

БІОЛОГІЧНІ ТА МЕДИЧНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 621.3

А. Я. Кулик

ОБРОБЛЮВАННЯ СИГНАЛУ ЕКГ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІНОМІВ ЛЕЖАНДРА

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, Вінниця

Анотація. Розповсюдженість серцево-судинних захворювань постійно зростає, що викликає необхідність розроблення все більш ефективних сучасних засобів їх діагностики та лікування. Первинна діагностика базується на записуванні електрокардіограми, лише після чого лікар використовує додаткові дані кардіологічних показників, отриманих із залученням інших методів досліджень. Розвиток комп'ютерних технологій, сучасних методів цифрового оброблення даних та клінічні задачі зумовили розроблення і використання в повсякденній практиці процесорних засобів. Це дозволило підвищити якість оброблення електрокардіограми і забезпечити кількісну оцінку змін ЕКГ. Разом з тим, це викликає необхідність підвищення точності та чутливості. Перспективним методом розв'язання цих задач є спектральний аналіз із залученням засобів сучасних інформаційних технологій. В сучасних технологіях практично не приділяється увага обґрунтуванню вибору компонентів комп'ютерної системи реєстрації ЕКГ. При обробленні даних ЕКГ недостатньо уваги приділяється фільтрації зареєстрованих даних, які містять високочастотні завади. Запропонована структура пристрою, яка дозволяє здійснювати реєстрацію ЕКГ комп'ютерною системою в режимі програмного опитування. Пропонується математичний апарат для розрахунку параметрів компонентів комп'ютерної системи, а також мінімальної кількості зареєстрованих значень. Запропонований алгоритм фільтрації високочастотних складових з використанням поліноміальних ортогональних функцій Лежандра на базі алгоритму апроксимації.

Ключові слова: комп'ютерна система, електрокардіограма, поліном Лежандра.

Аннотация. Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний постоянно возрастает, что вызывает необходимость разработки все более эффективных современных методов их диагностики и лечения. Первичная диагностика базируется на записи электрокардиограммы, после чего доктор использует дополнительные данные кардиологических показателей, полученных с использованием других методов исследований. Развитие компьютерных технологий, современных методов обработки данных и клинические задачи обусловили разработку и использование в повседневной практике процессорных средств. Это позволило повысить качество обработки электрокардиограмм и обеспечить количественную оценку изменений ЭКГ. Вместе с тем, это вызывает необходимость повышения точности и чувствительности. Перспективным методом решения этих задач является спектральный анализ с использованием средств современных информационных технологий. В современных технологиях практически не уделяется внимание обоснованию выбора компонентов компьютерной системы регистрации ЭКГ. При обработке данных ЭКГ недостаточно внимания уделяется фильтрации зарегистрированных данных, которые включают высокочастотные помехи. Предложена структура устройства, позволяющего регистрировать ЭКГ в режиме программного опроса. Предложен математический аппарат для расчета параметров компонент компьютерной системы, а также минимального количества зарегистрированных значений. Предложен алгоритм фильтрации высокочастотных составляющих с использованием полиномиальных ортогональных функций Лежандра на базе алгоритма аппроксимации.

Ключевые слова: компьютерная система, электрокардиограмма, полином Лежандра.

Abstract. The prevalence of cardiovascular diseases is constantly increasing, which calls for the development of more and more effective modern methods for their diagnosis and treatment. The primary diagnosis is based on recording the electrocardiogram, after which the doctor uses additional data from cardiological indicators obtained using other methods of research. The development of computer technologies, modern methods of processing data and clinical problems led to the development and use of processor tools in everyday practice. This allowed to improve the quality of electrocardiogram processing and to provide a quantitative assessment of ECG changes. However, this raises the need to improve accuracy and sensitivity. A promising method for solving these problems is spectral analysis using modern information technologies. In modern technologies, little attention has been paid to justifying the selection of the components of the computer ECG recording system. When ECG data is processed, insufficient attention is paid to filtering the recorded data, which includes high-frequency noise. The structure of the device allowing to register the ECG in the program polling mode is proposed. A mathematical apparatus is proposed for calculating the parameters of the components of a computer system, as well as the minimum number of registered values. An algorithm for filtering the high-frequency components using the Legendre polynomial orthogonal functions is proposed on the basis of the approximation algorithm.

Key words: computer system, electrocardiogram, Legendre polynomial.

Вступ

Аналіз варіабельності (математичний аналіз) серцевого ритму почав бурхливо розвинути у СРСР в 60-х роках минулого сторіччя. Засадами цього стали успіхи космічної медицини. Класичною стала методика Р.М. Баєвського, яка дозволяє за мінімумом даних визначати стан організму людини [1 – 4]. На відміну від координованих скорочень серця фібриляція шлуночків відзначається некоординованими скороченнями окремих груп волокон міокарду. Електрокардіограма (ЕКГ) віддзеркалює глобальну електричну активність серця, дозволяючи оцінювати активність міокарда в цілому при фібриляції шлуночків. Спектральний аналіз ЕКГ дозволяє кількісно оцінити частотний склад її осциляцій.

Актуальність

Розповсюдженість серцево-судинних захворювань постійно зростає, що викликає необхідність розроблення все більш ефективних сучасних засобів їх діагностики та лікування. Первинна діагностика базується на записуванні електрокардіограми, лише після чого лікар використовує додаткові дані кардіологічних показників, отриманих із залученням інших методів досліджень. Розвиток комп'ютерних тех-

нологій, сучасних методів цифрового оброблювання даних та клінічні задачі зумовили розроблювання і використання в повсякденній практиці процесорних засобів. Це дозволило підвищити якість оброблювання електрокардіограми і забезпечити кількісну оцінку змін ЕКГ. Разом з тим, це викликає необхідність підвищення точності та чутливості. Перспективним методом розв'язання цих задач є спектральний аналіз із залученням засобів сучасних інформаційних технологій [5 – 7].

Мета

В сучасних технологіях практично не приділяється увага обґрунтуванню вибору компонентів комп'ютерної системи реєстрації ЕКГ. При оброблюванні даних ЕКГ недостатньо уваги приділяється фільтрації зареєстрованих даних, які містять високочастотні завади.

Задачі

1. Першою задачею є обґрунтування вибору режиму реєстрації даних, розроблення апаратного і алгоритмічного забезпечення, а також визначення основних параметрів компонентів комп'ютерної системи реєстрації.
2. Не менш важливою задачею є забезпечення ефективного алгоритма фільтрації даних із вилученням високочастотних завад.

Розв'язання задач

Реєстрація даних в комп'ютерних системах може здійснюватися з реалізацією трьох режимів:

- ☐ програмного, при якому використовується мінімум апаратури, а основні процедури виконуються суто програмно;
- ☐ програмно-апаратного, пов'язаного із режимом переривань;
- ☐ апаратного, який використовує прямий доступ до пам'яті.

Враховуючи, що реєстрація ЕКГ не вимагає дуже високої швидкодії, доцільно задіяти саме перший з них. Він реалізується структурою, наведеною на рис. 1. В цьому режимі центральний процесор здійснює програмне опитування прапорця "Готовність даних", який встановлюється зовнішнім пристроєм. При його встановленні дані з паралельного інтерфейсу зчитуються до пам'яті, або виводяться з пам'яті до зовнішнього пристрою.

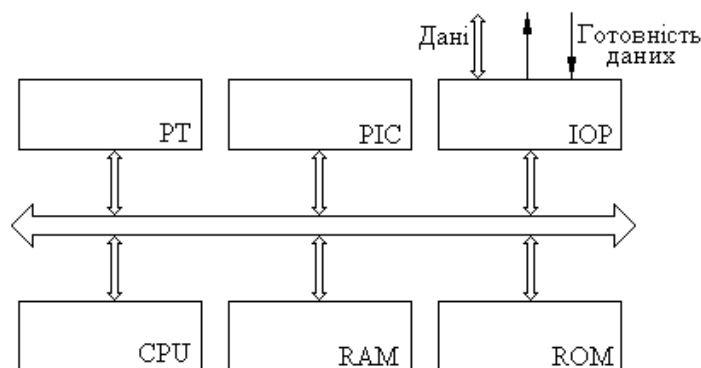


Рисунок 1 – Структура мікропроцесорної системи із програмною реєстрацією даних

Узагальнена схема програмного циклу для реалізації даного режиму наведена на рис. 2. Цей режим називається програмним, оскільки все може бути реалізовано суто програмно, практично без використання додаткових апаратних засобів.

Пристрій реєстрації ЕКГ реалізується за допомогою класичного амплітудного вимірювального каналу, адаптованого до режиму програмної реєстрації даних. Його структура наведена на рис. 3. а принцип її роботи – на рис. 4.

Початок перетворення задається сигналом «Пуск», а завершення фіксується за сигналом

«Кінець перетворення», який формує сам АЦП. Під час перетворення кодова комбінація на виході постійно змінюється і лише зчитування даних за сигналом «КП» гарантує правильність зчитаного результату. Результатом перетворення є кодова комбінація N_x , яка визначається вхідною вимірюваною напругою

U_x . Вимірювана напруга з урахуванням коефіцієнта перетворення формувача $k_{ex} = \frac{U_x}{U_{ex}}$

$$U_{ex} = \frac{U_x}{k_{ex}} = \frac{U_{on} \cdot N_x}{k_{ex} \cdot N_{max}}. \quad (1)$$

Вираз (1) є рівнянням перетворення вимірювального каналу. Завдавшись похибкою γ_{ADC} , можна визначити необхідну кількість розрядів АЦП

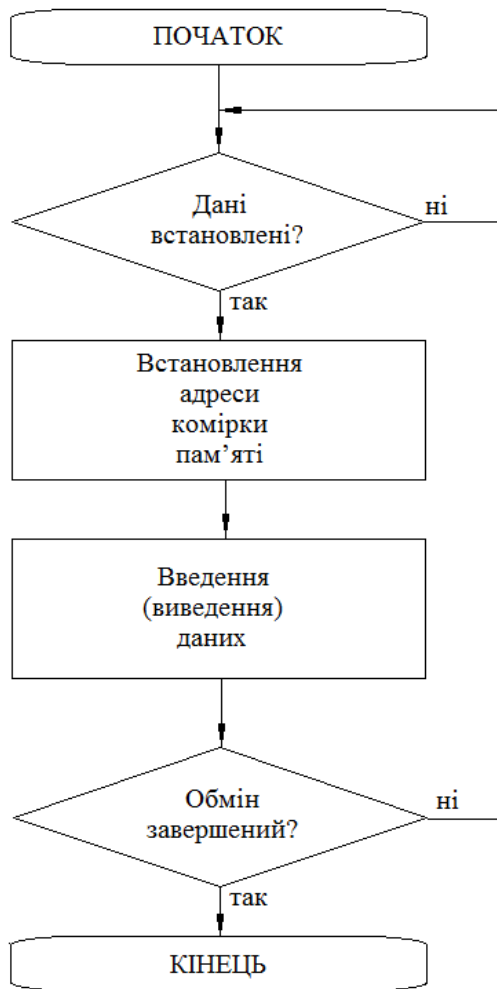


Рисунок 2 – Схема програмного циклу реєстрації даних

ностей при достатньо великій кількості дослідів n можна припустити, що закон розподілу випадкової величини X є нормальним із параметрами $m_X = a$ та σ_X . Для допустимого значення імовірності $p_{\text{дон}}$ за таблицею інтеграла Лапласа (інтеграла імовірності) необхідно знайти порогове значення

$$h_{\text{дон}} = \frac{\Delta}{\left(\sigma_X / \sqrt{n}\right)}. \text{ Виходячи з величини допуску } \Delta = |m_X^* - a| \text{ і відомому значенні } \sigma_X \text{ можна ви-}$$

значити необхідний обсяг вибірки за формулою

$$n \geq \frac{h_{\text{дон}}^2 \cdot \sigma_X^2}{\Delta^2}.$$

Так, для $p_{\text{дон}} = 0,95$ та $\sigma_X / \Delta = 5$, порогове значення $h_{\text{дон}} \approx 225$.

Якщо кількість дослідів N обмежується з певних міркувань, то для визначення обсягу вибірки потрібно користуватися формулою

$$n = \log_2 \left(\frac{100}{\gamma_{ADC}} + 1 \right).$$

Швидкодія АЦП визначається, виходячи з частоти дискретизації f_{∂} , яка визначається відповідною похибкою

$$f_{\partial} = \sqrt{\frac{x''_{\text{max}}}{8\gamma_{an}}},$$

де x''_{max} – максимальне значення другої похідної вхідного сигналу

$$\text{або} \\ f_{\partial} = 3 \sqrt[3]{\frac{x'''_{\text{max}}}{15,53\gamma_{an}}},$$

де x'''_{max} – максимальне значення третьої похідної вхідного сигналу.

При цьому потрібно враховувати, що період дискретизації містить в собі не лише тривалість циклу перетворення АЦП, але й тривалість всіх операцій, пов'язаних із реєстрацією даних. В більшості випадків процеси в медицині та біології є повільними і швидкодія сучасних АЦП є цілком достатньою.

