

## ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ (КОНЦЕПТУАЛЬНЕ РІШЕННЯ)

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Метою роботи є пошук концептуального рішення інтегрованої системи управління (ІСУ) для промислового виробництва сірчаної кислоти, побудованої на основі комплексної системи автоматизації його основного технологічного процесу.*

**Ключові слова:** інтегрована система управління, автоматизована система управління технологічним процесом, сірчана кислота.

### **Abstract**

*The purpose of the work is the quest of a conceptual resolving of the integrated control system (ICS) for industrial production of the sulfuric acid constructed on the basis of complex system of automation of its core technological process.*

**Keywords:** integrated control system, automated control system by technological process, sulfuric acid

### **Вступ**

Економічною причиною інтеграції промислових систем управління є прагнення керівників підприємств шукати реальні додаткові джерела підвищення економічної ефективності виробничої діяльності підприємства. На кожному підприємстві такі джерела є, треба тільки вміти їх знайти, а для цього необхідно забезпечити збір, обробку і аналіз інформації оперативних даних з усіх технологічних і виробничих ділянок. Саме оперативної, а не в кінці зміни, робочого дня або місяця. Для того, щоб керувати собівартістю продукції треба поряд з інформацією про вартість сировини і робочої сили знати скільки сировини, електроенергії, пари, води і палива пішло на виготовлення кінцевої продукції.

Будь-яке промислове виробництво створюється на конкретному технологічному процесі (ТП), завдяки чому він вважається основним. Саме тому створення інтегрованих систем управління (ІСУ) таким промисловим виробництвом у першу чергу вимагає впровадження комплексної автоматизації його основного ТП [1]. Така комплексна автоматизація дозволяє значно зменшити вплив людського фактору на якісні показники як управління основним ТП, так і всім виробничим процесом, побудованим на його основі. В результаті система автоматизація основного ТП стає надійним фундаментом для подальшої побудови ІСУ всім виробництвом, яка об'єднує взаємопов'язані процеси виробництва, керуючи ними як єдиним цілим для досягнення поставлених перед виробництвом кількісних та якісних завдань.

Тому мета роботи є пошук концептуального рішення інтегрованої системи управління для промислового виробництва сірчаної кислоти, побудованої на основі комплексної системи автоматизації його основного ТП.

### **Результати дослідження**

При виробництві сірчаної кислоти контактним способом окислювання діоксиду сірки  $SO_2$  здійснюється у присутності каталізатора [2, 3]. Для цього газ приводять у зіткнення з каталізатором, що перебуває в стаціонарному або псевдо рідкому стані. Кількість окисленого  $SO_2$  виражають або в частках загального вмісту діоксиду сірки в газі, або у відсотках до загальної первісної кількості  $SO_2$  у газі. Цю величину називають ступенем перетворення, або ступенем окислювання. Ступінь

перетворення  $SO_2$ , що досягається на каталізаторі, залежить від його активності, складу газу, тривалості контакту газу з каталізатором, тиску, температури та ін. Експериментальним шляхом установили, що найкращим каталізатором для цього процесу є оксид ванадію  $V_2O_5$ .

На рис.1 представлена технологічна схема процесу контактного окислення діоксиду сірки. Алгоритм управління процесом оснований на аналізі поточних значень технологічних температур. Вимірювання температур здійснюється у трьох точках контактного апарату: на вході в контактний шар, усередині шару й на виході з нього. При відхиленні температури усередині контактного шару від заданого значення, викликаного зміною температури газу на вході в контактний шар, вентилем 3 регулюється подача газу до теплообмінника. Також вентилем 4 змінюється витрата холодного газу на вході до технологічного процесу, а, відповідно, і температура газу на вході в контактний апарат. Це приводить до попередньої компенсації збурювання технологічного процесу.

