

УДК 004.942

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.1.4>

**Юлія КАЗИМИРЕНКО**

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних управляючих систем і технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, пр-т Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, індекс 54025 (u.a.kazimirenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-7120-8226

**Ігор МИХЕЛЄВ**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем і технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, пр-т Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, індекс 54025 (mihelevigor@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9579-6547

**Микола МАТВЄЄВ**

Провідний інженер-конструктор, ДПНВКГ «Зоря»-«Машпроект», м. Миколаїв, Україна, індекс 54018 (mnasoft@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-8221-1693

**Yuliia KAZYMYRENKO**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Department of Information Control Systems and Technologies Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 9, Heroes of Ukraine ave., Mykolaiv, Ukraine, postal code 54025 (u.a.kazimirenko@gmail.com)

**Igor MYKHELIEV**

Ph.D., Head of Department of Information Management Systems and Technologies Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 9, Heroes of Ukraine ave., Mykolaiv, Ukraine, postal code 54025 (mihelevigor@gmail.com)

**Mykola MATVYEYEV**

Lead of Team Engineer of GTR&DC «Zorya»-«Mashproekt», Mykolaiv, Ukraine; postal code 54018 (mnasoft@gmail.com)

**Бібліографічний опис статті:** Казимиренко, Ю., Михелєв, І., Матвєєв, М. (2023). Систематизація та візуалізація експериментальних випробувань газотурбінних камер згоряння у середовищі Common Lisp. *Інформаційні технології та суспільство*. Вип. 1 (7), 29–35. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.1.4>

**Bibliographic description of the article:** Kazymyrenko, Yu., Mikheliev, I., Matvyeyev, M. (2023). Systematyzatsiia ta vizualizatsiia eksperymentalnykh vyprobuvan hazoturbinykh kamer zghoriannia u sere dovys hchi Common Lisp [Systematization and visualization of experimental tests of gas turbine combustion chambers in the Common Lisp environment]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 1 (7), 29–35. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.1.4>

**СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ  
ГАЗОТУРБІННИХ КАМЕР ЗГОРЯННЯ У СЕРЕДОВИЩІ COMMON LISP**

Стаття присвячена вирішенню важливої науково-технічної **проблеми** створення нових моделей візуалізації розрахункових та експериментальних даних для енергетичного машинобудування. **Мета роботи** полягатиме у розробці науково-методичного підґрунтя з програмним забезпеченням для візуалізації вимірювань температур при випробуваннях газотурбінних камер згоряння та його адаптацією для постановки і розв'язання ситуаційних завдань у навчальному процесі вишу. **Методи дослідження.** В основу геометричної інтерпретації формування масиву даних покладено модель елементарної комірки; алгоритм побудови двовимірної поверхні розподілу температурних полів з ефектом згладжування складено методом Гауса. Для реалізації алгоритму розроблено програмне забезпечення на мові Common Lisp; проєкт інформаційної системи представлено у вигляді сукупності графів; вивід результатів обчислень здійснюється за допомогою графічної програми Gnuplot. Методом SWOT-аналізу досліджено доцільність використання розробки у навчальному процесі студентів із застосуванням кейс-методології. **Наукове значення** одержаних результатів полягають у розробці науково-методичного підґрунтя алгоритмічної автоматизації візуалізації результатів стендових випробувань газотурбінних камер згоряння. Результати досліджень впроваджено на виробництві та планується використати у наукових дослідженнях і навчальному процесі. **Висновки.** Для енергетичного машинобудування проаналізовано сучасний стан обробки експериментальних результатів з візуалізацією даних; визначена необхідність розробки програмного забезпечення з використанням середовища,

доступного для кола інженерів-конструкторів. Розроблене програмне забезпечення реалізує функції вибірки даних, їх осереднення, відсіву недійсних значень, відновлення значень у відокремлених точках з побудовою функції осереднення за методом Гауса та можливістю корегування даних у ручному режимі. Проект інформаційної системи містить сукупність графів: орієнтований *System-graph* описує залежність системи температурного поля від її складових систем. Розглянуто можливість застосування реальної практичної ситуації на машинобудівному підприємстві та у кейс-технологіях навчального процесу.