В літературі вказується, що реєструється 1000 значень, але цей показник не обґрунтовується. Згідно центральної граничної теореми теорії імовір-

$$n \approx \frac{h_{\text{доп}}^2 \cdot N}{\frac{(N-1) \cdot \Delta}{\sigma_x^2} + h_{\text{доп}}^2}.$$

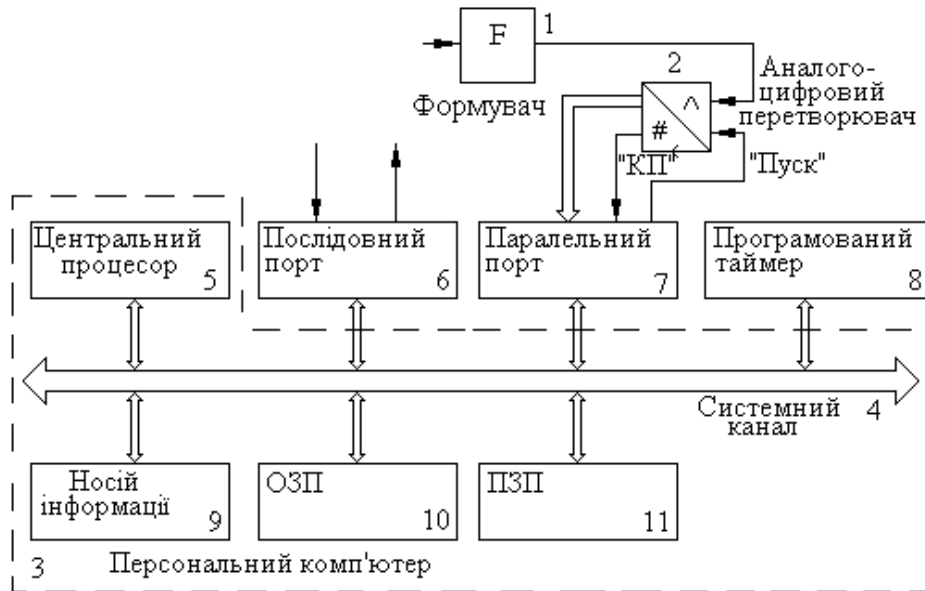


Рисунок 3 – Структура амплітудного вимірювального каналу на базі комп'ютерної системи режиму програмного опитування для реєстрації ЕКГ

При $N = 500$, $p_{\text{доп}} = 0,997$, $\frac{\sigma_x}{\Delta} = 5$, обсяг становить $n \approx 155$.

Після завершення реєстрації можна здійснювати фільтрацію високочастотних завад. Для цього використовують алгоритм апроксимації:

- розкладають сигнал в базисі поліномів Лежандра;
- вибирають порогове значення шуму для кожного рівня розкладання;
- здійснюють порогове фільтрування коефіцієнтів деталізації, для чого отримані складові по черзі відкидають, починаючи з кінця, доти, поки похибка відновлення не буде в межах порогового значення шуму, досягаючи мінімального складу ряду для заданих умов;
- реконструюють сигнал;

Функції Лежандра $P_n(x)$ визначаються диференціальним рівнянням

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n \cdot n!} \cdot \frac{d^n}{dx^n} \left((x^2 - 1)^n \right) \quad (2)$$

і являють собою поліноми степені n із коефіцієнтом $\frac{(2n)!}{2^n \cdot n!}$ при членах старшої степені. В класичному

випадку апроксимація всіх неперервних та дискретних сигналів здійснюється в базисі синусоїдних функцій. Для пропонуваного випадку використовуються поліноміальні ортогональні функції Лежандра, тому для певного класу функцій збіжність ряду буде значно вищою, ніж в першому випадку [8].

Розв'язок рівняння (2) дозволяє отримати ряд ортогональних функцій, обмежених інтервалом $x \in [-1, 1]$ і описуваних виразами (3).

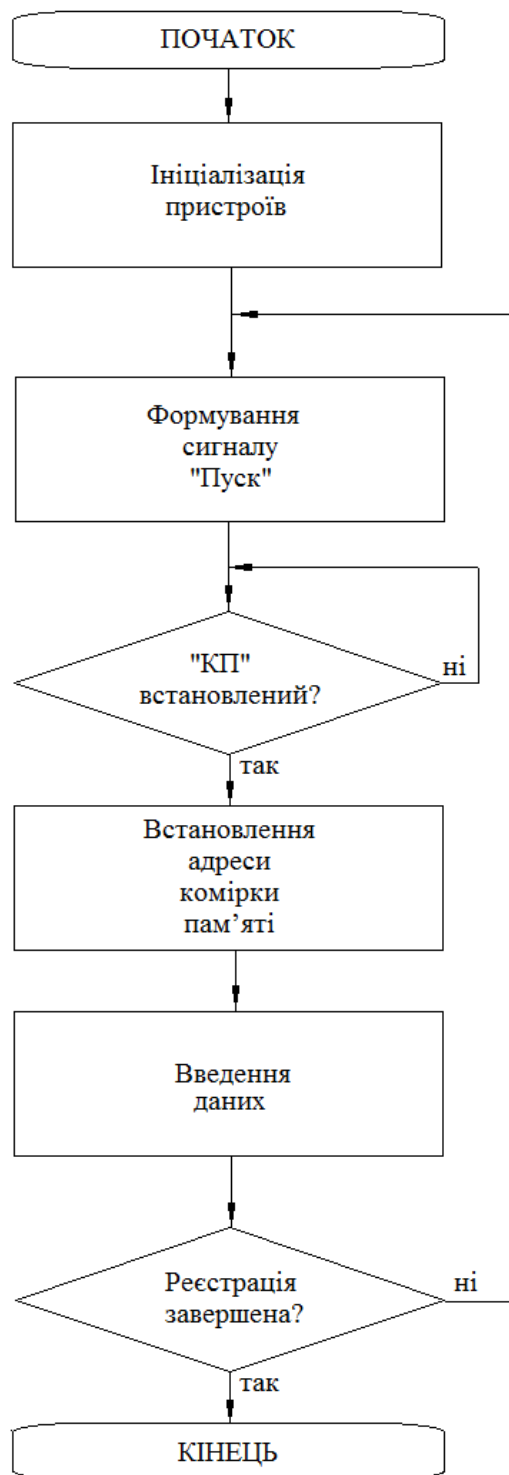


Рисунок 4 – Принцип роботи амплітудного вимірювального каналу на базі комп'ютерної системи режиму програмного опитування для реєстрації ЕКГ

$$\begin{aligned}
P_0(x) &= 1, \\
P_1(x) &= x, \\
P_2(x) &= \frac{1}{2}(3x^2 - 1), \\
P_3(x) &= \frac{1}{2}(5x^3 - 3x), \\
P_4(x) &= \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3), \\
P_5(x) &= \frac{1}{8}(63x^5 - 70x^3 + 15x), \\
P_6(x) &= \frac{1}{16}(231x^6 - 315x^4 + 105x^2 - 5), \\
P_7(x) &= \frac{1}{16}(429x^7 - 693x^5 + 315x^3 - 35x), \\
&\vdots
\end{aligned} \tag{3}$$

Краща збіжність ряду означає, що для апроксимації вихідної послідовності необхідно значно менше членів рівняння і кінцевий обсяг даних буде меншим без втрат інформації. При цьому алгоритм перетворення даних спрощується, за рахунок чого скорочується час оброблювання даних і підвищується ефективність використання процесорних засобів. На практиці обмежуються кількістю членів, які визначають 95% енергії зареєстрованого сигналу ЕКГ.

Висновки

1. Запропонована структура пристрою, яка дозволяє здійснювати реєстрацію ЕКГ комп'ютерною системою в режимі програмного опитування.
2. Пропонується математичний апарат для розрахунку параметрів компонентів комп'ютерної системи, а також мінімальної кількості зареєстрованих значень.
3. Запропонований алгоритм фільтрації високочастотних складових з використанням поліноміальних ортогональних функцій Лежандра на базі алгоритму апроксимації.

Список літератури

1. Баевский Р. М. Суточная динамика артериального давления человека в условиях невесомости / Р. М. Баевский, И. И. Фунтова И. И., Ж. Куш // Вестник аритмологии. – 2002. – № 26. – С. 61 – 66.
2. Баевский Р. М. Холтеровское мониторирование в космической медицине: анализ variability сердечного ритма / Р. М. Баевский, Г. А. Никулина // Вестник аритмологии. – 2000. – № 16. – С. 6 – 16.
3. Снежицкий В. А. Методологические аспекты анализа variability сердечного ритма в клинической практике / В.А. Снежицкий // Медицинские новости. – 2004. – № 9. – С. 37 – 43.
4. Баевский Р. М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л.В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2002. – № 24. – С. 65.
5. Сергейчик О. С. Модели и алгоритмы спектрального анализа обработки кардиологических временных рядов : автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук : спец. 05.13.18 «Мат. моделирование, числ. методы и комплексы программ» / Сергейчик Оксана Ивановна ; Тюменский гос. ун-т. - Тюмень, 2007. – 23 с.
6. Ивашко А. В. Методы и алгоритмы спектрально-корреляционной обработки сигналов / А. В. Ивашко, Д.А. Лунин, А. А. Подлозная // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42. – С. 1 – 7.
7. Дубровин В. И. Автоматизированная система анализа электрокардиограмм на основе вейвлет-технологий / В. И. Дубровин, Т. А. Щедрина // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 190 – 194.
8. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и студентов ВТУЗов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М: Наука, 1980, стр. 885.

Стаття надійшла: 30.03.2018.

Відомості про авторів

Кулик Анатолій Ярославович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри біофізики, інформатики та медапаратури Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова.

А. Я. Кулик

**ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЭКГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОЛИНОМОВ ЛЕЖАНДРА**

Винницкий национальный медицинский университет им. Н. И. Пирогова, Винница

A. Y. Kulyk

**ECG SIGNAL PROCESSING USING LEGANDR
POLYNOMAS**

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

УДК 004.932.2

A. I. Nikolskyy¹, Y. Y. Bilynskyy¹, A. A. Lazarev¹, V. G. Krasilenko²

NEW IMAGE PRE-PROCESSING METHODS FOR TRACKING VARIOUS BIOLOGICAL OBJECTS MOVEMENT

¹ Vinnytsia National Technical University, Ukraine² Vinnytsia Social Economy Institute, Vinnytsia, Ukraine

Анотація. Дослідження алгоритмів для відстеження динаміки руху різних біологічних об'єктів є актуальним. На вибір оптимальних методів і алгоритмів відстеження об'єктів, для конкретного завдання, сильно впливають особливості і характеристики цих об'єктів і умови їх візуалізації. Тому, щоб автоматизувати процеси адаптації алгоритмів розпізнавання-відстеження, в статті розглядаються кілька варіантів алгоритмів для стеження за об'єктами реалізованими в проєктах Labview. Специфіка цих об'єктів, умови їх візуалізації і параметри моделі сильно впливають на вибір методів і алгоритмів, які є оптимальними для конкретного завдання. Тому в цій статті для автоматизації процесів адаптаційних алгоритмів розпізнавання-відстеження запропоновано кілька алгоритмів попередньої обробки кадрів з використанням інструментів NI Labview і Vision Assistant. Попередня обробка включала вирівнювання загальної фонові яскравості зображення, усунення високочастотного шуму і різних артефактів (виділені області, проміжки, переломи) з вихідного зображення, контрастності, порогового значення, бінаризації і інших функціональних перетворень. Проєкти дозволяють швидко змінювати шаблони для навчання і перепідготовки системи. Вони адаптуються до швидкості об'єктів і статистичних характеристик шуму в зображеннях. У статті обговорюються нові методи попередньої обробки зображень для алгоритмів, які відстежують динаміку руху різних біологічних об'єктів. Будуть представлені і проаналізовані експерименти, проведені для тестування трекерів на реальних відеофайлах.

Ключові слова: класифікація, процес відстеження, безліч біологічних об'єктів, алгоритми попередньої обробки зображень, порівняння зображень.

Аннотация. Исследование алгоритмов для отслеживания динамики движения различных биологических объектов является актуальным. На выбор оптимальных методов и алгоритмов отслеживания объектов, для конкретной задачи, сильно влияют особенности и характеристики этих объектов и условия их визуализации. Поэтому, чтобы автоматизировать процессы адаптации алгоритмов распознавания-отслеживания, в статье рассматриваются несколько вариантов алгоритмов для слежения за объектами, реализованными в проектах Labview. Специфика этих объектов, условия их визуализации и параметры модели сильно влияют на выбор методов и алгоритмов, которые являются оптимальными для конкретной задачи. Поэтому в этой статье для автоматизации процессов адаптационных алгоритмов распознавания-отслеживания предложено несколько алгоритмов предварительной обработки кадров с использованием инструментов NI Labview и Vision Assistant. Предварительная обработка включала выравнивание общей фоновой яркости изображения, устранение высокочастотного шума и различных артефактов (выделенные области, промежутки, переломы) из исходного изображения, контрастности, порогового значения, бинаризации и других функциональных преобразований. Проекты позволяют быстро менять шаблоны для обучения и переподготовки системы. Они адаптируются к скорости объектов и статистическим характеристикам шума в изображениях. В статье обсуждаются новые методы предварительной обработки изображений для алгоритмов, отслеживающих динамику движения различных биологических объектов. Будут представлены и проанализованы эксперименты, проведенные для тестирования трекеров на реальных видеофайлах.

Ключевые слова: классификация, процесс отслеживания, множество биологических объектов, алгоритмы предварительной обработки изображений, сравнение изображений.