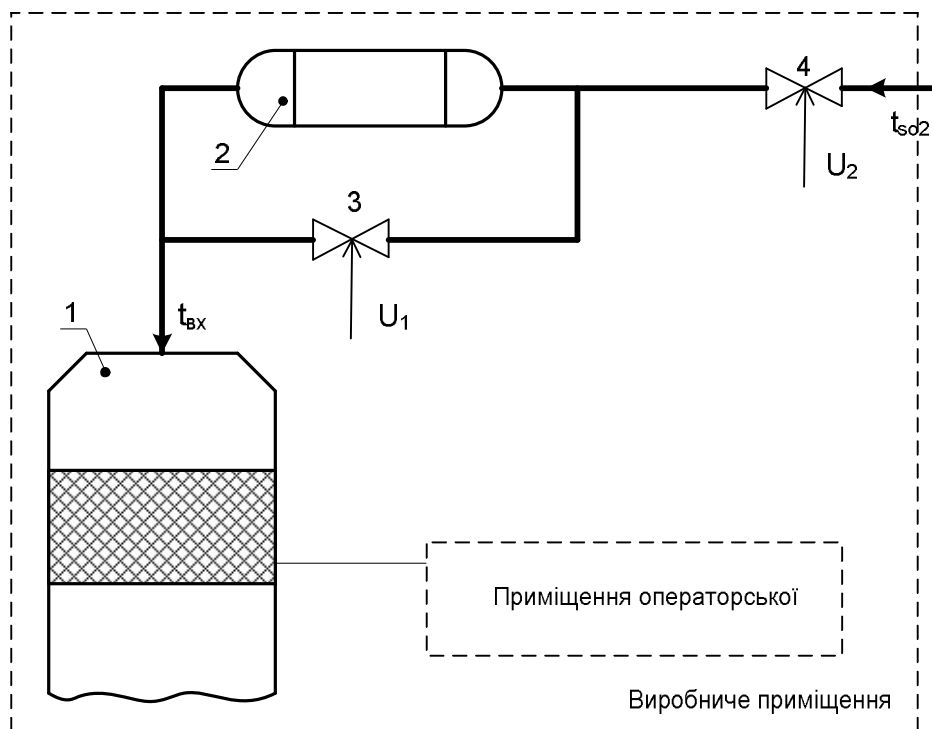


Рис. 1. Технологічна схема процесу контактного окислення діоксиду сірки (1 - контактний апарат; 2 - теплообмінник; 3,4 - регулювальні вентилі)

Введення в контур стабілізації температури на вході контактного апарату (через вентиль 3) корекції від концентрації діоксиду сірки у випалювальному газі на вході технологічного процесу дозволяє компенсувати вплив зміни концентрації діоксиду сірки. Описаний алгоритм управління технологічним процесом окислення діоксиду сірки забезпечує при значних коливаннях складу й навантаження випалювального газу збільшення загального ступеня контактування на 0,1-0,2%.

Аналіз типової автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП), дозволяє виявити цілий ряд їх недоліків [4]:

- похибки вимірювання параметрів технологічного процесу або їх складові (наприклад, ті, що обумовлені передаванням інформації на відстань) не відповідають сучасним вимогам по точності управління;

- моральна та фізична застарілість її засобів автоматизації, їх ремонт або дуже дорогий (виконується власними силами підприємства), або повністю неможливий (запчастини вже не виготовляються);

- низька надійність системи в цілому та окремих її засобів із-за їх застарілості призводить до того, що вони часто виходять з ладу, а це веде до простою технологічного обладнання на час

ремонту;

- контрольно-вимірювальні прилади розміщені на спеціальних щитах, вони мають низьку інформативну спроможність, розміщені у цеху в різних місцях, що не дозволяє диспетчеру швидко реагувати на їх сигнали;

- система не захищена від впливу електромагнітних полів технологічного устаткування та температури оточуючого середовища на передавання вимірювальних сигналів, що збільшує похибки вимірювання і керування;

- в системі важко налаштувати та регулювати апаратуру, бо типова система побудована на засобах з жорсткою логікою дії, а не за програмою, яку можна легко змінити (низька гнучкість системи управління);

- якість регулювання недостатня, бо не можна реалізувати складні алгоритми (нелінійні, адаптивні, статистичні, оптимальні тощо);