**Ключові слова:** модель елементарної комірки, Common Lisp, інформаційні технології, програмне забезпечення, кейс-метод, енергетичне машинобудування.

## SYSTEMATIZATION AND VISUALIZATION OF EXPERIMENTAL TESTS OF GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBERS IN THE COMMON LISP ENVIRONMENT

The article is devoted to the solution of an important scientific and technical **problem** of creating new visualization models of calculated and experimental data for power engineering. The **purpose of the work** will be the development of a scientific and methodological basis with software for visualization of temperature measurements during tests of gas turbine combustion chambers and its adaptation for setting and solving situational tasks in the educational process of higher education. **Research methods.** The geometric interpretation of the formation of the data array is based on the elementary cell model; the algorithm for constructing a two-dimensional surface of the distribution of temperature fields with a smoothing effect was made by the Gaussian method. Software in the Common Lisp language was developed to implement the algorithm; the information system project is presented in the form of a set of graphs; calculation results are displayed using the Gnuplot graphic program. Using the method of SWOT analysis, the expediency of using development in the educational process of students with the use of case methodology was investigated. **The scientific value** of the obtained results lies in the development of a scientific and methodological basis for the algorithmic automation of visualization of the results of bench tests of gas turbine combustion chambers. The research results have been implemented in production and are planned to be used in scientific research and the educational process. **Conclusions.** For power engineering, the current state of experimental results processing with data visualization was analyzed; the need to develop software using an environment accessible to a circle of design engineers is determined. The developed software implements the functions of data sampling, averaging, filtering out invalid values, restoring values at isolated points with the construction of Gaussian averaging functions and the possibility of manual data correction. The information system project contains a set of graphs: oriented *System-graph* describes the dependence of the temperature field system on its component systems. The possibility of applying a real practical situation at a machine-building enterprise and in case technologies of the educational process is considered.

**Key words:** unit cell model, Common Lisp, information technology, software, case method, power engineering.

**Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями.** Підготовка висококваліфікованих інженерних кадрів з технічних спеціальностей безпосередньо пов'язана зі вмінням ставити і розв'язувати вузькоспеціалізовані та міждисциплінарні задачі з використанням сучасних інформаційних технологій і методів системного аналізу. Проектування та експлуатація об'єктів енергетичного машинобудування (газотурбінних двигунів, двигунів внутрішнього згоряння, холодильних машин і установок, систем кондиціонування та життєзабезпечення тощо) вимагатиме кваліфікованої обробки багатовимірних даних з наочним поданням теоретичних та експериментальних результатів. Так, проектування газотурбінних камер згоряння можна розглядати як задачу з ознаками складної технічної системи [1, с. 180-184], де одночасно враховуються складні фізико-хімічні процеси сумішоутворення, аеродинаміки, згоряння, тепло- і масообміну. Тому побудова моделей графічної візуалізації і кореляція оброблених розрахункових та експериментальних даних є важливою науково-технічною проблемою, практична реалізація якої вимагатиме розробки програмного забезпечення з використанням середовища, доступного для кола інженерів-конструкторів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У науково-практичних публікаціях недостатньо уваги приділяється розробці нових методів візуалізації зображень розрахункових і експериментальних даних для об'єктів енергомашинобудування. Це пов'язано з інерційністю використання для вирішення інженерних задач традиційних *CFD*-пакетів як це показано в роботах [2, с. 27-33] і [3, с. 180-184]. Їх зручність обумовлена сприятливою для користувача кольоровою гамою, формування якої відбувається за генним принципом. Проте побудований таким чином числовий експеримент може застосовуватися лише на етапі конструкторської проробки проекту. Розвиток методів імітаційного моделювання з обробкою існуючих числових даних не можливий без застосування якісного інструментарію, якими є пакетні програми, такі як *MATLAB*. Перевага їх використання ґрунтується на побудові спеціальних та узагальнених сигнальних графів з визначеним напрямом потоків і мінімізацією кількості значень параметрів, як це показано у роботі [4, с. 75-82]. Такий підхід передбачає міждисциплінарність досліджень, характеризується доступністю та наочністю результатів, проте має складності з математичним описом специфіки фізико-хімічних процесів, які повинні враховуватися при проектуванні газотурбінних камер згоряння. Проблемним питанням є обробка результатів стендових випробувань камер згоряння та їх складових частин на натурних та (або) змодельованих режимах роботи, під час яких вимірюються температурні параметри.