Abstract. The algorithms to tracking of movement dynamics of various biological objects now it is actually to studying. Features and characteristic of objects, conditions of their visualization strongly influence the choice of optimal methods and algorithms for a specific task it they tracking. Therefore, to automate the processes of adaptation of recognition-tracking algorithms, several Labview project trackers are considered in the article. Specificity of these objects, conditions of their visualization and model parameters strongly influence the choice of methods and algorithms, which are optimal for a specific task. Therefore, in this article, in order to automate the processes of adaptation algorithms of recognition - tracking, we suggest several frames pre-processing algorithms using NI Labview tools and Vision Assistant. Preprocessing included equalization of general background luminance of the image, elimination of high-frequency noise and different artifacts (highlighted areas, gaps, fractures, etc.) from the original image, contrasting, thresholding, binarization and other functional transformations. Projects allow changing templates for training and retraining the system quickly. They adapt to the speed of objects and statistical characteristics of noise in images. New pre-processing methods image for algorithms tracking of movement dynamics of various biological objects will be discussed. The experiments carried out to test the trackers on real video files will be presented and analyzed.

Keywords: classification, tracking process, pattern matching, plurality of biological objects, pre-processing algorithms

1. INTRODUCTION

The rapid development of researches in the field of andrology stimulates studying spermatogenesis process. In clinical practice, its evaluation is often based on the results of the patient's spermogram study. The main purpose of the clinical evaluation is to determine the quality of sperm cells in order to identify their potential ability to fertilize the egg and find possible causes of infertility for further development of its treatment method. To date, in clinical practice, there are two main parameters generally accepted as evaluation criteria of spermatogenesis: the percentage of motile sperm cells, and the domination of morphologically normal sperm. Both of these parameters are visually analyzed under the microscope and evaluated subjectively by a physician possibly leading to incorrect results and false diagnostic conclusion. Even if a highly qualified specialist evaluates ejaculate very carefully, the variation of quantitative and qualitative characteristics makes up not less than 10%, and highly increases in the case of defects overlay (at preparation, material sampling or evaluating). Therefore, to determine and correct the errors, both internal and external quality control should be held in every laboratory. A spermogram is a simple but important analysis, on which further activity of the urologist and andrologist is based. Sperm concentration and total sperm count, sperm motility, and morphology are the most important pa-

rameters of the spermogram [1]. Modern technologies of computer processing and image analysis [2-4] can improve the quantitative and qualitative indices of the patient's spermogram analysis. The main problem of tracking biological objects in video stream is automatic finding them in each separate frame. Usually tracking algorithms consist of such successive steps: selection and allocation of descriptors, their comparison and classification. At the comparison, a frame fragment, the descriptor of which is the most similar to the descriptor of the tracked object, is searched. When the corresponding fragment is found, then the found object is classified. When analyzing moving biological objects recorded by digital microscope using tracking algorithms, a large number of frames must be processed in the images stream. Counting the number of selected objects in each frame to determine the average of a standard set, usually 200 frames, and grouping and clustering by different parameters, including shape, speed, location, etc., are important subtasks [1]. And for each of these sub-tasks not only dedicated optimal image processing algorithms adapted to specific conditions, but the possibility to rearrange and integrate them easily into a single tool environment are required. There are well-established approaches to recognition of very noisy and correlated single objects [5, 6, 7, 8, 9] and sets of multiple objects [10, 11, 12], including moving ones [13], with simultaneous division into clusters. However, they are all very diverse and poorly integrated into single, flexible and configurable, and adaptive system or program. Therefore, when choosing a tool for research, we settled on Labview as the most powerful system-design platform and development environment for a visual programming language from National Instruments. [14].

Using Labview and its basic applications and modules enables relatively quick design of the required video analysis processing system of AVI files, which greatly simplifies the recognition and tracking of biological objects. We have developed a number of possible projects for detection and tracking of moving biological objects. NI Vision package is a powerful tool to work with images, supplemented by a set of NI IMAQ drivers and NI Vision Assistant module. Regardless of the software environment - Labview, Measurement studio, Visual Basic or Visual C ++, the package directly provides full control over all the types of analog and digital cameras and allows not to program on the register level. For the processing of static and animated images a basic NI Vision module is used. It contains a set of optimized functions to work with color, black-and-white or binary image, including filtering, statistical and geometric shape changes, pattern matching, and measuring picture parameters. The features of this package allow capturing geometric shape changes, compare the image with the standard, and change settings of the picture. The NI IMAQ video camera driver software is compatible with all National Instruments software, including NI DAQ. It enables easy integration of image processing to any of National Instruments' product. The main feature of the NI IMAQ is the extensive library of special functions. They include templates for cameras configuration, memory allocation functions, start-up initiations and the actual image acquisition both in continuous and single-image modes. A comfortable and functional addition to the NI Vision, greatly enhancing the user experience, is NI Vision Assistant. It enables to easily create own routines to capture, filter, process, analyze and edit the images, change settings of the cameras being used. These routines can be imported into Labview. Visualization and ease of use are the main advantage of such an approach, as the result of function application is visible at once [14].

Therefore, to automate the processes of adaptation of recognition-tracking algorithms, several Labview project trackers are considered in the article. New pre-processing algorithms, which improve the quality of real-time monitoring and tracking of multiple biological objects, are considered in the paper. Projects allow to change training templates and to retrain the system quickly. They adapt to the speed of objects and statistical characteristics of image noise. New features of image or image characteristics comparison, descriptors and pre-processing methods will be discussed. The experiments that were carried out to test the trackers on real video files will be presented and analyzed.

2. EXPERIMENTAL STUDIES OF IMAGE PRE-PROCESSING ALGORITHMS FOR EXTRACTION AND ANALYSIS OF MULTIPLE BIOLOGICAL OBJECTS

There is a number of problems in visual tracking of biological objects that can degrade the quality of detection and tracking of objects. The lighting effects of objects in the frame, i.e. highlights and shadows, distort the actual results of detection and tracking of objects. When processing the image, a problem with strong texturing of the background may appear. Changes in the appearance of the object due to projection of 3D movements on the 2D plane (sequence of frames), may include geometric deformation of the tracked object (due to rotations around the axis, for example). For non-solid objects, the shape can be deformed for a long time. Sudden changes in subject's movement with increasing speed, which can cause the problem of finding and tracking of objects. When tracking an object in a liquid medium, the image may be blurred by this medium. Tracking such objects is difficult for visual tracking of the right path the object. An ideal algorithm of visual tracking of biological objects should overcome all of the problems described above. Therefore, one of the main objectives of research of tracking algorithm of moving biological objects is pre-processing of frames in the stream to improve the quality of their subsequent detection and tracking.

2.1 The algorithm of frames pre-processing, using morphological tool and local threshold, version 1

The algorithmic solutions consists of the three main stages:

- the research mode to find and select the toolkits for solving the task;
- expert processing, analysis and evaluation of results of image processing with the involvement of all available NI Vision Assistant means in interactive mode;
- automatic processing by fixed (pre-selected) sets of computational procedures, the use of which guarantees certain probability of correct processing results.

To eliminate the problems described above, one of pre-processing algorithms can be used (Fig.1). As shown in Figure 1a the original color image in addition to the objects of interest, has many false objects and complex background.

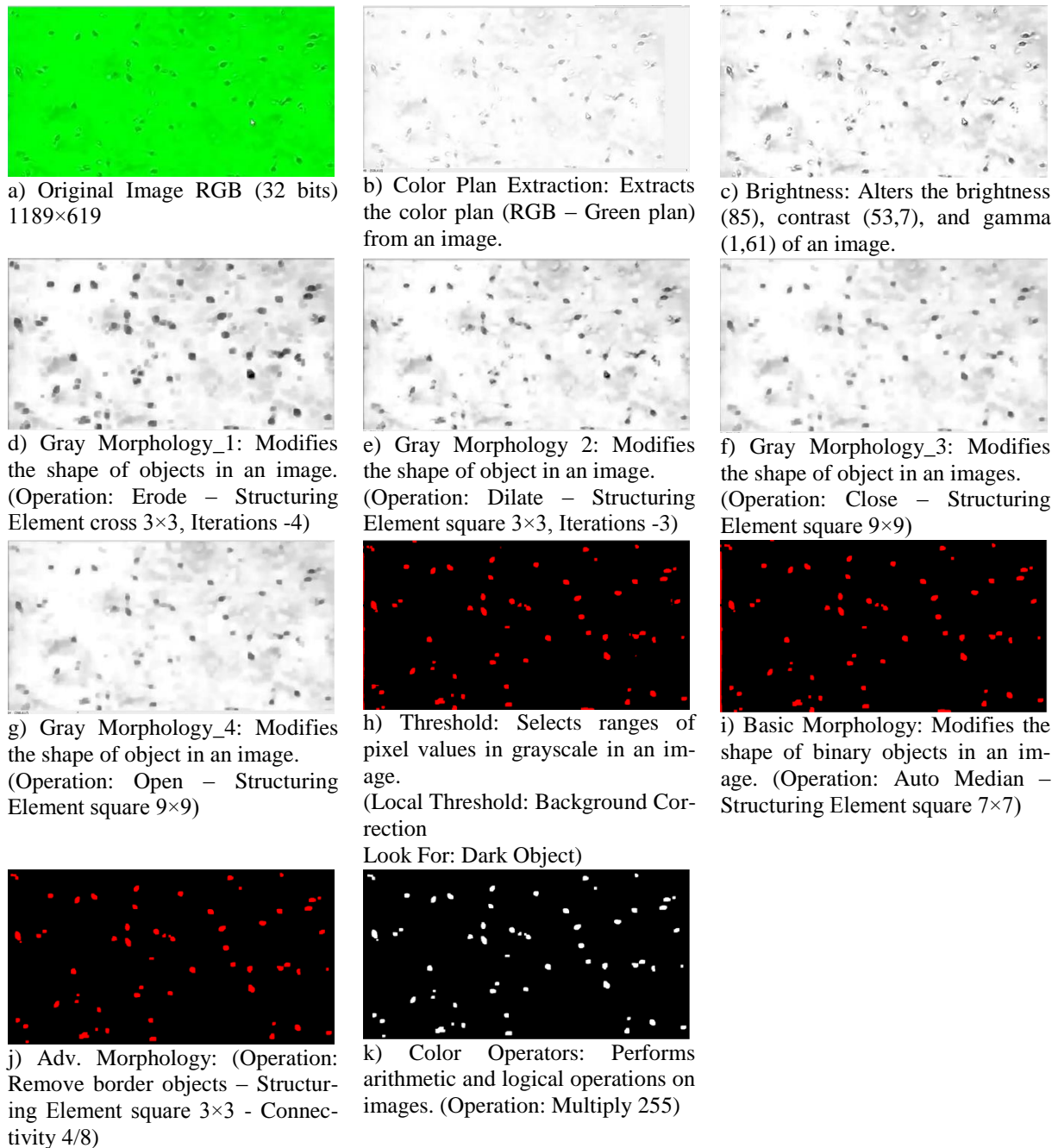


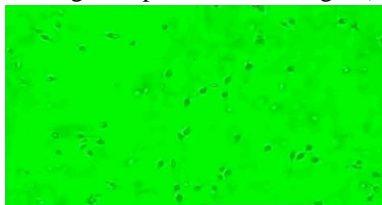
Figure 1 - The algorithm of frames pre-processing using a morphological tool and local threshold, version 1

Preprocessing includes equalization of common luminance of the image, elimination of the high frequency noise and various artifacts (highlighting of the separate regions, gaps, fractures, etc.) in the original image, contrast adjustments, threshold processing, binarization, and other functional transformations. Preprocessing by one

of the algorithms presented in Fig.1 includes a set of tools described below, which enable successive transformation of each image frame. To simplify processing by the next tools and operators, firstly one of RGB colors plan, for example, Green plan, is extracted from original Image RGB (32 bits) 1189×619 pixels (Fig.1, a, b). To improve the readability and processing quality of the image, Tool Brightness, which alters the brightness (85), contrast (53,7), and gamma correction (1,61) of an image (Fig.1, c) was used at the following stages. To improve the quality of extraction of biological objects, the morphological operators were used then to modify the shape of objects. At the first and second stages the Erosion - blur operations of the shape of object were used (Fig.1, d), then a part of it was removed (Fig.1, e). These operations have resulted in better finding of the object's shape. With the same purpose Close operation, which closes a space of area of the object's shape by a square 9×9 structural elements (Fig.1, f)) and Open operation, which opens a space of area by a square 9×9 structural elements during processing (Fig.1, g). To detect moving biological objects and ignore the background noise, Threshold tool and its local threshold function for searching dark objects were used. On this step the algorithm selects the ranges of pixel values of grayscale images with parameters (Local Threshold: Background Correction Look For: Dark Object) (Fig.1, h)). The resulting binary images were further transformed by means of the shape change operators of Basic Morphology tool and Remove border objects operator of Adv. Morphology tool. Basic Morphology modifies the shape of binary objects in an image with parameters (Operation: Auto Median – Structuring Element square 7×7) (Fig.1, i)). Adv. Morphology performs high-level operations to the blobs in binary images (Operation: Remove border objects – Structuring Element square 3×3 -Connectivity 4/8) (Fig.1, j)). For normalization across all levels of graduation image, Color Operators tool was used that performs arithmetic and logical operations on images (Operation: Multiply 255) (Fig.1, k)).

