газу) часто недостатньо обґрунтовані.

Для оцінювання ефекту охолодження та часу входження процесу в стаціонарний температурний режим потрібно користуватися нестационарними моделями, бо на розподіл температури газу в трубопроводі істотно впливає існуюче температурне поле вздовж трубопроводу, яке змінюється повільно навіть за значних стрибків витрати та температури газу. Отже, для отримання ефекту від охолодження газу потрібен значний час.

Задачі планування режимів розв'язують за умов стаціонарності газових потоків. Вони вимагають ідентифікації параметрів моделей газових потоків, зокрема визначення коефіцієнта теплопровідності газ – зовнішнє середовище, який залежить від теплопровідності ґрунту (трубопроводи здебільшого прокладені на глибині 1.5 м), яка, своєю чергою, залежить від теплопровідності основної породи, складу ґрунту, розміру і розподілу гранул, густини сухої частини ґрунту його вологості (зміна вологості в межах 10% може змінити теплопровідність на 60% і більше), від інтенсивності теплового потоку в зовнішнє середовище. А розраховувати вказаний коефіцієнт пробують за кількома замірами температури газу на кінцях ділянки трубопроводу.

### Розрахунок розподілу температури газу на ділянці газопроводу

Тепловий режим транспортування газу формується на всьому шляху його руху. Він залежить від багатьох факторів – температури газу, який потрапляє в систему магістральних газопроводів, змінного температурного поля вздовж газопроводів, системи охолодження газу на компресорних станціях. Для розрахунку стаціонарного температурного поля відомі вирази [1–3], які дають можливість за параметрами газу на вході ділянки газопроводу розрахувати температуру газу на її виході.

При визначенні розподілу температури вздовж горизонтального трубопроводу, як правило, користуються формулою [2]:

$$t = t_r + (t_0 - t_r)e^{-ax} - D_i \frac{P_0 - P_k}{L} \frac{1 - e^{-ax}}{a}, \quad (1)$$

де

$$a = \frac{kpD}{Gc_p},$$

де позначено:  $t_0$  – температура газу на вході в трубопровід;  $t_r$  – температура ґрунту;  $D_i$  – коефіцієнт Джоуля – Ленца;  $c_p$  – коефіцієнт теплопередачі від газу до ґрунту;  $P_0, P_k$  – значення тиску на початку й в кінці газопроводу.

У формулі (1) останній доданок правої частини визначає ефект Джоуля – Томсона, тобто зниження температури при розширенні газу.

Формула (1) не враховує зміну температури за рахунок роботи, затраченої на протидію силі тертя. Якщо врахувати останню, то розподіл температури вздовж горизонтального трубопроводу визначається за формулою:

$$t = t_r + (t_0 - t_r)e^{-ax} - D_i \frac{\Delta P}{aL} (1 - e^{-ax}) + \frac{gi}{ac_p} (1 - e^{-ax}), \quad (2)$$

де

$$i = \frac{\Delta P}{g r_c L}, \quad \Delta P = P_0 - P_k.$$

З формули (2) випливає, що врахування роботи сили тертя приводить до підвищення температури. Показано [], що формула (2) дає значно точніші результати, ніж формула (1).

Середня температура для ділянки газопроводу визначається за формулою:

$$t_c = \frac{1}{L} \int_0^L t(x) dx. \quad (3)$$

Середнє значення температури за формулою (1) має вигляд:

$$t_{c,1} = t_r + (t_0 - t_r) \frac{(1 - e^{-aL})}{aL} - D_h \frac{\Delta P}{aL} \left(1 - \frac{(1 - e^{-aL})}{aL}\right), \quad (4)$$

а за формулою (2) –

$$t_{c,2} = t_r + (t_0 - t_r) \frac{(1 - e^{-aL})}{aL} - D_i \frac{\Delta P}{aL} \left(1 - \frac{(1 - e^{-aL})}{aL}\right) + \frac{gi}{ac_p} \left(1 - \frac{(1 - e^{-aL})}{aL}\right). \quad (5)$$

У цих формулах не враховано вплив на температуру газу перепаду висот – доданок  $-g \frac{\Delta h}{L} \frac{1 - e^{-ax}}{c_p a}$ , та зміни швидкості руху газу – доданок  $\frac{v_L - v_0}{aLc_p} \left[ \left( v_0 - \frac{v_L - v_0}{aL} \right) (1 - e^{-ax}) + \frac{(v_L - v_0)x}{L} \right]$ .

Перших два доданки – відома формула Шухова, яку використовують при розрахунку розподілу температури газу в трубах діаметром не більше 820 мм, третій доданок використовують вже для труб діаметром до 1220 мм, а четвертий – для труб 1420 мм.