**Мета роботи** полягатиме у розробці науково-методичного підґрунтя з програмним забезпеченням для візуалізації вимірювань температур при випробуваннях газотурбінних камер згоряння та його адаптацією для постановки і розв'язання ситуаційних завдань у навчальному процесі вишу.

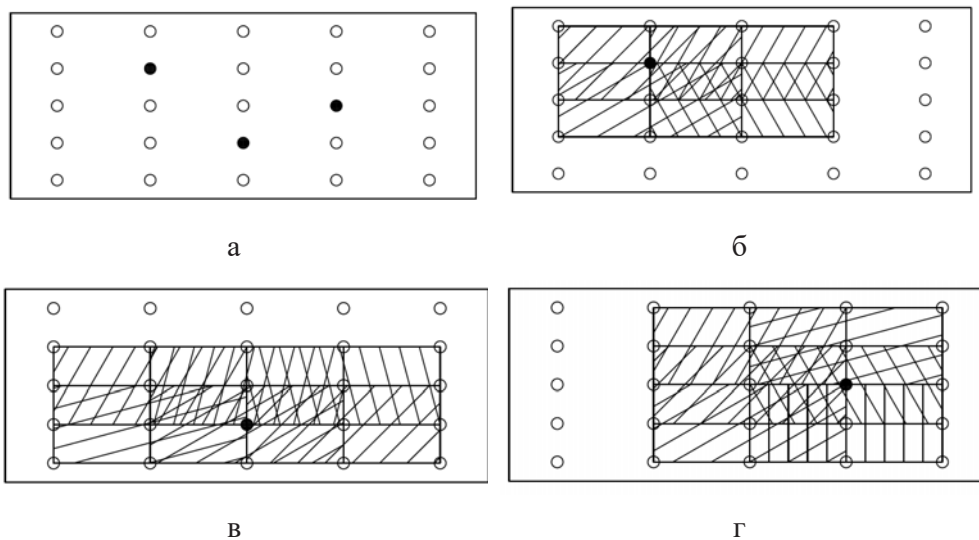
**Виклад основного матеріалу.** Науково-методичним підґрунтям для досліджень є науково-практичні напрацювання з математичного забезпечення процесу візуалізації даних, поданих у вигляді графів у середовищі відкритих систем [5, с. 18–33]; основні положення комп'ютерної алгебри з їх інтеграцією у хмарні технології [6, с. 320–326]; власні напрацювання авторів з визначеної проблематики [7, с. 36–41]. Методологія дослідження наведена у табл. 1.

Таблиця 1

**Методологія дослідження**

Метод	Можливості і реалізація методу
Модель елементарної комірки [8, с. 81–89]	Застосовується для геометричної інтерпретації формування масиву даних з вимірених значень температур
Алгоритм обробки результатів експериментальних досліджень [7, с. 36–41]	Полягає у постановці експериментальних досліджень температур у секторі кільцевої камери згоряння, фіксації значень температур продуктів згоряння у реперних точках, відбракуванні даних з вибірки за критерієм Грубса, обробці результатів методом найменших квадратів з математичним моделюванням температурних полів та згладжуванням поверхні за методом Гауса
Мова програмування <i>Common Lisp</i> [9, с. 47–51]	Застосовуються для написання програмних кодів у наукових дослідженнях та при розв'язанні інженерних задач. Поставлену задачу можна розглядати як підхід «від даних до написання коду».
Графічна програма <i>Gnuplot</i> [8, с. 81–89]	<i>Gnuplot</i> має власну систему команд, може працювати інтерактивно та в режимі командної стрічки. Утиліта є зручною для візуалізації та глибокого аналізу різних наукових даних
Скінченноелементне програмне забезпечення [10, с. 165–191]	Поширене застосування для розробки програмного забезпечення для розв'язання інженерних задач з теплофізики
SWOT-аналіз [11, с. 281–285]	Застосовується як інструмент стратегічного управління для комплексної систематизації і оцінки факторів розвитку проектів, зокрема для системно-аналітичного дослідження ситуації розробки ситуаційних завдань
Кейс-метод (Case-metod) [12, с. 39–43]	Техніка навчання, яка використовує реальні ситуації щодо виробничих проблем та ініціює роботу з Замовником

Моделювання процесу оброблення результатів вимірювань показано на прикладі елементарної комірки, у межах якої обирається три точки (рис. 1а). Навколо кожної точки яких формуються прямокутники розміром 3×3 комірки, які й складають елементарну комірку. Послідовність обробки результатів відповідно у точках 1, 2, 3 графічно зображена на рис. 1б – рис. 1г.