2.2 The algorithm of frames pre-processing using a morphological tool and local threshold, version 2

The second variant of the preprocessing algorithm is shown in (Fig.2). As can be seen from (Fig.1, a) the original color image, except of objects of interest, also has a lot of false objects and complex background. Pre-processing as well as version 1 includes equalization of the total background luminance of the image using Tool Brightness. The algorithm, in contrast to version 1, uses two operations Erode - Dilate by Tool Gray Morphology, the result of which is shown in Fig.2, d. These operations modify the shape of object in images. The background of the frame is ignored due to local threshold function (Threshold Type - Auto Threshold: Moment, Look For: Dark Object), see Fig.2. Further four Adv. Morphology operations are used in version 2, which perform high-level operations doing blobs in binary images (Fig.2, f). This Operations: Remove border objects (Structuring Element square 3×3 , Connectivity 4/8, Iterations – 3); Filling holes; Convex hull; Removing small objects. For normalization across all levels of graduation image Color Operators tool is used, which performs arithmetic and logical operations on images (Operation: Multiply 255), (Fig.2, g).



a) Original Image RGB (32 bits) 960×512



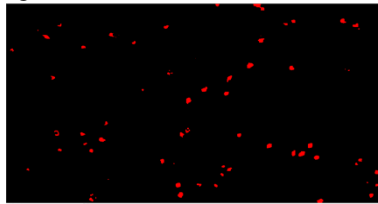
b) Tool Color Plane Extraction: Extracts the three-color planes (RGB, HSV, or HSL) from an image.



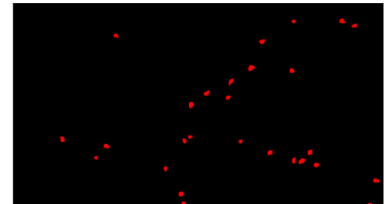
c) Brightness: Alters the brightness (85), contrast (53,7), and gamma (1,61) of an image.

d) Tool Gray Morphology 1-2: Modifies the shape of object in an image.

(Operation: Erode – Dilate; Structuring Element square 3×3 ; Iterations -2)



e) Threshold: Selects ranges of pixel values in grayscale images. (Threshold Type – Auto Threshold: Moment, Look For: Dark Object)



f) Adv. Morphology 1-4: (Operation: Remove border objects – Structuring Element square 3×3 - 4/8 Iterations-3; Fill holes; Convex hull; Remove small objects.)

Figure 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f - The algorithm of frames pre-processing using a tool of morphological and local threshold, version 2



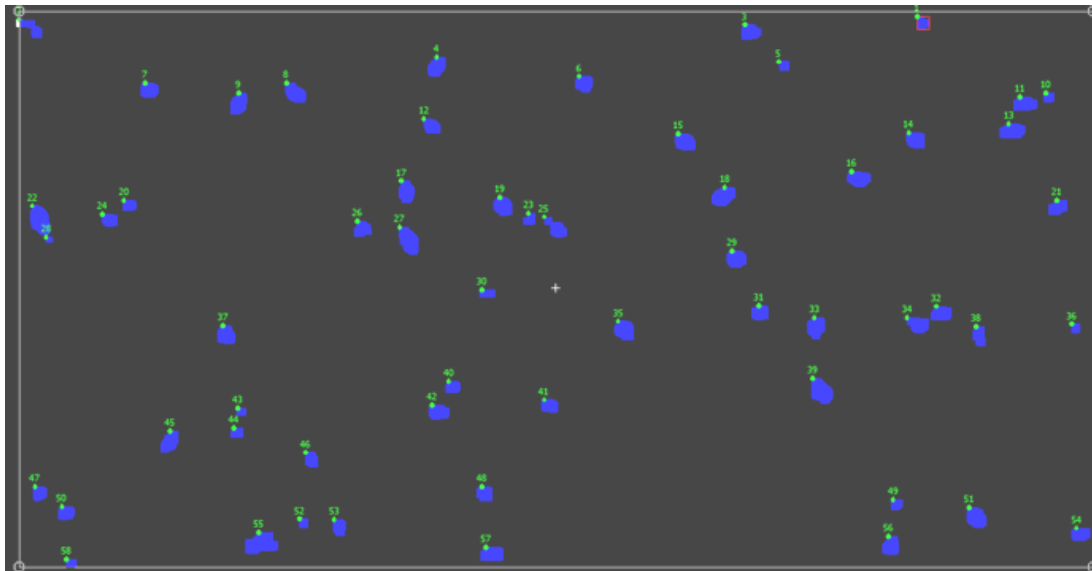
g) Color Operators: Performs arithmetic and logical operations on images. (Operation: Multiply 255)

Figure 2g - The algorithm of frames pre-processing using a tool of morphological and local threshold, version 2

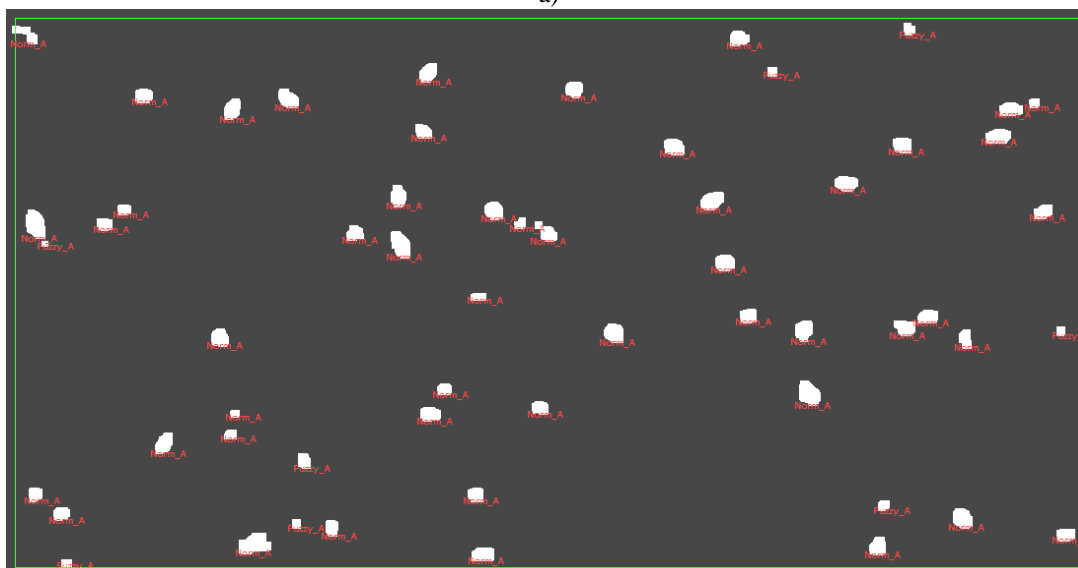
3. USING LABVIEW FOR REAL-TIME SIMULATION FOR CLASSIFICATION, TRACKING AND MATCHING WITH TEMPLATE OF MULTIPLE BIOLOGICAL OBJECTS

3.1 The frames pre-processing algorithm using the classification of multiple biological objects

Fig.3 shows the result of frames pre-processing algorithm using the classification of multiple biological objects.



a)



b)

Figure 3 - The frames pre-processing algorithm using the classification operation of multiple biological objects

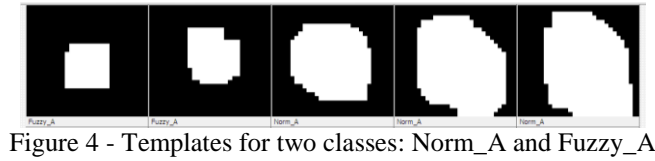


Figure 4 - Templates for two classes: Norm_A and Fuzzy_A

In NI Vision Assistant Interface a classification of 58 biological objects is made (Fig.3, a) on Norm_A and Fuzzy_A (Fig.3, b). Fig.4 shows the templates for two classes Norm_A and Fuzzy_A. Classification of particles is made by the method of Auto Threshold: Moments. Search of biological objects is done against a bright background with the Nearest Neighbor operation. The search method uses the metric - Sum. The result shows that the set of objects is divided by two classes with help of two types templates (Fig.4) - normal and fuzzy objects. And in the resulting window of image, every single object has its own index-number (Fig.3, a). A wide range of functional tools and qualitative detection of required fragments of objects images in the previous steps of the algorithm made it possible not only to classify biological objects more accurately, determine their parameters, shape, but also to evaluate their quantity. For comparison of the quality of the available in NI Vision Assistant tools we show in the next subsection the results obtained using Object tracking tool.

3.2 The frames pre-processing algorithm using tracking of multiple biological objects

Object tracking is a classical problem in computer vision and prerequisite solutions for many important tasks such as tracking of multiple biological objects. Such spermogram analysis is done on 200 frames. Both moving and slow-moving sperm is analyzed. Measuring sperm motility is determined by tracking operation with measuring the coordinates of sperm movement from frame to frame. Fig.5a, shows eight objects in the 106 frames with identification of their coordinates. Fig.5b shows templates for these objects. Tracking of biological objects is made from one frame to the next in a sequence of images. For tracking of biological objects Traditional Mean Shift algorithm with number of histogram bins - 8 and maximum iterations – 6 is used. The use of Object tracking tool makes it possible to determine the change of coordinates of these objects, to form and to process the coordinates with the ability to integrate to Excel. This enables clustering of multiple objects into groups with different moving speeds. This is an important parameter in the study of the sperm motility. Thus, we show that it is the use of NI Labview tools opens the possibility to build integrated environment still on stage of pre-selection of algorithms and designing of system, and makes it easy to go to the construction therein of ready-to-use projects. Some aspects of embedding the conveyor of preprocessing blocks on the basis of yet another final instrument, namely Pattern Matching, we will discuss in the next section.

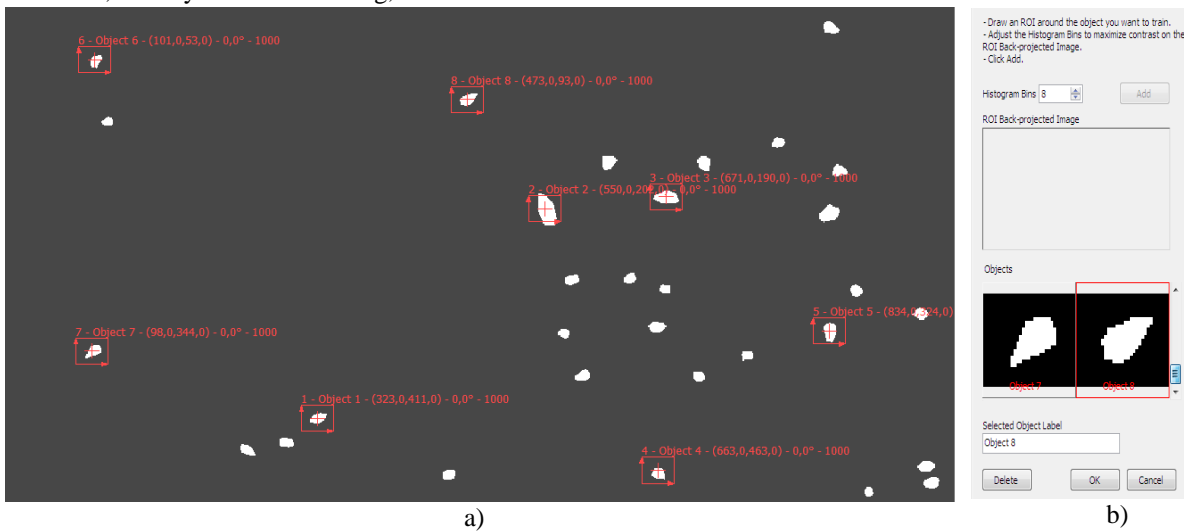


Figure 5 – Eight objects in the 106 frames with the definition of their coordinates

3.3 The frames pre-processing algorithm using the Pattern Matching process for multiple biological objects

Let's consider the algorithm of frames pre-processing using the Pattern Matching process for multiple biological objects. In the Fig.6, the block diagram with graphical source code of the preprocessing algorithm is shown. And the Front Panel of the user interface built in NI Labview with controls and indicators is shown in Fig.7a. 200 frames of the investigated biological objects in *.avi format are input from the Vision Acquisition source to the preprocessing algorithm, which is synthesized in the 1 Vision Assistant block. Vision Assistant 2 block uses the operation of Pattern Matching for multiple biological objects. The modules to count the number of objects in each frame, the sum total of all the frames and their average number are added to the project. The Fig.7a shows preprocessing by the algorithm of the biological objects and their number in each frame, the number of the frame processed, the total amount of the biological objects and their average numbers in frame. Fig.7b shows the results of processing of 200 frames using Pattern Matching process, and identification of 36 biological objects. Parameters for check and comparison of the template in the region of interest for multiple biological objects are shown.