- типова система має низьку ефективність засобів комунікації, що не дозволяє відносити контрольно-вимірювальне обладнання на велику відстань (у спеціальну диспетчерську) та легко інтегрувати її в систему управління підприємством;

- вона не відповідає сучасним ергономічним умовам в плані інформативного забезпечення та якісної роботи диспетчера, немає ефективних засобів аварійної сигналізації;

- диспетчер повинен працювати у важких виробничих умовах, а не в окремому приміщенні диспетчерської;

- типова система управління технологічним процесом не формує автоматично документи та звіти за результатами своєї роботи;

- в системі повністю відсутні засоби розрахунку техніко-економічних показників процесу виробництва триоксиду сірки.

Проте мета роботи не полягає тільки у проектуванні більш досконалої такої АСУТП – треба спроектувати на основі рекомендацій діючих стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва [5] сучасну ІСУ хімічним виробництвом, яка включатиме в себе і більш досконалу цю АСУТП. Один із таких стандартів, що розроблений міжнародною асоціацією виробників систем управління виробництвом «MESA», фіксує оптимальний набір типових автоматизованих функцій для рівня управління виробництвом (АСУВ/MES) для підприємств всіх галузей промисловості дискретного, періодичного й безперервного типів [6].

Для подальшого проектування ІСУ була вибрана така автоматизована служба як виробнича служба управління неперервним (технологічним) виробництвом [7]. В цій автоматизованій службі повинні збиратися відомості, що визначають дотримання виробництвом існуючих нормативів робіт й відповідність його ходу заданим плановим завданням. Зокрема, для контролю виконання планових показників виробництва ця служба реалізує такі діяльності:

- облік сировинних компонентів, що надійшли, за заданий інтервал часу;

- облік всіх матеріальних потоків виробництва (сировинних компонентів, напівфабрикатів, готової продукції) в об'ємному й/або масовому обчисленні за заданий інтервал часу;

- визначення поточної продуктивності окремих технологічних агрегатів, цехів, усього виробництва (за останню зміну, за останню добу, з початку місяця);

- облік відвантаженої продукції за заданий інтервал часу;

- облік неякісних матеріальних ресурсів та браку за заданий інтервал часу.

- аналіз виконання співвідношення «план-факт» по виробництву в цілому й по окремих цехах на останню зміну й добу;

- прогнозування виконання місячного плану при поточних характеристиках сировинних компонентів, існуючих режимах роботи агрегатів, усталеній роботі встаткування й наявності на поточний момент масі наявних у сховищах різних ресурсів (сировинних компонентів, напівфабрикатів, готової продукції);

- облік переміщення матеріальних потоків по переділах виробництва за останню зміну й добу;

- наявність вільних ємностей у різних сховищах виробництва на поточний момент;

- вже виконувані й заплановані до кінця поточного місяця ремонти основного встаткування, що позначаються на продуктивності окремих цехів.

Для того, щоб здійснювати усі ці види діяльності, виробнича служба повинна взаємодіяти з іншими автоматизованими службами управління виробництвом. Ця інформаційна взаємодія описана

в діючих стандартах комп'ютерно-інтегрованого управління виробництвом, наприклад, у вигляді відповідних функціональних структур. Враховуючи ці рекомендації щодо побудови та реалізації раціональної ІСУ виробництвом, можна запропонувати відповідну загальну архітектуру нової ІСУ, яка матиме два рівні управління («АСУТП/SCADA» та «АСУВ/MES») та складатиметься з таких автоматизованих систем:

- АСУТП промислового виробництва сірчаної кислоти (рівень «АСУТП/SCADA»);
- спеціалізована автоматизована система (САС) вимірювання/контролю (рівень «АСУТП/SCADA»);
- інформаційна виробнича система (ІВС) (рівень «АСУВ/MES»);
- система автоматизованих служб управління виробництвом (рівень «АСУВ/MES»).