Таблиця 1

**Значення середніх температур з врахуванням та без врахування сили тертя**

Температура газу на вході	Температура газу на виході (без врахування сил тертя)	Температура газу на виході (з врахуванням сил тертя)
0	3.498760751	5.663873694
10	6.578587019	8.721799228
20	9.62251656	11.74454456
30	12.63175577	14.73327506
40	15.60744191	17.68909024
45	17.08304045	19.15498147

### Розрахунок розподілу температури в системі газопроводів

Розрахунок температурного режиму пов'язаний з гідравлічним. В останні два – три цикли завершення гідравлічного розрахунку включається розрахунок розподілу температури газу. Числові експерименти підтверджують швидко збіжність температурно-гідравлічного розрахунку (достатньо трьох ітерацій для збіжності ітераційного процесу).

До системи розрахунку температурного поля системи газопроводів, крім розрахунку температури газу на виходах ділянок газопроводів, включено:

- розрахунок зміни температури на виході газоперекачувальних агрегатів (ГПА):

$$T_j = T_i \frac{z_i}{z_j} e^{(m-1)/m}, \quad (7)$$

(впливає з рівнянь політропного процесу  $P_j r_j^{-m} = P_i r_i^{-m}$  і рівняння стану реального газу  $P = z r R T$ , де  $T_j$  температура газу на виході нагнітача);

- розрахунок охолодження газу на АПО. Характеристики АПО пов'язані між собою співвідношенням:

$$\mathbf{j}(\mathbf{A}, T_i, T_j, t_p, Q, n_1, n_2) = 0, \quad (8)$$

де  $\mathbf{A}$  – вектор технічних і емпіричних параметрів АПО,  $T_i, T_j$  – температура газу на вході і виході АПО,  $t_p$  – температура повітря,  $Q$  – витрата газу через АПО,  $n_1$  – кількість секцій АПО,  $n_2$  – кількість працюючих вентиляторів, а вигляд функції  $\mathbf{j}$  наведено в [2];

- розрахунок температури газу в околі вершин графу системи магістральних газопроводів, степінь яких більша за одиницю:

рівняння балансу масової витрати для  $j$ -ї вершини графу:

$$\sum_i m_{ij} + \sum_k m_{jk} = 0, \quad j \in V; \quad (9)$$

рівняння теплового балансу для  $j$ -ї вершини графу:

$$T_j \sum_k q_{jk} - \sum_i q_{ij} T_i = 0, \quad j \in V; \quad (10)$$

рівняння стану суміші газу:

$$P \sum_k V_k = \sum_i x_i (PV)_i + \sum_j \sum_k x_j x_k F_{jk}(T, r), \quad PV = Rf(T, r), \quad (11)$$

де  $A_i (i = \overline{1,7})$  – набори відповідних коефіцієнтів, характеристик, обмежень тощо,  $j_i (i = \overline{1,10})$  – деякі функції, вибір яких залежить від моделі газового потоку для заданого об'єкта,  $Q_i^-$  – затрати паливного газу,  $x_i$  – мольні частки компонент газу,  $F_{ik}$  – функція взаємодії компонент газу.

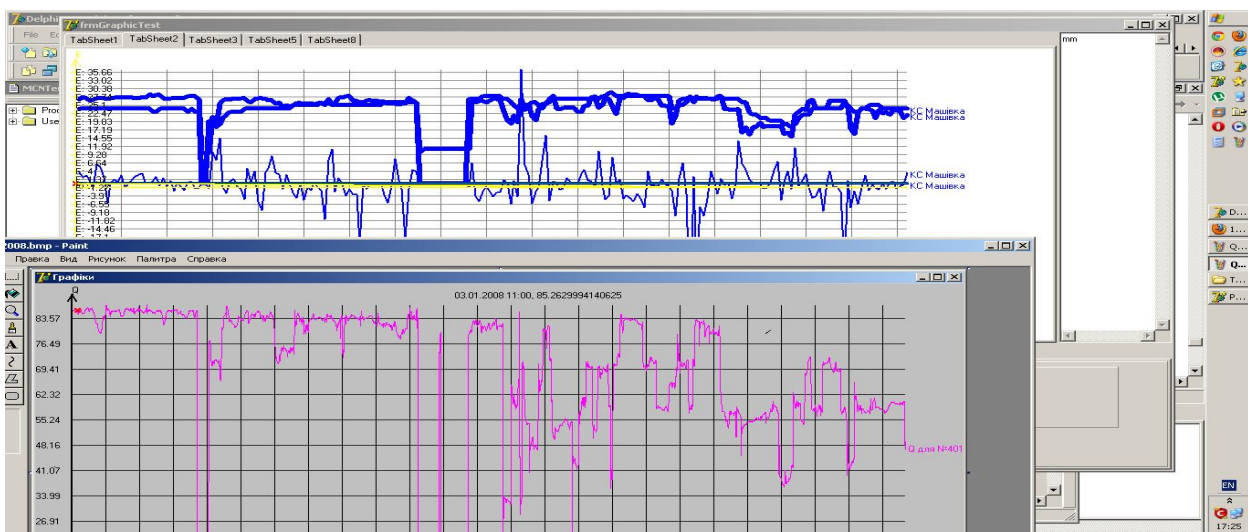
Виділимо основні проблеми при розрахунку розподілу температури газу в системі газопроводів:

- для розрахунку температури газу на виході ГПА слід попередньо знайти їхні реальні політропічні ККД у всій робочій області (для більшості ГПА відхилення паспортних політропічні ККД для номінальних параметрів роботи ГПА від реальних, особливо в правій половині робочої області, становить понад 20%);
- якщо на входи газотранспортної системи потрапляє газ, склад якого відрізняється незначно, то використання (11) неістотно впливає на уточнення розрахованих величин.

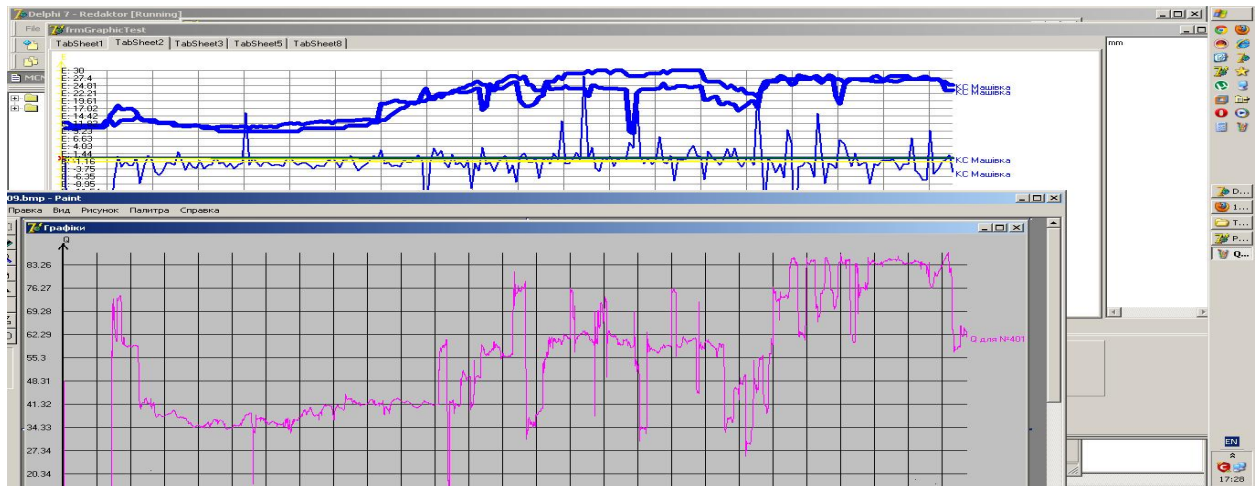
### Числові експерименти. Аналіз реальних замірених даних

Числові експерименти та аналіз реальних замірених даних показали:

- зміна температурного режиму транспортування газу істотно залежить від величини витрати газу;
- значні коливання температури повітря (понад 20 градусів) на поверхні ґрунту незначно впливають на температуру ґрунту на глибині її залягання (менше 0,1 градуса за добу), тому температура повітря майже не впливає на температурний режим транспортування газу (див. розрахунки в п.);



Екран 1. Розрахунок температури газу на виході ділянки газопроводу протягом 2008 року (верхні два "жирні" графіки – замірени та розраховані температури газу на виході ділянки газопроводу, нижній графік – витрата газу на ділянці газопроводу в млн. м куб. за добу протягом 2008 року)



Екран 2. Розрахунок розподілу температури газу вздовж ділянки газопроводу протягом 2009 року (верхні два “жирні” графіки – заміряні та розраховані температури газу на виході ділянки газопроводу, нижній графік – витрата газу на ділянці газопроводу, в млн. м куб. за добу)

- зміна витрати впливає на зміну температурного поля (час формування стаціонарного температурного поля – <1,5 місяця; вплив зміни витрати на зміну температуру газу на виході ділянки в перший тиждень майже невідчутний);
- коефіцієнт теплопровідності ґрунту є нелінійним і він істотно залежить від ґрунту (структури, складу та густини), вологості та масової витрати теплоносія (витрати газу).