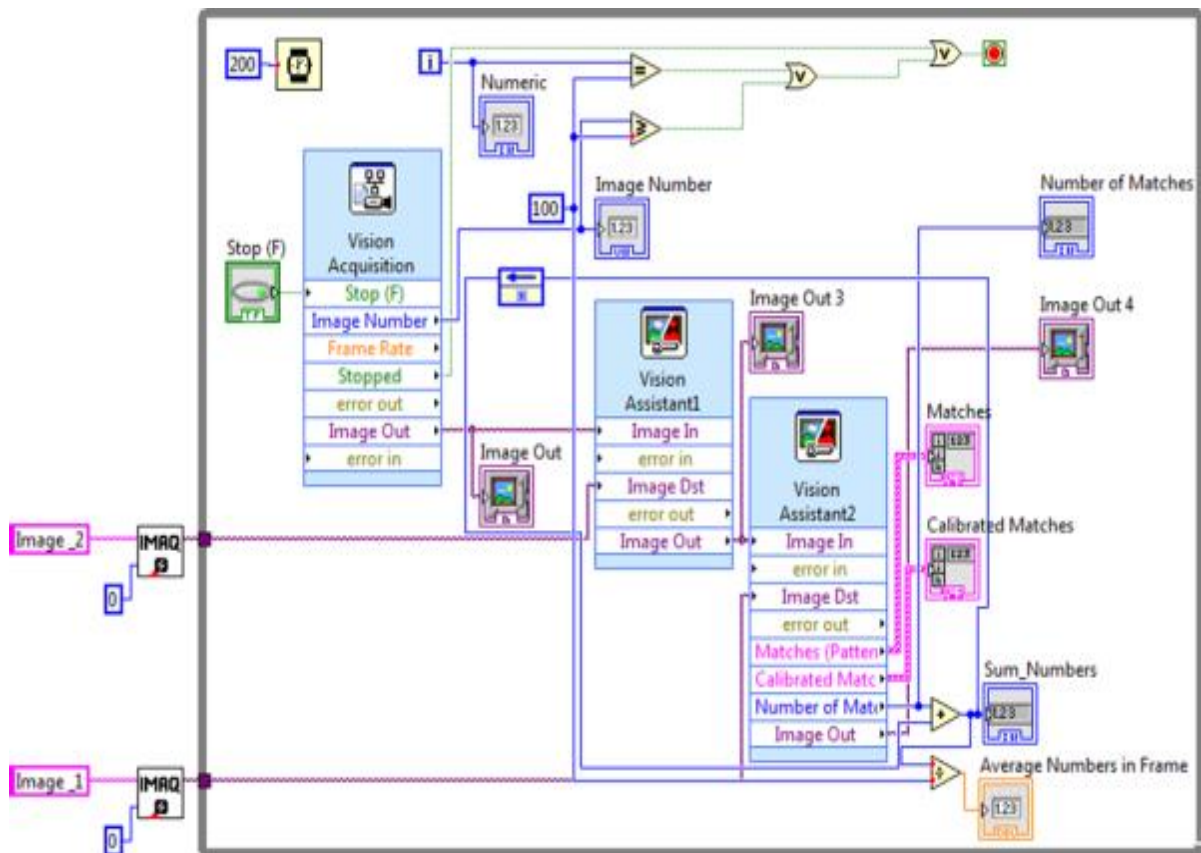


Figure 6 – The block diagram contains graphical source code of the preprocessing algorithm for detecting of biological objects

Similarly, to modules described in the sections 2-3, integral preprocessing modules are integrated into the finished project, or in their set, which sold a wide range of tasks and functional changes.

3.4 The frames pre-processing algorithm using the Geometric Matching process for multiple biological objects

The main indicators of sperm quality are the number of spermatozoons and their mobility. After preliminary image processing using NI Vision Assistant and Function Practical Analysis, we will count the number of spermatozoa and determine their basic parameters. Fig. 8 shows the input frame, the frame after preprocessing and the determination of mobility.

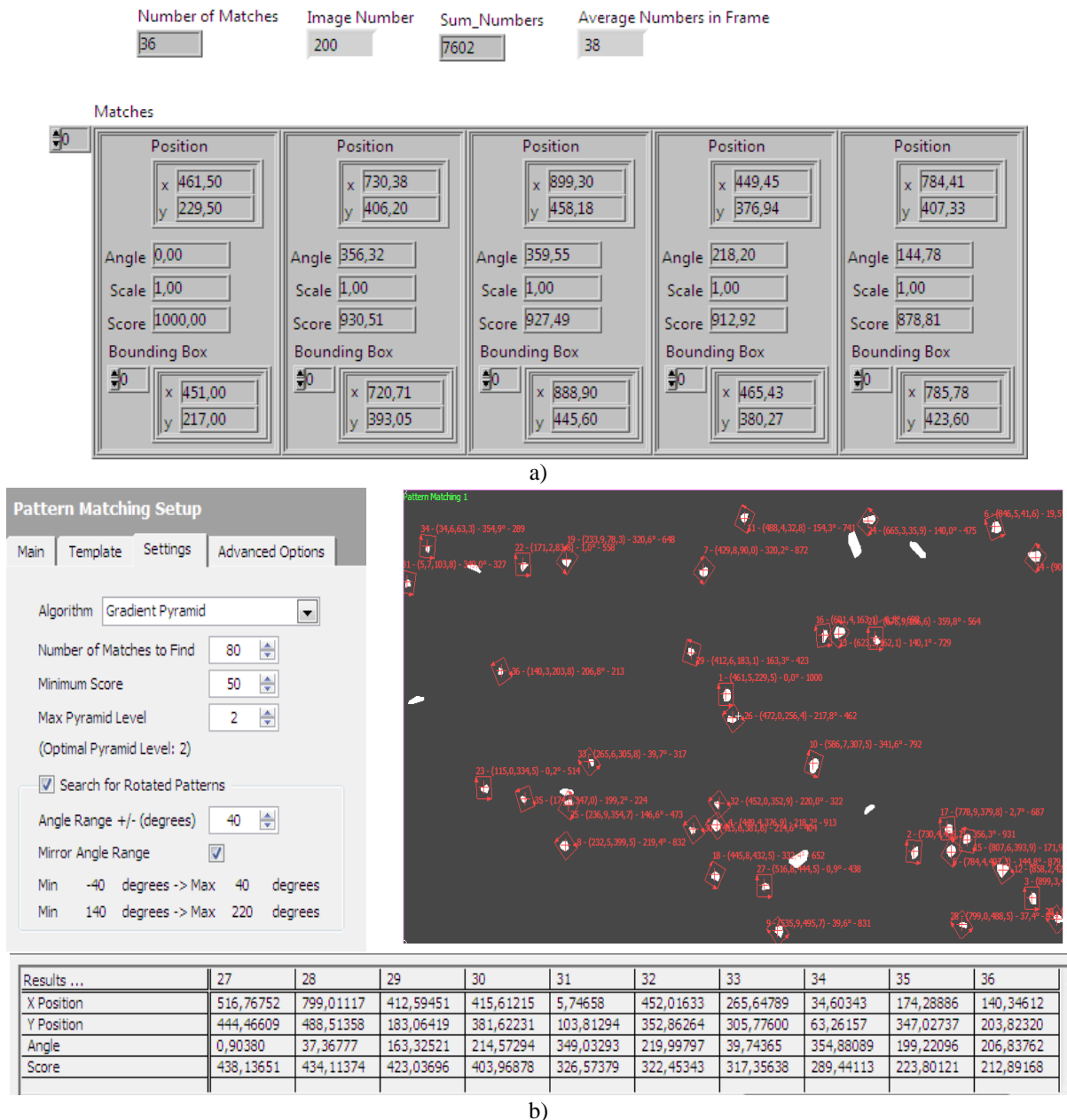
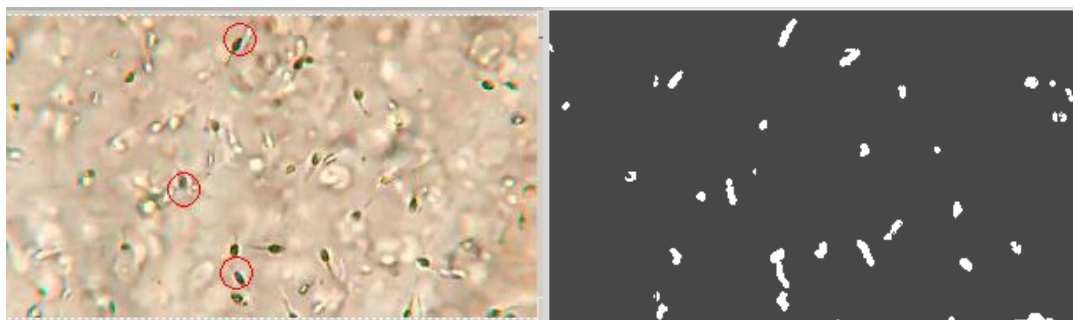


Figure 7 - The frames pre-processing algorithm using the Pattern Matching process for multiple biological objects. a) User interface built in NI Labview, the Front Panel with controls and indicators. b) Tool Pattern Matching: Checks the presence of a template in the entire or in a region of interest based on its intensity (Algorithm – Gradient Pyramid; Number of Matches to Find – 80; Minimum Score – 50; Max Pyramid Level – 2; Search for Rotated Patterns ± 40 degrees; Mirror Angle Range $-40^{\circ} \div 40^{\circ}$, $140^{\circ} \div 220^{\circ}$)



a) Input frame with indicated best sperm b) Frame after mobility analysis
Figure 8 - Simulation results of spermatozoon's analysis

In this example, the number of particles is 24, and the main parameters of the first five particles, namely the position and size, are shown in Table 1.

Table 1 – Parameters of the first 5 particles after analysis

Object #	Center of Mass X	Center of Mass Y	Bounding Rect Diagonal	Perimeter	Max Feret Diameter	Area	% Area/Image Area
1	529,57426	24,40594	16,97056	37,18959	14,42221	101	0,04384
2	430,05806	27,90323	22,80351	56,25136	19,31321	155	0,06727
3	120,67442	49,81395	12,80625	27,70276	10,19804	43	0,01866
4	220,13274	64,9469	18,02776	39,61967	15,52417	113	0,04905
5	618,75281	66,94382	15,81139	35,53274	13,60147	89	0,03863

To determine the motility of the spermatozoons, we perform a logical sum operation on the frames. As a result, during the motion of the sperms, their trajectories will be formed, according to which we can determine the number of progressively fast moving (class A), the number of progressively slow mobility (class B), the number of low active (class C) and fixed (class D).

4.CONCLUSIONS

The tasks of real-time tracking of the dynamics of movement of various biological objects are researched in the work. Specificity of these objects, conditions of their visualization and model parameters strongly influence the choice of methods and algorithms, which are optimal for a specific task. Therefore, in this article, in order to automate the processes of adaptation algorithms of recognition - tracking, we suggest several frames pre-processing algorithms using NI Labview tools and Vision Assistant. Preprocessing included equalization of general background luminance of the image, elimination of high-frequency noise and different artifacts (highlighted areas, gaps, fractures, etc.) from the original image, contrasting, thresholding, binarization and other functional transformations. Several shortcomings have been identified by using the differential image shifted for one frame. Such a pre-processing operation is made to remove not moving objects or static elements in the image. For further reconstruction, the moving objects in the image are enhanced by sharpening and processed by algorithms. At that while preprocessing it can be seen that moving objects in the image are duplicated due to the difference of frames. Therefore, the counting results are inaccurate. Furthermore, both in the first and second versions of the algorithm preprocessing result in many fragments, which are not identified as biological objects. The paper shows the possibility of building frames preprocessing algorithms in the stream for a number of biological objects. Modern computer processing and image analysis techniques will improve the quantity and quality analysis of the patient's spermogram.

REFERENCE

1. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. — 5-d edition. — World Health Organization, 2010. — ISBN 978 92 4 1547789 [Електронний ресурс] - Режим доступу: URL: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44261/1/9789241547789_eng.pdf
2. Dhawale A. P. "Real-Time Image Processing for Biological Applications Through Morphological Operations using LabVIEW"/ A. P. Dhawale, S. R. Hirekhan // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) - Vol. 3 Issue 5, May – 2014, p.1262-1265
3. Gonal J. S. "Morphological Segmentation of the Brain Tumors by Using Image Processing and LabVIEW" /J. S. Gonal, V. V. Kohir // X International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) - Volume 4, Special Issue, March 2015, p.334-341
4. Razali Tomari "Development of red blood cell analysis system using NI Vision Builder AI"/ Razali Tomari, Jalil Lias, Rabiatuladawiah Musa and Wan Nurshazwani Wan Zakaria // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences - Vol. 10, NO 19, October, 2015, p.8692-8698
5. Krasilenko Vladimir G. "Equivalent models of neural networks and their effective optoelectronic implementations based on matrix multivalued elements"/ Vladimir G. Krasilenko, Anatoly K. Bogukhvalsky, Andrey T. Magas // Proceedings of SPIE - Vol. 3055, pp. 127-136.
6. Krasilenko Vladimir G. "Application of nonlinear correlation functions and equivalence models in advanced neurons"/ Vladimir G. Krasilenko, Oleg K. Kolesnitsky, Anatoly K. Bogukhvalsky // Proceedings of SPIE - Vol. 3317, pp. 211-222
7. Krasilenko Vladimir G. "Continuous logic equivalence models of Hamming neural network architectures with adaptive-correlated weighting" /Vladimir G. Krasilenko, Felix M. Saletsky, Viktor I. Yatskovsky, Karim Konate // Proceedings of SPIE - Vol. 3402, pp. 398-408
8. Krasilenko Vladimir G. "Optical pattern recognition algorithms on neural-logic equivalent models and demonstration of their prospects and possible implementations" / Vladimir G. Krasilenko, Aleksandr I. Nikolskiy, Alexandr V. Zaitsev, Victor M. Voloshin // Proceedings of SPIE - Vol. 4387, pp. 247-260.

9. Krasilenko Vladimir G. "Prospects of liquid crystal structures application in instrumental realizations of neural network matrix-tensor equivalent models (MTEM)" / Vladimir G. Krasilenko, A. E. Nikolsky, M. Y. Bilynska, A. L. Pastushenko // Proceedings of SPIE - Vol. 4938, pp. 212-222.

10. Krasilenko Vladimir G. "Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions" / Vladimir G. Krasilenko, Alexander A. Lazarev, Svetlana K. Grabovlyak // Proceedings of SPIE - Vol. 8398.

11. Krasilenko Vladimir G. "Recognition algorithms of multilevel images of multicharacter identification objects based on nonlinear equivalent metrics and analysis of experimental data" / Vladimir G. Krasilenko, Aleksandr I. Nikolsky, Yuriy A. Bozniak // Proceedings of SPIE - Vol. 4731, pp. 154-163.