АСУТП здійснює усі функції щодо управління ТП в режимі реального часу, наприклад, збирає та зберігає відповідні цифрові дані про поточний стан та хід ТП. Усі ці дані зберігаються на локальному сервері даної системи, а частина з них через цифрову мережу підприємства передаються до глобального сервера ІВС. До цього ж сервера через ту ж саму мережу підприємства передаються і усі додаткові цифрові дані про стан та хід виробничого процесу (ВП), які збирає САС вимірювання/контролю. Введення САС до складу ІСУ пояснюється тим, що для реалізації управлінських функцій виробничими службами, як правило, недостатньо тих даних про ТП та ВП, які надає АСУТП. В ІВС здійснюється збирання, збереження та оброблення тих цифрових даних про стан та хід ВП, які потрібні для автоматизованої служби управління виробництвом. Передавання цифрових даних з глобального сервера ІВС до автоматизованої служби здійснюється або через загальну цифрову мережу підприємства, або, при необхідності, через інші канали передавання даних, наприклад, стільниковий зв'язок.

Опираючись на таке загальне бачення загальної архітектури нової ІСУ для промислового виробництва сірчаної кислоти, була розроблена концепція функціональної структури цієї інтегрованої системи управління (рис. 2). Функціональна структура поділена на ті ж самі складові частини, що і загальна архітектура ІСУ, всередині зображення кожної з цих складових частин перелічені їх основні автоматизовані функції, які ці складові частини повинні виконувати.

Згідно з цією архітектурою, на рівні «АСУВ/MES» при детальному календарному плануванні та оперативному управлінні виробництвом в рамках виробничої служби треба реалізувати:

- взаємодію з диспетчерською службою виробництва і на основі його агрегованої моделі виробляти графік роботи (детальний календарний план) основного цеху, тобто цеху, де реалізований основний ТП (стандартна функція «Детальне календарне планування», Detailed Production Scheduling);
- порівнювати фактичні показники виробництва з плановими (стандартна функція «Спостереження за виробництвом, Product Tracking and Genealogy»);
- отримувати та аналізувати оперативні дані про доступні на момент складання детального календарного плану виробничі ресурси від служб, які реалізують різні складові стандартної функції «Контроль стану та розподіл виробничих ресурсів, Resource Allocation and Status», а також дані про заплановані на інтервал планування поставки відповідних ресурсів;
- отримувати від інформаційної виробничої системи (ІВС) оперативні дані про хід виконання запланованих робіт технологічними/технічними процесами основного цеху, аналізувати ці дані та формувати відповідні оперативні звіти (стандартна функція «Спостереження за виробництвом, Product Tracking and Genealogy»);
- у взаємодії з диспетчерською службою виробництва здійснювати з залученням агрегованої моделі виробництва оперативну корекцію детального календарного плану основного цеху при виникненні нештатних/аварійних ситуацій, що призвели до зриву виконання запланованих графіків робіт.

В рамках диспетчерської служби: формувати виробничі завдання для окремих переділів основного цеху, виходячи з отриманого від виробничої служби детального календарного плану (стандартна функція «Диспетчерування виробництва, Production Dispatching»; на основі детальної імітаційної моделі виробничого процесу основного цеху визначати графіки роботи його окремих агрегатів/апаратів й переміщень всіх видів матеріальних ресурсів, які максимально задовольняють виробничим завданням для окремих переділів основного цеху (стандартна функція «Управління виробничими процесами», Process Management); надсилання сформованих графіків роботи до