**Рис. 1. Моделювання процесу оброблення результатів вимірювань у межах елементарної комірки**

Алгоритм побудови двовимірної поверхні розподілу температурних полів з ефектом згладжування складено на підставі формул Гауса і наведено у табл. 2. У таблиці також розкрито функції і можливості користувача.

Таблиця 2

**Алгоритм побудови двовимірної поверхні розподілу температурних полів, функції і можливості користувача**

Робочі етапи	Сутність процесу
Розрахунок значень температури	$z = \frac{\sum_i \omega(d_i) \cdot z_i}{\sum_i \omega(d_i)}$ де $z$ – значення температури; $d_i$ – відстань до точки
Визначення відстані до точки	$z = \frac{\sum_i \omega(d_i) \cdot z_i}{\sum_i \omega(d_i)}$ де $x$ – базова відстань
Функціональна залежність	$\omega(d) = \exp(-d^2)$
Функції користувача	Виконує роботу по занесенню значень вимірювань, створює та редагує данні, виконує розрахунки, будує ізотерми розподілу температурних полів
Можливості користувача	Автоматичний вибір показників – дає змогу вибору потрібних показників (з серії вибірки) Ручне коригування даних – надає можливості вручну здійснювати корегування експериментальних даних та роботи перевірку отриманих результатів Редагування інформації – визначає можливості побудови поверхні розподілу температур

Для роботи алгоритму розроблено програмне забезпечення на мові *Common Lisp*, яке реалізує функції вибірки даних, їх осереднення, відсіву недійсних значень, відновлення значень у відокремлених точках з побудовою функцій осереднення за методом Гауса та можливістю корегування даних у ручному режимі. Проєкт інформаційної системи реалізовано у вигляді сукупності графів. Орієнтований *System-graph* (рис. 2) описує залежність системи температурного поля *TEMPERATURE-FILD* від її складових систем.

