

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІ,
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-35-39

УДК 004.042

І.З. МАНУЛЯК, С.І. МЕЛЬНИЧУК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

С.П. ВАЩИШАК

ПВНЗ Університет Короля Данила

С.М. РУДАК

Науково-дослідний проектний інститут ПАТ «Укрнафта»

**РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ МЕДІАНИ НА ПЛІС
ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ**

В роботі розроблено апаратну реалізацію для методів попереднього опрацювання сигналів, зокрема методом медіани.

Ключові слова: методи опрацювання сигналів, медіана, апаратна реалізація.

I.Z. MANULIAK, S.I. MELNYCHUK, S.P. VASCHYSHAK, S.M. RUDAK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**IMPLEMENTATION OF THE SLIDING MEDIAN METHOD ON FPGA
FOR SENSOR SIGNALS PRE-PROCESSING**

The use of modern hardware platforms in the development of computer system components, including digital signal processing, allows to describe circuit solutions using specialized languages such as AlteraHDL, VHDL, Verilog, etc. One of the options for using the resources of programmable logic integrated circuits is to create digital components of signal pre-processing, in particular in information and measurement channels. The application of this approach is due to the presence of various distortions that lead to information and accuracy loss. Another problem is the need to preserve the information performance of such information and measurement channels. It is common to use analog implementations of signal pre-processing methods, in particular different types filters. In this case, the implementation of pre-processing methods at the hardware level will provide the appropriate processing speed at insignificant hardware costs.

The paper proposes the implementation of the algorithm for processing information and measurement signals using the sliding median method, implemented on a programmable logic integrated circuit. Based on the simulation in a numerical experiment, the efficiency of using such a method is shown in a relatively simple implementation scheme on the FPGA platform. In fact, the pyramidal scheme of conditional constructions provides a simple description of the logical scheme by means of the Altera HDL language, and also allows to reduce the number of comparison operations. The proposed algorithm does not require complex hardware resources, which allows you to effectively involve typical circuit solutions.

Keywords: signal processing methods, median, hardware implementation.

Постановка проблеми

На сучасному етапі активно впроваджуються в практику нові інформаційні технології. Зокрема, в частині розробки інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем застосування методів цифрового опрацювання дозволяє зменшити застосування компонентів з нелінійними характеристиками. В ході формування вимірювальних даних спостерігається вплив різного роду спотворень як на сенсорний елемент, так і на схемні рішення засобів перетворення та передачі даних, що приводить до втрати точності [1]. Іншою проблемою є необхідність збереження інформаційної продуктивності згаданих систем. Оскільки використання цифрових методів опрацювання традиційно потребує залучення пам'яті для збереження проміжних значень сигналу над якими проводяться відповідні операції перетворення. Фактично розмір такої пам'яті визначає величину затримки вихідного сигналу засобу цифрового опрацювання.

Для випадків реалізації інформаційно-вимірювальних каналів, які не зазнають суттєвого впливу завод і спотворень часто використовують аналогові реалізації методів попереднього опрацювання сигналів. Найбільшого поширення набули аналогові фільтри різних типів: низьких та високих частот, режекторні, смугові. Однак використання нелінійних елементів, ємності, індуктивності тощо погіршує експлуатаційні характеристики таких реалізацій в експлуатаційних умовах. Застосування методів цифрового опрацювання в багатьох випадках дозволяє забезпечити відповідну ефективність опрацювання сигналів при залученні цифрових платформ з обмеженими обчислювальними ресурсами.

При проектуванні інформаційно-вимірювальних каналів використовуються первинні перетворювачі, що забезпечують формування електричних сигналів, які оцифровують для подальшого опрацювання. Сенсори згаданих пристроїв перетворюють величину, яка контролюється (тиск, температура, витрата, частота, швидкість, переміщення, електрична напруга, електричний струм тощо) у сигнал (електричний, оптичний, пневматичний), зручний для вимірювання, передавання, перетворення, зберігання та реєстрації інформації про стан об'єкта вимірювання. В подальшому отримані величини (напруга, струм, частота тощо) потребують використання АЦП, що призводить до спотворень.