12. Krasilenko Vladimir G. "Using a multi-port architecture of neural-net associative memory based on the equivalency paradigm for parallel cluster image analysis and self-learning" / Vladimir G. Krasilenko, Alexander A. Lazarev, Svetlana K. Grabovlyak, Diana V. Nikitovich // Proceedings of SPIE - Vol. 8662.

13. Krasilenko Vladimir G. "Modeling optical pattern recognition algorithms for object tracking based on nonlinear equivalent models and subtraction of frames" / Vladimir G. Krasilenko, Aleksandr I. Nikolsky, Alexander A. Lazarev // Proceedings of SPIE - Vol. 9813.

14. National Instruments [Електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <http://www.ni.com/>

Стаття надійшла: 23.02.2018.

Відомості про авторів

Нікольський Олександр Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри Радіотехніка, Вінницький національний технічний університет.

Білинський Йосип Йосипович - д.т.н., професор кафедри Електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет.

Лазарєв Олександр Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри Електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет.

Красиленко Володимир Григорович – к.т.н., доцент, доцент кафедри Інформатики, Вінницький соціально-економічний інститут.

А. И. Никольский¹, И. И. Билинский¹, А. А. Лазарев¹, В. Г. Красиленко²

НОВЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МНОЖЕСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

¹ Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

² Вінницький соціально-економічний інститут, Вінниця;

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.416.6

С. С. Великодний, О. С. Тимофєєва, С. С. Зайцева-Великодна, К. Є. Нямцу

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДКРИТОГО, ВІЛЬНОГО ТА КОМЕРЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

Анотація. У статті проводиться порівняння програмних продуктів, що взяті на безкоштовній основі, програмних продуктів, що поширюються за вільними ліцензіями із відкритим кодом, та комерційних розробок. Аналіз виконано за результатами дослідження реальних даних попиту, на підставі вивчення більш ніж двох сотень найпопулярніших продуктів від компаній-розробників ПЗ. Результати візуалізовано у вигляді побудованих гістограм, що містять чинники переваг та недоліків у відповідному процентному співвідношенні, та сформованих таблиць, що наочно розмежують вивчені властивості ПЗ. Виконання всебічного аналізу різних видів ПЗ дозволяє остаточно визначити межі понять: відкрите, вільне чи комерційне ПЗ. Результат аналізу стане у пригоді при виділенні переваг чи недоліків по кожному із видів ПЗ. Цей набір властивостей забезпечить однозначність обрання компанією або фірмою того чи іншого виду ПЗ для задоволення конкретного функціонального галузевого набору.

Ключові слова: програмне забезпечення, програмний продукт, відкрите, вільне, комерційне, вихідний код, переваги, недоліки, чинники, властивості.

Аннотація. В статті проводиться сравнение программных продуктов, взятых на бесплатной основе, программных продуктов, распространяющихся по свободным лицензиям с открытым кодом, и коммерческих разработок. Анализ выполнен по результатам исследования реальных данных спроса, на основании изучения более двух сотен самых популярных продуктов от компаний-разработчиков ПО. Результаты визуализированы в виде построенных гистограмм, содержащих факторы преимуществ и недостатков в соответствующем процентном соотношении, и сформированных таблиц, наглядно разделяющих изученные свойства ПО. Выполнение всестороннего анализа различных видов ПО позволяет окончательно определить границы понятий: открытое, свободное или коммерческое ПО. Результат анализа будет полезным при выделении преимуществ или недостатков по каждому из видов ПО. Этот набор свойств обеспечит однозначность избрания компанией или фирмой того или иного вида ПО для удовлетворения конкретного функционального отраслевого набора.

Ключевые слова: программное обеспечение, программный продукт, открытое, свободное, коммерческое, исходный код, преимущества, недостатки, факторы, свойства.

Abstract. The article compares software products taken for free, software products distributed under free open source licenses and commercial ones developments. The analysis is based on the results of real study demand data, based on the study of more than two hundred of the most popular products from software companies. The results are visualized in the form of constructed histograms containing factors of advantages and disadvantages in the corresponding percentage and the generated tables clearly distinguishing the studied properties of the software. Performing a comprehensive analysis of software various types allows you to finally define the boundaries of concepts: open, free or commercial software. The result of the analysis will be useful in highlighting the advantages or disadvantages for each type of software. This set of properties will ensure the uniqueness of the company or firm choosing a particular type of software to meet a specific functional industry set.

Key words: software, software product, open source, freeware, commercial, source code, advantages, disadvantages, factors, properties.

Вступ

Відкрите програмне забезпечення (англ. Open-Source Software) – програмне забезпечення (ПЗ) з відкритим вихідним кодом. Вихідний код у таких програмних системах доступний для перегляду, вивчення та зміни [1]. На основі такого ПЗ можна створювати модифікації, виправляти помилки, створювати нове ПЗ.

Дуже часто використовується ще один термін для надання характеристики програмним системам – вільне ПЗ. Визначення відкритого і вільного ПЗ не цілком збігаються один з одним, але близькі.

Відмінністю між відкритим і вільним ПЗ полягають, в основному, у точці зору їх розробників. Ті, хто підтримує поняття «Open-Source» дивляться на програми з точки зору ефективності їх відкритих початкових кодів як методу розробки, модернізації та супроводу. Прихильники «Free-Software», як правило, вважають, що найголовнішим у такому програмному продукті – це його безоплатне розповсюдження [1]. Як ми бачимо: відмінності не дуже істотні, але у своїх рамках їх утримують певні ліцензійні угоди, які й визначають статус продукту.

Комерційне ПЗ з відкритим вихідним кодом (синонім англ. Open-Core) являє собою програмний продукт, який містить деякі елементи вільного і відкритого програмного забезпечення для того, щоб законно претендувати на статус «Open-Source». Іноді у відкритій, безкоштовній версії виключаються деякі можливості, що присутні у комерційній версії цього ж продукту, яка поширюється за пропрітарною ліцензією. Відкриття частини вихідного коду, який створений раніше під пропрітарною ліцензією, залишає потенційну можливість прив'язки такого рішення до одного-єдиного постачальника.

Мета за завдання дослідження

Метою поданої статті є виконання всебічного аналізу різних видів ПЗ для остаточного визначення меж понять: відкрите, вільне чи комерційне ПЗ. Результатом аналізу стане виділення переваг та недоліків по кожному виду ПЗ, що забезпечить однозначність обрання того чи іншого ПЗ при задоволенні конкретного критерію.

Щоб досягти мету роботи необхідно повністю розібрати безкоштовні програмні продукти, що поширюються за вільними ліцензіями із відкритим кодом, та провести порівняльний аналіз продуктів. Розбір та перекодування комерційного ПЗ неприйнятне, оскільки спроба роботи із кодом, у даному випадку, є кримінально-каранною дією, тому дані, що стосуються платного ПЗ – будемо отримувати по факту експлуатації та згідно із відгуками користувачів.

Розв'язання завдання

На просторах глобальної мережі можна знайти програмні продукти, які є платними, але при цьому мають відкритий програмний код. Прикладом може бути архіватор UnRAR. Такі програмні продукти – цілий окремий клас. Вони використовують термін «Open-Source» щодо платного ПЗ. Найчастіше зустрічаються 2 варіанти таких програм:

а) умовно-безкоштовна версія з відкритим кодом та обмеженими можливостями (3 – 4 основних або дуже корисних модуля є платними);

б) платна програма із відкритим кодом. Таке ПЗ розвиває власним темпом компанія, код відкривається для загального розвитку або ж для пошуку нових програмістів до компанії;

Випуск програмного продукту під подвійною ліцензією – це зовсім інший спосіб створення «Open-Source» рішення на основі пропрієтарного коду.

Вихідні коди відкритих програм випускаються або як суспільне надбання, або на умовах «вільних» ліцензій як, наприклад, GNU – General Public License чи BSD License. Вільна ліцензія дозволяє використовувати вихідний код програми для своїх потреб із мінімальними обмеженнями, що не суперечать визначенню «Open-Source» [2]. Таким обмеженням може бути вимога посилатися на попередніх творців або вимога зберігати властивість відкритості при подальшому поширенні тієї ж самої або модифікованої відкритої програми (копілефт) [3]. У деяких випадках (наприклад, Apache або FreeBSD) ці обмеження дуже малі, в інших (наприклад, GNU – General Public License) досить поширювати ПЗ разом із вихідним кодом та текстом ліцензії, не змінюючи її.

Системи автоматизованого проектування (САП або CAD) з відкритим вихідним кодом так само мають широке поширення. Наприклад якщо взяти Linux, то майже всі CAD-системи, у яких можна комфортно працювати є безкоштовними і вільно-поширюваними, тобто модифікуються тільки силами добровольців-ентузіастів. Звичайно в порівнянні з тим же AutoCad або SolidWorks їх можливості поки виглядають не так стабільно, але чи багато хто використовує ці САП на повну потужність? Знову ж таки: зручністю відкритих систем є можливість роботи з усіма простими, але потрібними функціями, а чого не вистачає – завжди можна дописати чи знайти того, хто вже дописав, тому будь-які модифікації, з часом, з'являються в Інтернеті. Існує досить багато перспективних проектів з відкритим кодом, які, з часом, переростуть у щось більше [4].

Отже, суть «Open-Source» систем з відкритим кодом є можливість змінювати і створювати програмний продукт під свої потреби [5]. У таких системах існує ряд переваг і недоліків, що зведені до табл. 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки ПЗ з відкритим кодом

Відкрите програмне забезпечення (Open-Source Software)	
Переваги:	Недоліки:
повна або часткова безкоштовність для користувачів, а звідси й добра поширеність	безкоштовне ПЗ не має такого широкого функціоналу, як у платного ПЗ
систему декомпозовано на модулі, кожен з яких відповідає за власну задачу, у наслідок чого розробка, удосконалення та налагодження виконуються набагато швидше та легше	вихідний код доступний будь-якому користувачеві, тобто будь-хто може знайти уразливості й помилки програмного продукту і використовувати їх у своїх цілях (але цей варіант досить рідкісний)
виробник ПЗ не може шпигувати, обманювати і створювати спеціальні незручності – backdoors (поняттям «backdoors» фахівці позначають спеціально залишені або розроблені вразливості у захисті системи, які можна використовувати для крадіжки та зміни даних користувача)	у безкоштовного ПЗ відсутні підготовчі курси, системи допомоги у програмах, сертифіковані навчальні посібники та служби технічної підтримки, тобто будь-які питання з помилками, нестикуваннями та ін. доводиться вирішувати самотужки
можливість поліпшення ПЗ власноруч	метод розробки – дуже часто подальша розробка

чим більше поширене ПЗ, тим легше знайти тестерів та вільних програмістів готових працювати над поліпшенням продукту	ПЗ виконується недосвідченими фахівцями, результатом чого стають недопрацьовані модулі.
проста інтеграція компонентів від різних розробників	розвиток однієї програми в принципово різних напрямках – випадки, коли розробки настільки різні, що поєднати модулі стає неможливо. Найвідомішим прикладом є дистрибутиви Linux, де існують розробки компаній та вільних користувачів і як результат не повна сумісність
при виникненні помилки виправляти треба тільки модуль у якому вона виникла	

На даний момент більше половини компаній включили ПЗ з відкритим кодом у свої ІТ-стратегії, як заявляють в Gartner. При цьому майже третина респондентів назвала, у якості переваги такого ПЗ, гнучкість, швидкість впровадження та скорочення часу розробки. ПЗ з відкритим вихідним кодом використовується в багатьох галузях, включаючи управління бізнес-процесами, проектування, ІТ-безпека, управління ризиками тощо. Як відзначають аналітики [4], конкурентні переваги у галузі ІТ відіграють все більшу роль і використання рішень «Open-Source» може дати їх компаніям значні переваги перед конкурентами. Наприклад, якщо компанія змінює код додатку, зробивши його унікальним, вона отримує певну перевагу. Найчастіше відкриті рішення використовуються компаніями у комплексі з власними розробками.

Платне програмне забезпечення так само має ряд переваг та недоліків, що зведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Переваги та недоліки комерційного ПЗ

Платне (ліцензійне) програмне забезпечення	
Переваги:	Недоліки:
легке впровадження в організації – у будь-яких фірм-розробників, що займаються програмними продуктами є план з швидкого і якісного впровадження	комерційне ПЗ закрито, його розробники зберігають таємниці своїх рішень та не розкривають: внутрішньої архітектури, форматів представлення даних, інтерфейсів
краща продуктивність і оптимізація	будь-які комерційні рішення випускаються у формі великих модулів, дрібні модифікації не проводяться, що призводить до того, що людина отримує разом з однією потрібною функцією декілька функцій, що невикористовуються
система підтримки – питаннями та виправленням помилок займається спеціальна команда	
захищеність програмного продукту – кожен комерційний програмний продукт має свою систему захисту (що постійно розвивається) від шпигунства	у 60% випадків не передбачена заміна компонентів, тобто не розвинена система підключення модулів;
автоматичне оновлення – ліцензійний пакет містить не просто покупку продукту та виправлення помилок, але й можливість поліпшення системи з часом	не існує єдиного стандарту – можливість інтеграції з продуктами третіх фірм практично не передбачено
організована система продажу – сервіси надаються постачальниками комерційного ПЗ	якщо програмний продукт не влаштовує клієнта у можливостях, то доводиться купувати нову версію
	якщо побудоване рішення (у новій версії) не влаштовує клієнта або виникають проблеми, то залишається чекати (наступної версії), а при урахованні того, що випускаються нові рішення тільки у формі великих модулів – це займає великий проміжок часу

За результатами аналізу попиту розробок 228 компаній було виділено переваги відкритого ПЗ над комерційним, що знайшли відображення у відповідних процентних відношеннях гістограми, приведеної на рис. 1. Само опитування тривало 2,5 місяці, відбувалося у шести містах України (Київ, Харків, Одеса, Львів, Запоріжжя, Миколаїв) та чотирьох містах Польщі (Варшава, Торунь, Люблін, Вроцлав), причому подекуди опитування проводилося через спеціалізовані форуми. Серед респондентів були присутні різні класи користувачів ПЗ, які погодилися надати відповіді на запитання будь-якому одному з чотирьох авторів статті. Опитуванням охоплено науковців, студентів, аспірантів, співробітників бюджетних організацій, приватних підприємств, держслужбовців. Серед усіх названих програмних продуктів, було підраховано кількість розробників – 228.