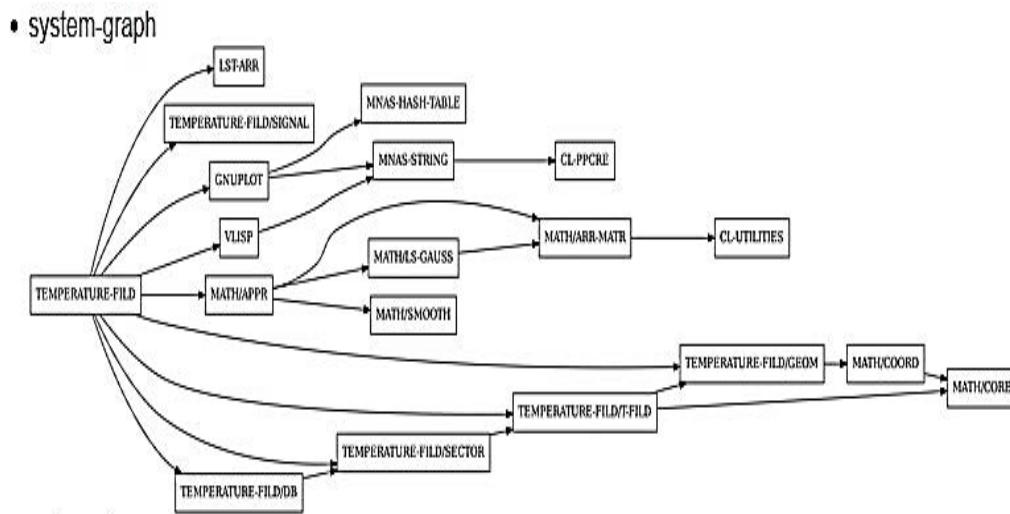
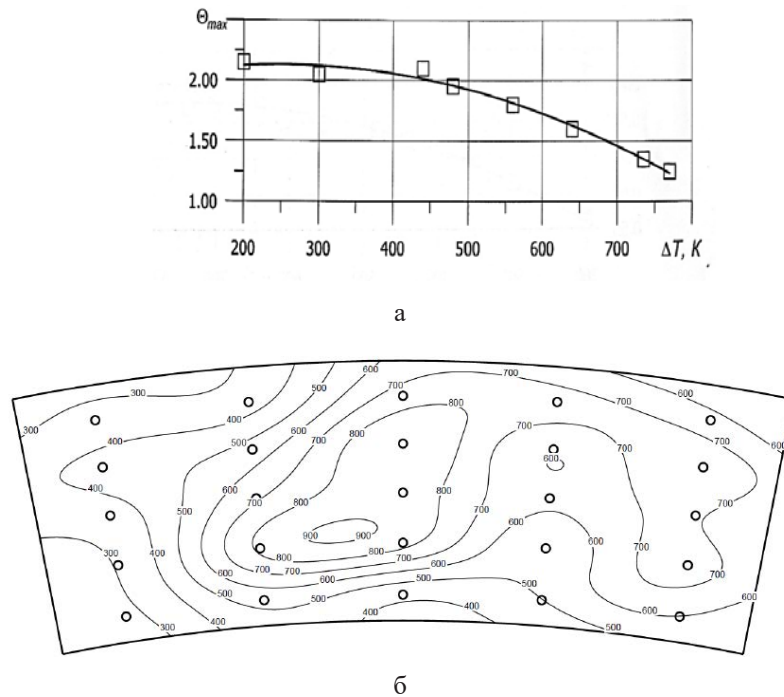


Рис. 2. System-graph

Система містить пакети, функції, методи, класи. Вивід результатів обчислень здійснюється за допомогою графічної програми *Gnuplot*; вбудована скриптова мова дає змогу гнучко задавати різні параметри візуалізації.

Удосконалення процесу обробки даних в результаті впровадження розробленого програмного забезпечення можна спостерігати на рис. 3, де наведено результати візуалізації даних вимірювання температурних полів до впровадження розробленого програмного забезпечення (рис. 3а) у робочій процес і під час його застосування (рис. 3б).





**Рис. 3. Приклади оформлення температурних параметрів нерівномірності температурного поля продуктів згоряння**

Наукове значення одержаних результатів полягають у розробці науково-методичного підґрунтя алгоритмічної автоматизації візуалізації результатів стендових випробувань газотурбінних камер згоряння.

Практична цінність включає у себе розробку спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого на мові *Common Lisp*; результати роботи впроваджено у конструкторському відділенні ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» та можуть бути цікавими для постановки і розв’язання ситуаційних завдань у навчальному процесі вишів. В табл. 3 за допомогою SWOT-аналізу розглянуто можливість застосування реальної практичної ситуації на машинобудівному підприємстві у кейс-технологіях навчального процесу. За характерними ознаками [12, с. 39-43] цей кейс (ситуаційне завдання) матиме чітко виражені мету, вирішуватиме певну виробничу ситуацію з необхідністю розробки інформаційної системи та програмного забезпечення.

Таблиця 3

**SWOT-аналіз ситуації**

<b>Сильні сторони (Strengths)</b>	<b>Слабкі сторони (Weakness)</b>
1. Опанування знаннями з незнайомої предметної області 2. Розгляд певної робочої ситуації на підприємстві 3. Можливість творчої реалізації з майбутнім працевлаштуванням	1. Перенасиченість даними 2. Складність у відокремленні проблеми 3. Обмеженість інформації
<b>Можливості розвитку (Opportunities)</b>	<b>Загрози (Threats)</b>
1. Набуття навичок практичного досвіду 2. Реалізація у змішаних формах освітньої діяльності 3. Професійний розвиток студента як фахівця	1. Скорочення обсягів проробки наукової і фахової літератури 2. Поява помилок через некомпетентність і брак часу 3. Вплив рівня складності

Результати досліджень планується використовувати для постановки наукових досліджень та у навчальному процесі Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, зокрема при викладанні авторського вибіркового курсу «Прикладний системний аналіз в транспортних технологіях, енергетиці, судно- та машинобудуванні».