Однією з проблем, що виникають при проектуванні цифрових інформаційно-вимірювальних пристроїв комп'ютерних систем є забезпечення прийнятної продуктивності із збереженням точності. В такій

ситуації реалізація методів попереднього опрацювання на апаратному рівні, без залучення мікроконтролерів, дозволить забезпечити відповідну швидкість опрацювання при несуттєвих апаратних затратах, що фактично приводить до створення спеціалізованих цифрових компонентів згаданих систем.

Аналіз останніх джерел

В [2] показано, що сучасні методи, а також реалізовані на їх основі первинні перетворювачі витрати газових середовищ, використовують імпульсні, амплітудні та частотні характеристики сигналів сенсорних компонентів. Таким чином проблема використання випадкових складових сигналу вирішується не повністю. В [3] встановлено, що при використанні потокових методів попереднього опрацювання сигналів, із залученням мікроконтролерів, найменше СКВ спостерігається при використанні методу ковзної медіани в частині максимального значення шкали діапазону вимірювання. Крім того відсутність арифметичних операцій для вибору медіанного значення сигналу та реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння. Таким чином одним з варіантів реалізації цифрових компонентів попереднього опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів може бути використання програмованих логічних схем (ПЛІС).

Метою роботи є реалізація цифрового компоненту попереднього опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів на основі методу ковзної медіани трьох відліків.

Виклад основного матеріалу

В ході проведення досліджень у [4] розглянуто можливість застосування методів попереднього опрацювання сигналів первинних перетворювачів на прикладі інфрачервоного сенсора відстані SHARP 2Y0A21. Проаналізовано можливість застосування ковзних методів опрацювання, що ґрунтуються на статистичному оцінюванні послідовних фрагментів сигналу сенсора і практично не зменшують інформаційної продуктивності. Розглянуто статистичні оцінки, зокрема ковзні значення середнього, медіани та рекурсивного фільтру першого порядку з різними параметрами. На рисунку 1 надано графік експериментально отриманих даних для відстані 500 мм і різних частот формування вимірювальних сигналів. Як можна побачити, вихідні дані характеризуються наявністю випадкових відхилень, які зумовлюють СКВ в межах від 29 до 40.

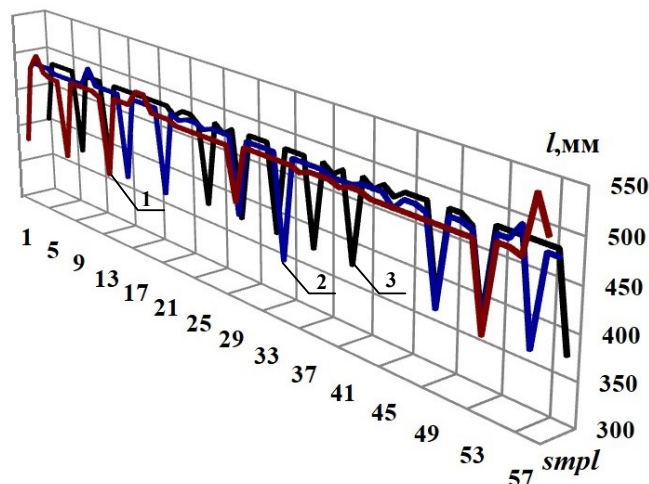
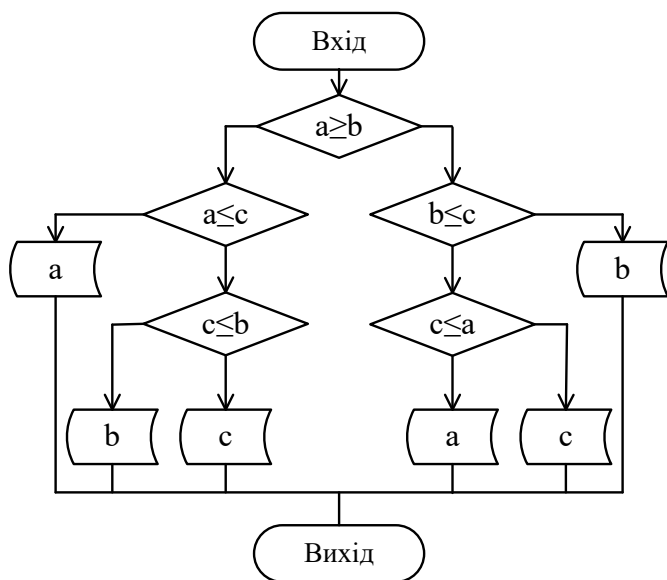