**Аналіз проведених розрахунків показав:** встановлений в процесі обробки даних, коефіцієнт теплопровідності як функція витрати газу забезпечив збільшення точності розрахунку температури газу на виході ділянок газопроводу; для забезпечення максимальної точності розрахунку температури газу на виході ділянок газопроводу потрібно встановити функціональний зв’язок (як функція часу) між коефіцієнтом теплопровідності та витратою; встановлене відхилення (див. екран 2.) між розрахунковим та заміряними температурами може виникнути через неточність наявних даних (при високих температурах повітря та значних витратах газу вентилятори на АПО є мало-ефективними і температура газу на вході ділянки газопроводу була дещо більшою за нормативну, що не було зазначено в базі даних).

### Економія паливного газу від пониження температури газу

**Дослідження показують** (у випадку стаціонарного температурного поля): при температурі зовнішньої повітря близько 0<sup>0</sup>C при включених вентиляторах можна досягти збільшення тиску на вході наступної КС близько 2.5 атм., а при –20<sup>0</sup>C того самого ефекту можна досягти половиною включених вентиляторів, що дасть змогу істотно зменшити затрати паливного газу; при температурі навколишнього середовища 20<sup>0</sup>C і при переході з 50% на 60% знімання температурного напору на виході АПО (різниця між температурою газу на вході АПО і температурою навколишнього середовища) приводить до зменшення паливного газу на 4.4%; при температурі навколишнього середовища 20<sup>0</sup>C і переході з 50% на 60% знімання температурного напору на вході АПО приведе до споживання на АПО з 300 кВт до 960 кВт електроенергії.

### Про вплив зовнішнього середовища на зміну температури ґрунту

Температура ґрунту залежить від рівня його освітленості сонячними променями і для малих глибин (декілька метрів) від теплового потоку, направленою із земних глибин. Для однорідного ґрунту зміна температури ґрунту за одиницю часу описується з достатньою точністю рівнянням Фур’є:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_{gr} \Delta^2 T, \quad (12)$$

де  $a_{gr}$  – коефіцієнт теплопроводності ґрунту. Розглянемо його одномірний випадок

$$-\frac{\partial T}{\partial t} = a_{gr} \frac{\partial^2 T}{\partial h^2}. \quad (13)$$

Задамо добову зміну температури на поверхні ґрунту ( $h = 0$ ) такою формулою:

$$\Delta T_0 = \Delta T_{0s} \sin(2\pi t / 86400).$$

При заданих початкових значеннях рівняння (2) має розв'язок:

$$\Delta T_h = \Delta T_{0s} \exp(-h \sqrt{\frac{p}{86400 a_{gr}}}) \sin\left(\frac{2\pi t}{86400} - h \sqrt{\frac{p}{86400 a_{gr}}}\right). \quad (14)$$

Максимальне коливання температури на глибині  $h$  дорівнює:

$$\max \Delta T_h = \Delta T_{0s} \exp\left(-\sqrt{\frac{p h^2}{86400 a_{gr}}}\right) \quad (15)$$

Якщо  $a_{gr} = 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$  і  $h = 1 \text{ м}$ , то  $\max \Delta T_h \leq 0,1 \text{ м}$  при коливанні температури на поверхні землі в інтервалі [2,22] градусів Цельсія. Зсув фаз ( $\Delta t$ ) між коливанням температури на поверхні ґрунту і на глибині, наприклад 0,4 м, є близьким до 12 год. Така величина розраховується за формулою:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{86400 r^2}{4 p a_{gr}}}.$$

Бачимо, що значні коливання температури на поверхні ґрунту незначно впливають на температурне поле, яке створює газовий потік в трубі. Розглянемо коефіцієнт  $a_{gr} = \frac{l_{gr}}{c_{gr} r_{gr}}$ , де  $l_{gr}$  – коефіцієнт теплопроводності ґрунту,  $c_{gr}$  – питома теплоємність ґрунту,  $r_{gr}$  – густина ґрунту. Всі ці параметри істотно залежать від складу ґрунту, його структурних властивостей та вологості. Для ґрунту, суха частина якого складається із гранул двох фракцій: піску (розмір гранул 0,002–2 мм) та глини (розмір частинок менший за 0,002) цей коефіцієнт розраховується за формулою:

$$a_{grv} = \frac{a(\lg s_h + b)}{r_{gr}(c_{gr} + 41,9 s_v)} 10^c,$$

де  $a = 0,1424 - 0,000465 s_v$ ,  $b = 0,419 - 0,000313 s_v$ ,  $c = 6,24 \cdot 10^{-4} r_{gr}$ ,  $r_{grv} = r_{gr}(1 + 0,01 s_v)$ ,  $s_h$  – масова частка глини,  $s_v$  – об'ємна частка води яка віднесена до всієї сухої складової ґрунту.