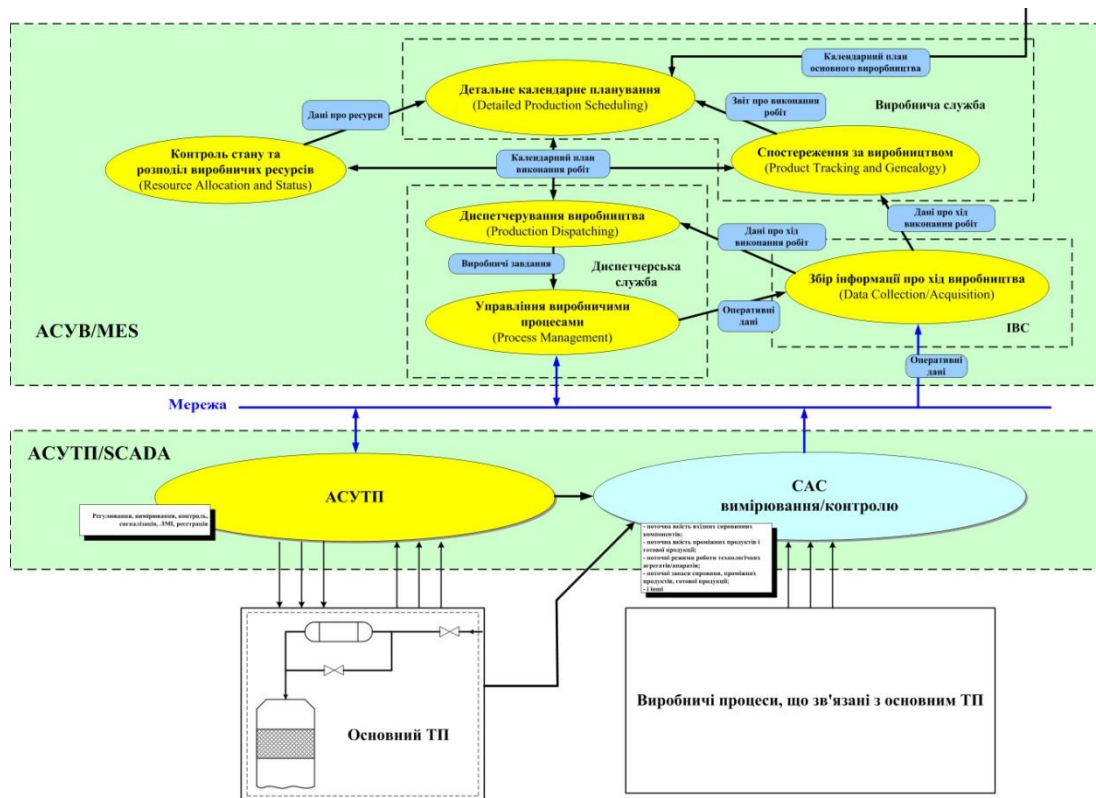


Рис. 2. Концептуальне рішення функціональної структури ІСУ для промислового виробництва сірчаної кислоти

автоматизованих систем управління нижнього рівня (АСУТП/SCADA) для їх виконання технологічними/технічними процесами; отримання оперативних даних від систем управління нижнього рівня (АСУТП/SCADA) про хід виконання надісланих графіків роботи технологічних/технічних процесів; передавання всіх отриманих оперативних даних про хід технологічних/технічних процесів до інформаційної виробничої системи (ІВС), яка виконує стандартну функцію «Збір інформації про хід виробництва, Data Collection/Acquisition» та слугує інформаційною платформою для реалізації всіх автоматизованих функцій рівня «АСУВ/MES» ІСУ для промислового виробництва сірчаної кислоти.

В рамках інформаційної платформи рівня «АСУВ/MES» нової ІСУ: збирання усіх оперативних даних про хід виконання графіків роботи технологічних/технічних процесів основного цеху; збирання оперативних даних про кількісні показники роботи технологічних/технічних процесів основного цеху; зберігання зібраних оперативних даних; передавання зібраних оперативних даних про хід виконання запланованих робіт до автоматизованих функцій, що їх потребують, а саме, до стандартної функції «Диспетчерування виробництва, Production Dispatching» диспетчерської служби та до стандартної функції «Спостереження за виробництвом, Product Tracking and Genealogy» виробничої служби.

Таким чином, в рамках інформаційної платформи (ІВС) рівня «АСУВ/MES» у проєктованій системі необхідно здійснювати збирання таких даних: по поточній якості вхідних сировинних компонентів, що надходять; по поточній якості одержуваних на основному виробництві проміжних продуктів і готової продукції; по залежностям кількості і якості продукції, що випускається окремими агрегатами/апаратами основного виробництва, від їх завантаження, від споживання різних видів енергоресурсів при поточному стані їхнього встаткування; по поточним режимам роботи технологічних агрегатів/апаратів (значення температур, витрат, тисків і інших режимних показників) основного виробництва і по залежностям коефіцієнтів відбору продуктів від режимних показників; по запасам сировини, проміжних продуктів, готової продукції (залишки в сховищах), що фіксуються на момент складання плану; по співвідношенню «план-факт» по окремих переділах і виробництву в цілому, що спостерігаються на поточний момент часу.