Рис. 1. Фрагмент сигналів АЦП (smpl) до опрацювання методом медіани для відстані 500 мм при частотах формування даних (кГц): 1 – 38,5; 2 – 76,9; 3 – 153,8

Авторами роботи [4] встановлено, що при використанні потокових методів попереднього опрацювання найменше СКВ спостерігається в частині максимального значення шкали діапазону вимірювання для методу ковзної медіани. Крім того, відсутність арифметичних операцій та реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння, що робить такий метод більш ефективним порівняно з іншими розглянутими методами. Ковзна медіана – функція, значення якої в кожній точці визначення чисельно дорівнює медіані значень вихідної функції за встановлений період [5].

В ході проведення роботи на основі досліджень [4] запропоновано алгоритм опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів за допомогою методу медіани, блок-схема якого подана на рис. 2. Алгоритм реалізовано на програмованих логічних схемах (ПЛІС), що дозволяють описати логіку роботи цифрового пристрою. При реалізації алгоритму використано метод ковзної медіани з 3 значень, за якого медіана визначається в ковзному вікні, тобто середнє значення рівня у межах вікна заміняється медіаною рівнів у вікні. Реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння та відповідно спростити опис схеми роботи методу.



```

SUBDESIGN sMed
(
    a[0..7], b[0..7], c[0..7]: INPUT;
    m[0..7]: OUTPUT;
)
BEGIN
    IF a[0..7]>=b[0..7] THEN
        IF a[0..7]<=c[0..7] THEN
            m[0..7]=a[0..7];
        ELSE IF c[0..7]<=b[0..7] THEN
            m[0..7]=b[0..7];
        ELSE m[0..7]=c[0..7];
        END IF; END IF;
    ELSE IF b[0..7]<=c[0..7] THEN
        m[0..7]=b[0..7];
    ELSE IF c[0..7]<=a[0..7] THEN
        m[0..7]=a[0..7];
    ELSE m[0..7]=c[0..7];
    END IF; END IF; END IF;
END;
    
```

а) б) Рис. 2. Реалізація методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів: а) блок-схема реалізації методу медіани; б) опис реалізації методу медіани на мові Altera HDL

Отже, запропоновані алгоритмічні рішення реалізації методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів не потребують складних програмних рішень, що дозволяє ефективно залучати типові схемні рішення. Платформа ПЛІС дозволяє здійснювати опис логіки пристрою на основі мови, що схожа до типових мов програмування. В такій ситуації реалізація цифрових пристроїв спеціалізованого призначення суттєво спрощується з погляду розробки. В поданій реалізації (рис. 2, б) методу ковзної медіани 3 відліків, які представлені однобайтними величинами, відповідно вхідні шини “a”, “b”, “c” реалізовано на мові Altera HDL.

Результати моделювання в чисельному експерименті реалізованого алгоритму ковзної медіани для попередньо розглянутого фрагменту даних первинного перетворювача SHARP 2Y0A21 надано на рис. 3.