Теплопроводність піску і глини зростає (нелінійно) із збільшенням вологості ґрунту. Коефіцієнт  $a_{gr}$  із зростанням вологості до 10% швидко росте і повільно зменшується із подальшим збільшенням вмісту води.

### Висновки

Результати роботи показують, що задачі планування режимів вимагають розрахунку нестационарного температурного поля вздовж ділянок газопроводів. Інакше неможливо розв'язати з потрібною точністю задачі ідентифікації параметрів моделей газових потоків у технологічних об'єктах та розподілу потоків газу в складних системах транспортування газу.

1. Панкратов В.С. Автоматизированная система диспетчерського управління ГТС / В.С. Панкратов, А.С. Вербіло. – М.: Изд-во ООО "ИРЦ Газпром", 2002. – 98 с. 2. Сарданашивили С. А. Расчетные методы и алгоритмы / С. А. Сарданашивили. – М.: Изд-во "Нефть и газ", 2005. – 577 с. 3. Притула Н.М. Розрахунок параметрів потокорозподілу газу в газотранспортній системі (стаціонарний випадок). Фізико - математичне моделювання та інформаційні технології. – 2007. – Вип. 5. – С. 146–155. 4. Притула Н.М. Задачі оптимізації потокорозподілу в газотранспортних

системах // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – Львів, 2007. – № 604. – С. 220–227. 5. Притула Н.М., Притула М.Г., П’янило Я.Д. Розрахунок усталеного руху газу в магістральних газопроводах // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – Львів, 2006. – № 565. – С. 270–274.

УДК 01.05.02; 05.13.06; 05.13.21

А. Ковальчук, Д. Пелешко, М. Навитка\*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних технологій видавничої справи,  
\*кафедра інформаційних систем і технологій

## ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНО-РІЗНИЦЕВИХ ОПЕРАЦІЙ У МОДИФІКАЦІЯХ АЛГОРИТМУ RSA

© Ковальчук А., Пелешко Д., Навитка М., 2011

**Запропоновано модифікації шифрування – дешифрування зображень у градаціях сірого, які ґрунтуються на використанні ідей базового алгоритму RSA з додатковим зашумленням зашифрованого зображення і без додаткового зашумлення.**

**Ключові слова:** зображення, зашумлення, алгоритм RSA, градації сірого.

**A modification of the encryption – decryption of images in grayscale, and are based on ideas using the basic algorithm of RSA, with additional noise encrypted image without any additional noise.**

**Keywords:** image, noise, the algorithm RSA, grayscale.

### Вступ

Зображення є одними із найбільш вживаних видів інформації в сучасному інформаційному суспільстві. Відповідно актуальною задачею є захист зображень від несанкціонованого доступу та використання.

Основним базисом для організації захисту зображення є таке припущення: зображення – це стохастичний сигнал. Але зображення є специфічним сигналом, який володіє разом із типовою інформативністю (інформативністю даних) ще й візуальною інформативністю.

Така інформативність з використанням сучасних методів обробки зображень дає можливість для організації несанкціонованого доступу. Реалізація атаки на зашифроване зображення можлива у двох варіантах: традиційним взломом методів шифрування або за допомогою методів візуальної обробки зображень (методи фільтрації, виділення контурів тощо). У зв’язку з цим до методів шифрування у випадку їх використання стосовно зображень висувається ще одне завдання – повна зашумленість зашифрованого зображення. Це потрібно для того, щоб унеможливити використання методів попередньої візуальної обробки зображень.

Проблема захисту від несанкціонованого доступу є складнішою порівняно з проблемою захисту використання. Основним базисом для організації захисту зображення є таке припущення: зображення – це стохастичний сигнал. Це спричиняє перенесення класичних методів шифрування сигналів на випадок зображень. Але зображення є специфічним сигналом, який має, крім типової інформативності (інформативності даних), ще й візуальну інформативність. А остання привносить в питання захисту нові задачі.

Алгоритм RSA є одним із найбільш уживаних промислових стандартів шифрування сигналів. Відносно зображення існують певні проблеми його шифрування, а саме частково зберігаються контури на різко флюктуційних зображеннях [4, 5].