Першою і, безумовно, найголовнішою перевагою відкритих ПЗ виявилася ціна. Звичайно відкрите ПЗ – це набагато більше ніж просто безкоштовна програма на просторах Інтернету, але при цьому замовники та власники фірм на перше місце ставлять саме цей фактор. Досить часто трапляються випадки, коли корпоративний замовник звертає увагу тільки на ціну, але при цьому не враховує функціональність, що призводить до сумних наслідків.

Другим пунктом є доступ до вихідного коду. 57% респондентів сказали, що це є одним з найбільш важливих факторів. По суті – це так і є, адже якщо є хороша команда програмістів, то можливо створити будь-який потрібний додаток або знайти його. Все одно: витрати будуть менші, а результати швидші ніж у комерційній сфері, але далеко не кожному споживачеві, як виявилося, потрібна можливість працювати з вихідним кодом – досить часто вистачає й стандартних функцій.

Оперативне виправлення багів та захист стоять на наступному місці, тому і те й інше, в продуктах з відкритим кодом, часто страждає або взагалі відсутнє. Як показує статистика – потреби у складному захисті немає, адже відкрите ПЗ найчастіше використовують малі та середні компанії, у яких, по-справжньому, серйозні атаки відбуваються дуже рідко.

Якість коду і краща продуктивність за статистикою займають одне з останніх місць. Це не дивно тому, що модифікації програмного продукту та модулів часто проводяться недосвідченими програмістами (найчастіше є першими проектами початківців), в наслідок чого «чистота» коду й продуктивність залишають бажати кращого.

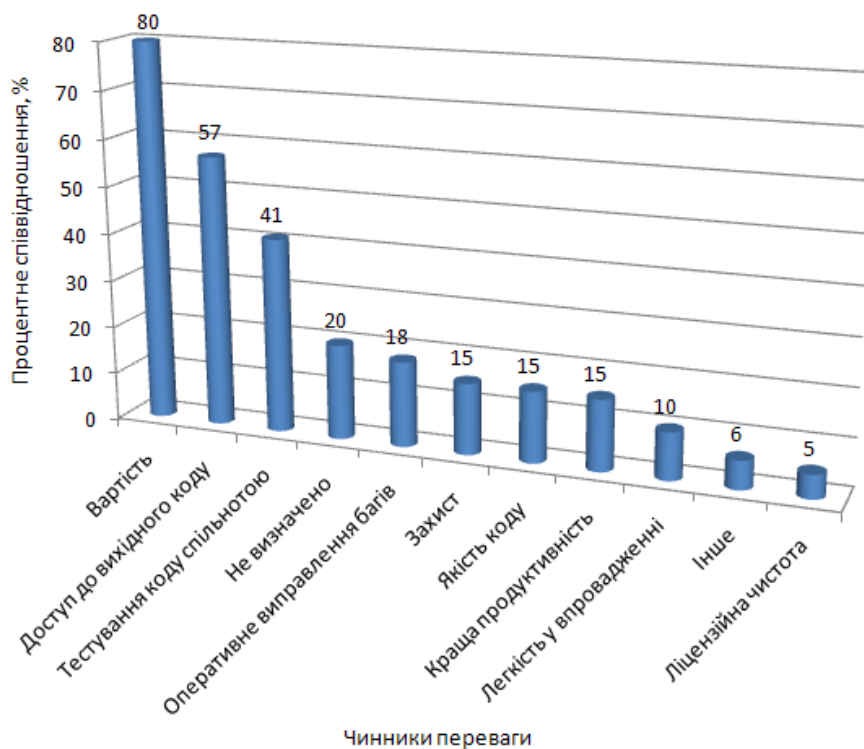


Рисунок 1 – Переваги відкритого ПЗ над комерційним

Легкість у впровадженні в організацію та ліцензійну чистоту відзначили лише 10% та 5% респондентів. З причини безкоштовності продукту впровадженням, зазвичай, доводиться займатися самому споживачеві, що у випадку невеликих фірм не викликає великих проблем. Середні фірми, зазвичай, мають складнощі з впровадженням, які доводиться вирішувати своїми силами, що займає чимало часу ще й з причини поганої оптимізації продукту під потреби великої кількості користувачів.

Переваги комерційних ПЗ над відкритими знайшли відображення у відповідних процентних відношеннях гістограми, поданої на рис. 2.

У комерційного ПЗ є одна дуже велика перевага, відзначили 65% респондентів – це організована система продажів. В Інтернеті, в магазинах можна знайти повний список властивостей, книг-помічників, консультантів тощо. Великий відсоток людей, що купують ПЗ звертають на це увагу, адже набагато простіше використовувати інформацію, яка вже сформульована.

Друга велика перевага комерційного ПЗ – легкість у впровадженні. Політика впровадження комерційного ПЗ має на увазі подальшу співпрацю підприємства з виробником протягом кількох років,

після чого проводиться аналіз ефективності та приймається рішення про подальшу співпрацю із компанією або перехід на інший програмний продукт.

Важливу роль грають автоматичне оновлення та система підтримки. Багато фірм вважають за краще залишити вирішення питань та виправлення помилок спеціалістам, які створили програмний продукт. Хоча, з іншого боку, вони не мають вибору – адже код програмного продукту закритий. Що ж до автоматичного оновлення – багато залежить від договору із клієнтом. Великі фірми, зазвичай, домовляються про створення нової версії під потреби та фіксовану мету; малі компанії часто задовольняються й стандартними оновленнями, що зафіксовано у ліцензійній угоді.

За переваги захисту проголосувало всього лише 23% опитаних. Проаналізованих причин для такого результату дві:

- а) захист не потрібен тому, що не проводиться масивних атак та витоків інформації (ситуація звичайна для дрібних фірм);
- б) захист, який існує – занадто слабкий для утримання серйозних атак (ситуація звичайна для великих фірм).

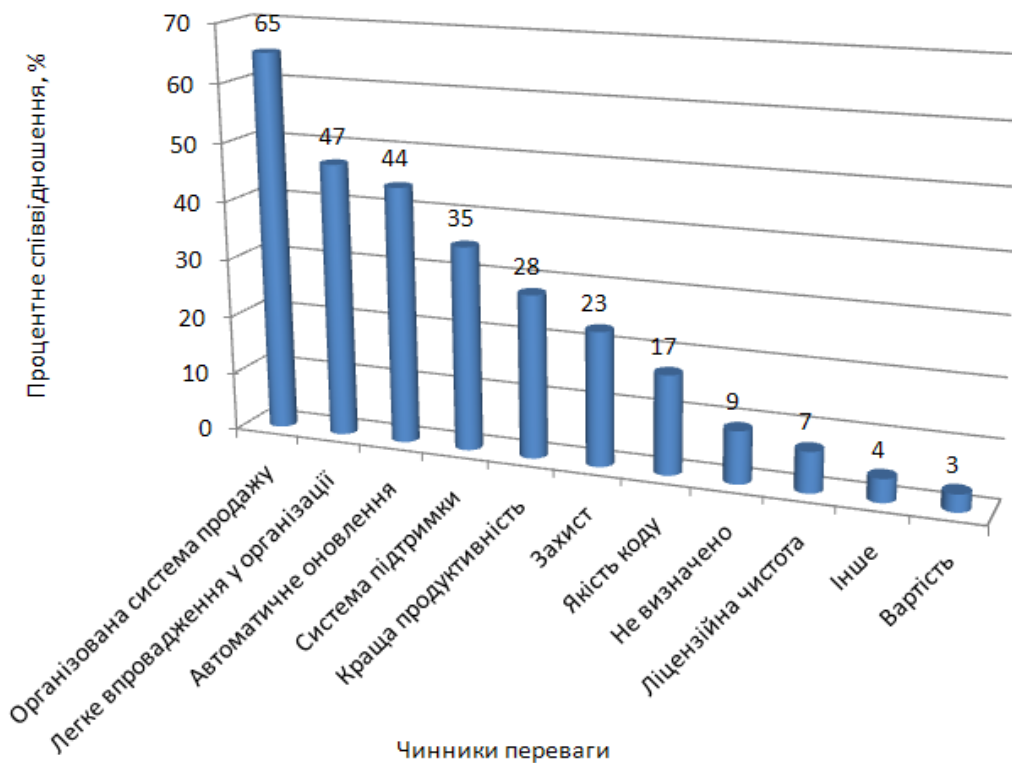


Рисунок 2 – Переваги комерційного ПЗ над відкритим

Якість коду зацікавило тільки 17%. Звичайно це впливає на продуктивність, але при цьому код є закритою частиною проекту в комерційному ПЗ, тому не особливо зрозуміло: чим обумовлено таке зацікавлення компаній.

Ліцензійна чистота та вартість грає дрібну роль у перевагах комерційних програмних продуктів тому, що сплачувати за продукт небагато бажаючих, крім того: модифікації виробляє тільки одна компанія, що, скоріше, є великим мінусом.

Переваги та недоліки різних видів ПЗ інтегровано у табл. 3.

Досить цікавий факт, що користувачів не особливо хвилює ліцензійна чистота продуктів: відкриті вони чи загальнодоступні або є комерційними проектами. Таке саме положення із захистом та якістю коду.

На даний момент багато західних аналітиків схиляються до використання відкритого ПЗ, тому вже з'явилися корпорації та фірми, які забезпечують сервіс та підтримку для безкоштовних програм, та при цьому є можливість працювати із кодом. А ні допомогу спільноти, ні низькі ціни на продукт – комерційний розробник забезпечити не в змозі.

Таблиця 3 – Присутність властивостей у комерційних та вільних ПЗ

Властивості:	Комерційне ПЗ	Відкрите ПЗ
вартість	+	–
служба підтримки	+	–
автоматичне оновлення	+	–
захист	+	–
організована система продажу	+	–
відкритий вихідний код	–	+
робота з великими модулями	+	–
робота з дрібними модулями	–	+
єдиний стандарт проєктів	–	–
легкість впровадження	+	–
підготовчі курси, навчальні посібники	+	–
виробничий шпигунство розробниками	+	–
розробка і поліпшення модулів своїми руками	–	+
зручність виправлення помилок	–	+
декомпозиція на модулі	–	+

Що ж стосується ситуації із Україною – наші розробники не активні у роботі з відкритим ПЗ. Однією з причин є те, що таке ПЗ не так давно з'явилося на наших ринках і програмісти поки «не влилися» у світовий потік модифікацій програмних продуктів. Так само: багато власників компаній та менеджери ще не досконалі у знаннях про можливості відкритого ПЗ та обирають недорогі аналоги за критерієм мінімізації вартості. Слід додати, що у останні три роки – зростає тенденція відмови від російського галузевого ПЗ (проєктування, фінанси, управління підприємством тощо).

Висновки

Таким чином, в результаті написання статті – було досягнуто її мету. Було визначено переваги та недоліки різних видів ПЗ. Причиною обрання такої теми стало постійне зростання та популяризація відкритого ПЗ у всьому світі. У найпрогресивніших країнах вже давно нове ПЗ не розроблюється з нуля, для них використовуються системи, які допомагають набагато швидше та ефективніше створити будь-які потрібні структуровані дані.

Методологія «Open-Source» знайшла активне використання досить нещодавно, але дуже швидко інтегрувалася у загальну структуру розробки. Її зручність в тому, що її не прив'язано до жодного з методів розробки та є дуже гнучкою у використанні. Розвиток означеної методології притаманно для Заходу та Європи. Україна сильно відстала в цьому плані і тільки у 2010 р. почалися роботи з активної експлуатації відкритих систем у тому вигляді, у якому вона представлена зараз.

Під час проведення аналізу цієї галузі, проблемною стала відсутність будь-яких навчальних матеріалів щодо відкритого ПЗ. У деяких випадках, присутні тільки інструкції користувача, що хоч і дозволяють користуватися ПЗ та будувати чи відновлювати код, але приховують деякі спеціалізовані корисні можливості від користувачів, що не мають рівень підготовки, який дозволяє працювати з англійськими інструкціями, специфікаціями та підручниками.

Головна перевага відкритих та вільних програмних продуктів полягає в тому, що поширюються вони за вільною ліцензією та не виникає жодних проблем із законом через: копіювання, модифікацію та інші дії із кодом. Так само слід зазначити, що оскільки код виконано відкритим, то існує тенденція, що розробники додають коментарі, щоб цей код був ще і зрозумілий.