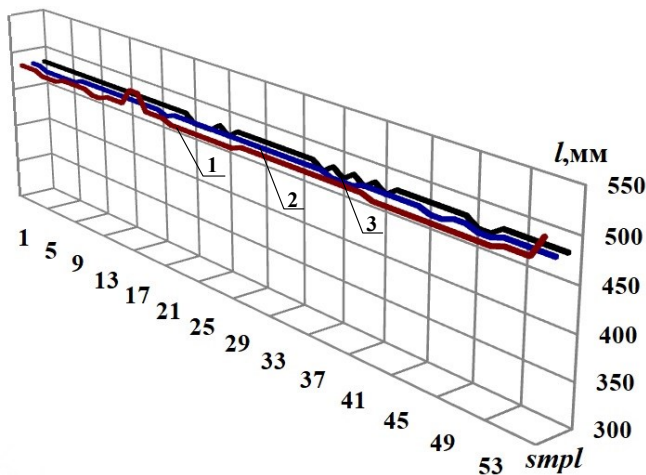


Рис. 3. Фрагмент сигналів АЦП (smpl) після опрацювання методом медіани для відстані 500 мм при частотах формування даних (кГц): 1 – 38,5; 2 – 76,9; 3 – 153,8

Як можна побачити з рисунку 3, після застосування методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів спостерігається згладжування отриманої кривої, що дозволяє ефективніше опрацьовувати експериментально отримані дані. СКВ для опрацьованих даних представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати обчислення СКВ для різної частоти формування відліків		
Частота, кГц	СКВ	
	без опрацювань	метод ковзної медіани
38,46154	29,60230	5,82106
76,92308	35,32696	1,99492
153,8462	40,56727	3,58757

Реалізація блоку CntControl мовою AlteraHDL матиме вигляд, див. рис. 4, а. Результати функціонального моделювання, у вигляді фрагментів часових діаграм вхідних та вихідних сигналів (у середовищі Altera MAX+plusII, WaveForm Editor), на дано на рис. 4, б.

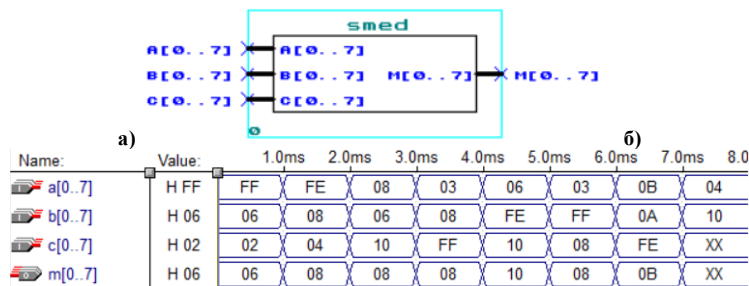


Рис. 4. Реалізація методу медіани для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів: а) компонент реалізації методу медіани; б) результати функціонального моделювання

Слід зазначити, що згадана платформа не є інкапсульованою і дозволяє здійснювати опис логіки роботи цифрового пристрою як у вигляді схем логічних з'єднань так і вигляді текстових описів мовою AlteraHDL, VHDL, Verilog [6]. Крім того, системи автоматизованого проектування на ПЛІС мають інтегровані засоби функціонального та інструментального моделювання, які дозволяють здійснити попереднє оцінювання коректності функціонування та часові параметри схемних рішень.

	m0	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7
a0	11.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/22.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns
a1	11.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns
a2	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
a3	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
a4	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
a5	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
a6	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
a7	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns
b0	12.5ns/17.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns
b1	11.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns
b2	17.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/26.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns
b3	17.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns
b4	17.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns	17.5ns/30.5ns
b5	22.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	12.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns
b6	22.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	12.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns
b7	22.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	22.5ns/35.5ns	12.5ns/35.5ns
c0	11.5ns/12.5ns	12.5ns/22.5ns	12.5ns/22.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns	7.5ns/26.5ns
c1	11.5ns/17.5ns	12.5ns/17.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns	12.5ns/21.5ns
c2	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	11.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
c3	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
c4	16.5ns/21.5ns	17.5ns/26.5ns	17.5ns/26.5ns	12.5ns/30.5ns	7.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns	12.5ns/30.5ns
c5	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
c6	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns
c7	21.5ns/26.5ns	22.5ns/31.5ns	22.5ns/31.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	17.5ns/35.5ns	7.5ns/35.5ns

Рис. 5. Результати інструментального моделювання модуля sMed для опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів

В ході інструментального моделювання, результати якого подано на рисунку 5, встановлено, що найбільший час, що потрібен на опрацювання сигналів модулем sMed не перевищує 35.5 нс.