Система «САС вимірювання/контролю» повинна здійснювати такі автоматичні/автоматизовані функції: вимірювання/контроль поточної якості вхідних сировинних компонентів, що надходять; вимірювання/контроль поточної якості одержуваних на виробництві проміжних продуктів і готової продукції; вимірювання/контроль кількості/якості продукції, що випускається окремими агрегатами/апаратами основного ТП, при поточному їх завантаженні, споживанні різних видів енергоресурсів та стані їхнього встаткування; вимірювання/контроль поточних режимів роботи технологічних агрегатів/апаратів основного ТП, які не обробляються в системі «АСУТП»; вимірювання/контроль запасів сировини, проміжних продуктів й готової продукції, що фіксуються на момент складання плану (наявні залишки у виробничих сховищах); контроль співвідношення «план-факт» по окремих переділах основного цеху і його виробництву в цілому, що спостерігаються на поточний момент часу.

### Висновки

В результаті виконання даної роботи була розроблена на основі рекомендацій діючих стандартів концепція функціональної структури нової інтегрованої системи управління для промислового виробництва сірчаної кислоти. Ця система у порівнянні з існуючими аналогічними системами дозволяє не тільки управляти технологічним процесом, але і виконувати кілька функцій управління всім виробництвом в цілому.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Olsson, G., Piany, J.. Computer systems for automation and control [Електронний ресурс] / URL : <http://www.philadelphia.edu.jo/newlibrary/pdf/file095f62f119bb471591fd8f273ac06353.pdf>.
2. Производство серной кислоты контактным способом: Электронный учебник по химии [Електронний ресурс] / URL : <http://www.alhimikov.net/elektronbuch/kislota.html>.
3. В.Н. Ткаченко, Н.Н. Чернышев. Разработка и исследование математической модели технологического процесса производства серной кислоты// Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – Вип. 148. – С.22-29 [Електронний ресурс] / URL : [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Npdntu/ota/2009\\_17/VT\\_i\\_avt%5C1\\_03\\_Tkachenko\\_Chernishov.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Npdntu/ota/2009_17/VT_i_avt%5C1_03_Tkachenko_Chernishov.pdf).
4. Бобух А.О.. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с
5. Пупена О., Ельперін І., Міркевич Р. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва// Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - Т.8. - №3. – 2016.
6. MESA Model: A Framework for Smarter Manufacturing [Електронний ресурс] / URL : <https://mesa.org/topics-resources/mesa-model/>.
7. Itskovich Emmanuil. Fundamentals of Design and Operation of Manufacturing Execution Systems (MES) in Large Plants [Електронний ресурс]/ URL: <https://dplp.org/rec/conf/mim/Itskovich13.bib>.

**Нікітін Тимофій Васильович** - студент групи АКІТ-21мс, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [2nikitin67@gmail.com](mailto:2nikitin67@gmail.com);

**Кветний Роман Наугович** - докт. техн. наук, професор кафедри АІТ, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [rkvetny@sprava.net](mailto:rkvetny@sprava.net);

**Папінов Володимир Миколайович** - канд. техн. наук, професор кафедри АІТ, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vnpapinov@gmail.com](mailto:vnpapinov@gmail.com);

**Nikitin Tymofij V.** – student of AKIT-21ms group, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, email: [2nikitin67@gmail.com](mailto:2nikitin67@gmail.com);

**Kvetnyy Roman N.** - D., Professor of department of automation and intelligent information technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, e-mail: [rkvetny@sprava.net](mailto:rkvetny@sprava.net);

**Papinov Volodymyr M.** - Ph. D., Professor of department of automation and intelligent information technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, e-mail: [vnpapinov@gmail.com](mailto:vnpapinov@gmail.com).