**Висновки.** Для енергетичного машинобудування проаналізовано сучасний стан обробки експериментальних результатів з візуалізацією даних; визначена необхідність розробки програмного забезпечення з використанням середовища, доступного для кола інженерів-конструкторів.

Розроблене мовою *Common Lisp* програмне забезпечення реалізує функції вибірки даних, їх осереднення, відсіву недійсних значень, відновлення значень у відокремлених точках з побудовою функцій осереднення за методом Гауса та можливістю корегування даних у ручному режимі. Проєкт інформаційної системи містить сукупність графів: орієнтований *System-graph* описує залежність системи температурного поля *TEMPERATURE-FILD* від її складових систем.

За допомогою SWOT-аналізу розглянуто можливість застосування реальної практичної ситуації на машинобудівному підприємстві у кейс-технологіях навчального процесу.

#### Список використаних джерел:

1. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Теорія технічних систем: навчальний посібник. К. : ЦП «КОМПРИНТ». 2017. 291 с. URL: <https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132>.
2. Діасамідзе Б. Т., Вілкул С. В., Сербін С. І. Теоретичні дослідження двопаливної низькоемісійної камери згоряння газотурбінного двигуна. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер.: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2019. 1. С. 27-33. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/44813>.
3. Кузьмін С. М., Грень В. М., Ляшенко В. О. Аналіз впливу конструктивних елементів основної камери згоряння авіаційного двигуна на температурне поле газів у її вихідному перерізі. *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2013. Вип. 16. С. 180-184. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>
4. Хоцькіна В. Б. Використання можливостей пакету Matlab для побудови імітаційних моделей. *Гірничий вісник*. 2014. Вип. 97. С. 75-82. URL: <http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1145>
5. Басюк Т. М. Забезпечення процесу візуалізації даних у середовищі відкритих систем. *Інформаційні системи та мережі*. 2015. Вип. 832. С. 18-33. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPICM\\_2015\\_832\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPICM_2015_832_5)
6. Мосіюк О. О. Огляд хмарних технологій систем комп'ютерної алгебри. *Актуальні питання сучасної інформатики*. 2018. С. 320-326. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/28337>.
7. Казимиренко Ю., Міхелев, І., Матвеев М. Методи і моделі візуалізації розподілу температурних полів газотурбінних камер згоряння з використанням середовища Common Lisp. *Інформаційні технології та суспільство*. 2022. 2 (4). С. 36-41. URL: <http://journals.maup.com.ua/index.php/it/article/view/2099/2600>.
8. Корольський В. В., Шокалюк С. В., Мельниченко Ю. А. Теоретично-методичні засади геометричного моделювання числових рядів. *Фізико-математична освіта*. 2018. Вип. 4 (18). С. 81-89. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/fmo\\_2018\\_4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/fmo_2018_4_15)
9. Марченко О. І., Хоптинєць В. А. Трансляція програм з процедурних мов програмування у функціональній мові з використанням графу залежності даних. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, 2015. Вип. 20. С. 47-51. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kitonv\\_2015\\_20\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kitonv_2015_20_10)
10. Береславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченно-елементного програмного забезпечення : монографія. Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ». 2017. 232 с. URL: <http://library.kpi.kharkov.ua>.
11. Гуменюк О. Г. Використання SWOT-аналізу як основного інструменту стратегічного управління. *Глобальні та національні проблеми економіки*, 2017. Вип. 17. С. 281-285. URL: <http://global-national.in.ua/archive/17-2017/61.pdf>.
12. Ісаєва О., Шайнер Г., Розман І. Кейс-технологія як інноваційний підхід викладання дисциплін у кризових умовах. *Молодь і ринок*, 2021. 11-12 (197-198). С. 39-43. URL: <http://mir.dspu.edu.ua/article/view/252826/250117>.