Висновки

На основі проведених досліджень запропоновано нескладну алгоритмічну і, як наслідок, схему реалізацію методу ковзної медіани засобами ПЛІС на мові опису функціонування логіки мовою Altera HDL. Простота описаного методу, відносно нескладна запропонована апаратна реалізація, висока швидкодія опрацювання, а також використання типових цифрових платформ роблять застосування такого методу ефективним рішенням в частині реалізації компонентів попереднього опрацювання сигналів інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем.

Література

1. Наконечний А. Й. Цифрова обробка сигналів : навч. посібник / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлич. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 368 с.
2. Мануляк І.З. Методи та засоби формування інформаційно-вимірювальних сигналів в первинних перетворювачах витрати газу / Мануляк І.З., Мельничук С.І. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2015. – № 3(54). – С. 156–159.
3. Мануляк І.З. Алгоритмічні та схемотехнічні засоби опрацювання сигналів імпульсного

первинного перетворювача за оцінками інформаційної ентропії / Мануляк І.З., Мельничук С.І. // Український міжвідомчий науково-технічний збірник Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2016. – Випуск 50. – С. 128–136.

4. Мануляк І.З. Застосування методів попереднього опрацювання сигналів зі збереженням інформаційної продуктивності джерел даних / І.З. Мануляк, С.І. Мельничук // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Технічні науки. – 2021. – № 1. Том 32(71). – С. 117–122.

5. Камінський Р.М. Порівняння методів згладжування часових рядів за критерієм відношення медіан // Камінський Р.М., Дмитрів Г.Р. // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. – 2009. – № 653. – С. 263.

6. Стешенко В. Плис фирмы «ALTERA». Элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры / В. Стешенко. – ДМК-Пресс, 2015. – 576 с.

References

1. Nakonechnyi A. Y. Tsyfrova obrobka syhnaliv : navch. posibnyk / A. Y. Nakonechnyi, R. A. Nakonechnyi, V. A. Pavlysh. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2010. – 368 s.

2. Manuliak I.Z. Metody ta zasoby formuvannya informatsiino-vymiriuvalnykh syhnaliv v pervynnykh peretvoriuvachakh vytraty hazu / Manuliak I.Z., Melnychuk S.I. // Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – 2015. – № 3(54). – С. 156–159.

3. Manuliak I.Z. Alhorytmichni ta skhemotekhnichni zasoby opratsiuvannya syhnaliv impulsnoho pervynnoho peretvoriuvacha za otsinkamy informatsiinoi entropii / Manuliak I.Z., Melnychuk S.I. // Ukrainskyi mizhvidomchyi nauково-tekhnichnyi zbirnyk Avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni. – 2016. – Vypusk 50. – S. 128–136.

4. Manuliak I.Z. Zastosuvannya metodiv poperednoho opratsiuvannya syhnaliv zi zberezheniam informatsiinoi produktyvnosti dzherel danykh / I.Z. Manuliak, S.I. Melnychuk // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 1. Tom 32(71). – S. 117–122.

5. Kaminskyi R.M. Porivniannia metodiv zghladzhuvannya chasovykh riadiv za kryteriiem vidnoshennia median // Kaminskyi R.M., Dmytriv H.R. // Visnyk natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”. – 2009. – № 653. – S. 263.

6. Steshenko V. Plis firmy «ALTERA». Ehlementnaya baza, sistema proektirovaniya i yazyki opisaniya apparatury / V. Steshenko. – DМК-Press, 2015. – 576 s.

МАНУЛЯК І.З.

ORCID ID: 0000-0002-0072-1532

manulyak-iryna@ukr.net

МЕЛЬНИЧУК С.І.

ORCID ID: 0000-0002-6973-4235

stenni@ukr.net

ВАЩИШАК С.П.

tatokit64@gmail.com

РУДАК С.М.

rudaksm@ukr.net

Надійшла/Paper received : 09.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.