#### References:

1. Loveikin, V. S., Romasevych, Yu. O. (2017). *Teoriia tekhnichnykh system: navchalnyi posibnyk [Theory of technical systems]*. K. : TsP "KOMPRINT" [in Ukrainian].
2. Diasamidze, B. T., Vilkul, S. V., Serbin, S. I. (2019). *Teoretychni doslidzhennia dvopalyvnoi nyzkoemisiinoi kamery zghoriannia hazoturbinnoho dvyhuna [Theoretical investigations of a dual-fuel low-emission gas turbine combustor]*. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser.: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia. – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Power and Heat Engineering Processes and Equipment 1*, 27-33 [in Ukrainian].
3. Kuzmin, S. M., Hren, V. M., Liashenko, V. O. (2013). *Analiz vplyvu konstruktivnykh elementiv osnovnoi kamery zghoriannia aviatsiinoho dvyhuna na temperaturne pole haziv u yii vykhidnomu pererizi [Analysis of the influence of structural elements of the main combustion chamber of an aircraft engine on the temperature field of gases in its initial cross section]*. *Zb. nauk. prats Derzhavnoho nauково-doslidnoho instytutu aviatsii. – Collection of scientific works State Research Institute of Aviation*, 16, 180-184 [in Ukrainian].
4. Khotskina, V. B. (2014). *Vykorystannia mozhlyvostei paketu Matlab dlia pobudovy imitatsiinykh modelei [Using the capabilities of the Matlab package to build simulation models]*. *Hirnychiy visnyk. – Mining bulletin*, 97, 75-82 [in Ukrainian].
5. Basiuk, T. M. (2015). *Zabezpechennia protsesu vizualizatsii danykh u seredovyshchi vidkrytykh system [Providing of process of visualization of data in the environment of open system]*. *Informatsiini systemy ta merezhi. – Information systems and networks*, 832, 18-33 [in Ukrainian].
6. Mosiiuk, O. O. (2018). *Ohliad khmarynykh tekhnolohii system kompiuternoї alhebry [An overview of cloud technologies in computer algebra systems]*. *Aktualni pytannia suchasnoi informatyky. – Current issues of modern computer science*, 320-326 [in Ukrainian].
7. Kazymyrenko, Yu., Mikheliev, I., Matvieiev, M. (2022) *Metody i modeli vizualizatsii rozpodilu temperaturnykh poliv hazoturbinnnykh kamer zghoriannia z vykorystanniam seredovyshcha Common Lisp [Methods and models for visualization of temperature field distribution of gas turbine combustion chambers using Common Lisp]*. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo*, 2 (4), 36-41 [in Ukrainian].

8. Korolskyi, V. V., Shokaliuk, S. V., Melnychenko, Yu. A. (2018). Teoretychno-metodychni zasady heometrychnoho modeliuvannia chyslovykh riadiv [Theoretical and methodological principles of geometric modeling of numerical series]. *Fyzyko-matematychna osvita. – Physical and mathematical education*, 4 (18), 81-89 [in Ukrainian].

9. Marchenko, O. I., Khoptynets, V. A. (2015). Transliatsiia prohram z protsedurnykh mov prohramuvannia u funktsionalnii movi z vykorystanniam hrafu zalezhnosti danykh [Translation of programs from procedural programming languages in a functional language using a graph of data dependence]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo.– Computer-integrated technologies: education, science, production*, 20, 47-51 [in Ukrainian].

10. Bereslavskiy, D. V., Korytko, Yu. M., Tatarinova, O. A. (2017). *Proektuvannia ta rozrobka skinchenno-elementnoho prohramnoho zabezpechennia [Design and development of finite element software]*. Kharkiv: Textbook of NTU "KhPI" [in Ukrainian].

11. Humeniuk, O. H. (2017). Vykorystannia SWOT-analizu yak osnovnoho instrumentu stratehichnoho upravlinnia [Using a swot-analysis as the main tool of strategic management]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky. – Global and national economic problems*, 17, 281-285 [in Ukrainian].

12. HIsaieva, O., Shainer, H., Rozman, I. (2021) Keis-tekhnolohiia yak innovatsiinyi pidkhid vykladannia dystsyplin u kryzovykh umovakh [Case technology as an updated approach to teaching disciplines in crisis]. *Molod i rynek. – Youth & market*, 11-12 (197-198), 39-43 [in Ukrainian].