Одним із головних недоліків відкритих систем є відсутність вірного та прийняттого інтерфейсу продукту, втім розробкою інтерфейсу дизайнери, зазвичай, займаються із половини, а то й ближче до закінчення проєкту – коли вже точно відомий повний функціонал і принципи роботи ПЗ.

З економічної точки зору, використання відкритого ПЗ вигідно, адже це суттєва економія бюджету компанії та розвиток професіоналізму команди, а наведений у статті результат аналізу – стане у пригоді при виділенні переваг чи недоліків по кожному із видів ПЗ. Цей набір властивостей забезпечить однозначність обрання компанією або фірмою того чи іншого виду ПЗ для задоволення конкретного функціонального галузевого набору.

Перелік посилань

1. Goodbye, «free software»; hello, «open source» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.webcitation.org/617oVjIKk>.
2. Categories of free and nonfree software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gnu.org/philosophy/categories.en.html>.

3. What is free software? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.en.html>.

4. High Priority Free Software Projects by Free Software Foundation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.fsf.org/campaigns/priority-projects/>.

5. Open Source Paradigm Shift by Tim O'Reilly [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://archive.oreilly.com/pub/a/oreilly/tim/articles/paradigmshift_0504.html.

Стаття надійшла: 20 лютого 2018 р.

Відомості про авторів

Великодний Станіслав Сергійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій.

Тимофєєва Олена Сергіївна – аспірант кафедри інформаційних технологій, м. Одеса.

Зайцева-Великодна Світлана Сергіївна – технік 1-ї кат. навчальної лабораторії інформатики та чисельних методів, м. Одеса.

Нямцу Костянтин Євгенович – студент факультету комп'ютерних наук, м. Одеса.

S. S. Velykodniy, O. S. Tymofieieva, S. S. Zaitseva-Velykodna, K. Ie. Niamtsu

COMPARATIVE PROPERTIES ANALYSIS OF OPEN, FREE AND COMMERCIAL SOFTWARE

Odessa State Environmental University, Odessa

УДК 004.77 (045)

Т. І. Трояновська, Л. А. Савицька, В. Л. Комаров

ЗАСОБИ ТА МОДЕЛЬ МОНІТОРИНГУ ДАНИХ МІКРОСЕРВІСНОЇ СИСТЕМИ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. Дана робота присвячена дослідженню методів та засобів для комплексного моніторингу додатків, що побудовані за принципами мікросервісної архітектури з метою швидкої локалізації проблем у роботі таких систем. Зокрема, виконано аналіз основних засобів збирання інформації про роботу мікросервісних додатків; аналізу цієї інформації, її систематизації та класифікації; виконано аналіз технологічного стеку для графічного відображення зібраної інформації з метою подальшого моніторингу та виконання аналітики; розглянуто найбільш критичні задачі у впровадженні моніторингу мікросервісної системи; запропоновано модель роботи частини мікросервісної системи, що призначена для аналізу логів, системних звітів.

Ключові слова: методи та засоби моніторингу мікросервісних додатків, моніторинг, мікросервісна архітектура, MSA (Micro Service Architecture), задачі моніторингу, модель моніторингу мікросервісної системи, алгоритм обробки логів, ELK (Elasticsearch Logstash Kibana), Elasticsearch, Logstash, Kibana, Filebeat, Analytics.

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию методов и средств для комплексного мониторинга приложений, построенных на принципах микросервисной архитектуры с целью быстрой локализации проблем в работе системы. В частности, выполнен анализ основных средств сбора информации о работе микросервисных приложений; анализа такой информации, систематизации и классификации; выполнен анализ технологического стека для графического представления собранной информации для дальнейшего мониторинга и аналитики; рассмотрено наиболее критические задачи при ведении мониторинга микросервисной системы; предложено модель работы части микросервисной системы предназначенной для анализа логов, системных отчетов.

Ключевые слова: методы и средства мониторинга микросервисных приложений, мониторинг, микросервисная архитектура, MSA (Micro Service Architecture), задачи мониторинга, модель мониторинга микросервисной системы, алгоритм обработки логов, ELK (Elasticsearch Logstash Kibana), Elasticsearch, Logstash, Kibana, Filebeat, Analytics.

Abstract. This work is devoted to methods and tools for complex monitoring of applications, built on the principles of microservice architecture in order to quickly locate problems in the system. In particular, the analysis of the main technologies for collecting information about the operation of microservice applications; its analysis, systematization and classification as well as the technological stack for graphically displaying the collected information for further monitoring and analytics; the most critical tasks in the implementation of monitoring of the micro-service system; the model of the operation of the part of the microservice system, which is intended for analysis of logs, system reports.

Keywords: methods and tools for monitoring of microservice applications, monitoring, microservice architecture, MSA (Micro Service Architecture), monitoring tasks, microservice system monitoring model, log processing algorithm, ELK (Elasticsearch Logstash Kibana), Elasticsearch, Logstash, Kibana, Filebeat, Analytics.

Вступ

З розвитком технологій росте й обсяг даних, які необхідно обробляти щодня. Відповідно росту даних зростає й складність програмних та архітектурних рішень для підтримки швидкодії та змоги обробляти все більші обсяги даних. Все більше відомих інтернет ресурсів віддають перевагу мікросервісній архітектурі. Рішення про перехід на цілковито нову архітектуру зумовлене все більшою складністю горизонтального масштабування обчислювальних здатностей будь-яких сервісів. Проте, дане рішення тягне за собою ряд задач. Важливим компонентом будь-якої системи є її моніторинг та аналітика. У мікросервісних системах моніторинг є складнішим ніж у звичайних монолітних додатках.

Актуальність

Головною умовою успішної та безперебійної роботи будь-якого онлайн-сервісу є його стабільність. Для цього важливо мати механізм моніторингу, виявлення та усунення помилок. Аналітика роботи таких сервісів сприятиме оптимізації процесу локалізації помилок [1-3]. Водночас, із зростанням обчислювальних потужностей, зростає і складність програмних та апаратних засобів. Багато компаній застосовують мікросервісну архітектуру, оскільки вона дає можливість зручного масштабування будь-якого проекту, який заздалегідь налаштований та спроектований за принципами мікросервісних додатків. Проте, моніторинг таких сервісів є цілком інакшим у порівнянні з моніторингом монолітних додатків, де сам процес моніторингу даних реалізувати простіше. Тому виникає потреба знайти нові підходи та моделі впровадження ефективного моніторингу мікросервісної системи, що пришвидшать виявлення та локалізацію помилок і, таким чином, дозволять зменшити витрати ресурсів.

Мета

Метою статті є розробка моделі моніторингу даних мікросервісних додатків з метою оптимізації процесу локалізації помилок у роботі мікросервісної системи за рахунок впровадження ефективного програмного стеку логування та моніторингу та реалізації аналітики роботи та життєвого стану мікросервісних додатків в режимі реального часу.

Для досягнення поставленої у статті мети необхідно вирішити задачі, що наведені нижче:

1. Виконати аналіз критичних задач у процесах моніторингу мікросервісних додатків.

2. Виконати огляд сучасних засобів моніторингу мікросервісних додатків та визначити найбільш дієві з них.

3. Розробити модель моніторингу сервісів мікросервісної системи.

Аналіз критичних задач у процесах моніторингу мікросервісних додатків

Процеси моніторингу мікросервісних систем є набагато складнішими, ніж моніторинг систем, де функціонал не розподілено на незалежні частини. Це зумовлено наявністю великої кількості відокремлених сервісів, які не залежать один від одного і можуть кардинально відрізнятись архітектурою, типом мови програмування або навіть ядром операційної системи, тому важливо узагальнити критичні моменти ведення загального моніторингу між окремими сервісами (табл. 1).

Визначимо деякі ключові задачі, що можуть виникати під час процесу моніторингу мікросервісної системи [2]:

- 1) Збір даних для моніторингу. У розподіленій системі є окремі частини і іноді їх кількість може сягати сотень або навіть тисяч. При цьому усі вони можуть бути незалежними за архітектурою, мовами програмування, операційними системами. Збирати дані з усіх систем є непростю задачею.
- 2) Попередня обробка даних. Відповідно до різноманітності застосованих програмних засобів, моніторингові дані також є різноманітними. Тому перед пошуком будь-якої інформації по цим даним, їх необхідно привести до єдиного формату, виділивши ключові дані, необхідні для пошуку та індексації.
- 3) Пошук у великих обсягах даних. Сотні або навіть тисячі окремих сервісів можуть генерувати терабайти моніторингової інформації щодня. Відповідно, пошук у таких обсягах інформації є складною задачею, якщо не застосовано оптимальну індексацію.
- 4) Візуалізація оброблених даних. Проіндексовані та оброблені дані ще не готові до моніторингу. Вони доступні для пошуку, аналізу, але відсутність дружнього графічного призводить до труднощів для нетехнічного персоналу.

Таблиця 1 – Критичні задачі інтеграції моніторингу мікросервісних додатків та методи їх усунення

№ п/п	Задача	Існуючі методи та засоби вирішення	Методи та засоби, що пропонуються
1	Збір моніторингових даних (логів)	Обробка даних в кожному сервісі	Збір даних за допомогою Filebeat
2	Попередня обробка даних	Ручне перетворення даних	Автоматизована обробка даних за допомогою Logstash
3	Пошук у великих обсягах даних	Індексовані поля MySQL/NoSql, grep	Індексація даних за допомогою Elasticsearch
4	Візуалізація оброблених даних	Власні адміністративні панелі	Використання панелі моніторингу Kibana в режимі реального часу

У результаті аналізу критичних задач, що виникають під час процесів моніторингу мікросервісних систем, можна визначити, що головним правилом моніторингу є зручність та швидкість виявлення проблем. Щойшвидше помилка буде знайдена та локалізована, то менше збитків та витрат буде витрачено на їх локалізацію [2-3]. Одночасно з'являється можливість слідкувати за перебігом бізнес-процесів у мікросервісній системі в режимі реального часу.

Огляд сучасних засобів моніторингу мікросервісних додатків

Одним з найпопулярніших засобів моніторингу мікросервісної системи є впровадження процесів логування за допомогою програмного стеку ELK (Elasticsearch Logstash Kibana). Цей програмний стек складається з трьох програмних продуктів:

1. Elasticsearch – індексована база даних та рушій пошуку;
2. Logstash – препроцесор вхідної інформації;
3. Kibana – графічний інтерфейс відображення моніторингових даних [4-5].

Розробником цих продуктів є одна і та ж компанія і, відповідно, ці продукти комплексно працюють один з одним.

Засобом збору моніторингових даних є собою утиліта Logstash. Вона дозволяє збирати дані будь-яких форматів та протоколів, фільтрувати ці дані та перенаправляти їх далі на зберігання, обробку або індексацію (рис 1).

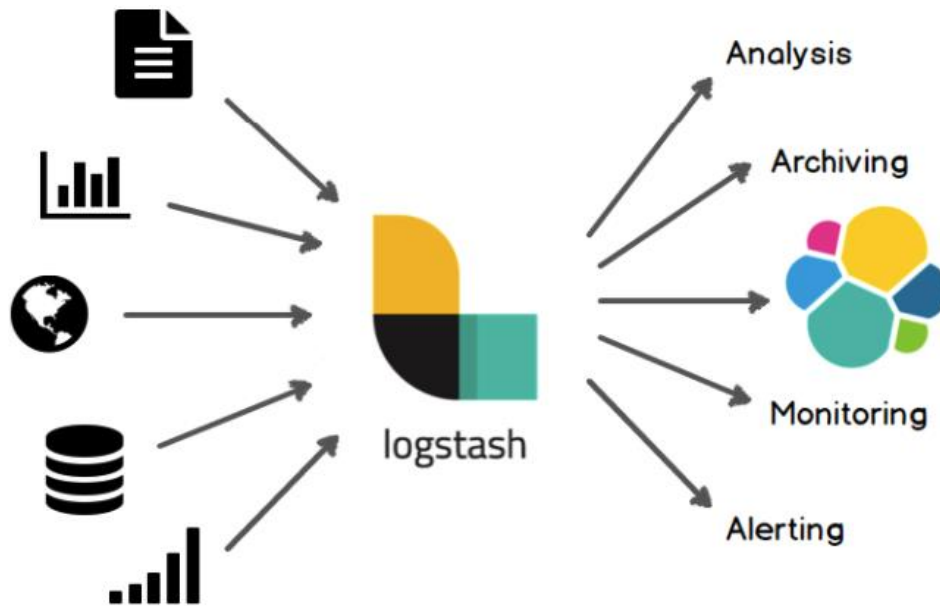


Рисунок 1 – Схема обробки даних засобами Logstash

Схожим рішенням є утиліта Fluentd, але вона поступається універсальністю Logstash та підтримкою значної частини наперед підготованих шаблонних типів вхідних даних. Logstash підтримує більш ніж 200 наперед підготованих шаблонів вхідних даних [5]. Основні дані, які здатний приймати Logstash є такими:

- логи веб-серверів Apache, Nginx та додатків на прикладі log4j для Java;
- системні логи фаєрволів, мережевих пристроїв, Windows event logs, syslog;
- метрики таких додатків як Ganglia, Collectd, NetFlow, JMX;
- обробка будь-яких пристроїв та додатків інфраструктури через TCP та UDP.

Logstash оптимізований для передачі даних у Elasticsearch для подальшої індексації та архівації. Зокрема, Elasticsearch є повноцінним механізмом пошуку та зберігання даних. Він легко масштабується та налаштовується. З самого початку розвитку даного продукту був реалізований повнотекстовий пошук на основі пошукового механізму Apache Lucene, влдночас із додатковими можливостями легкого масштабування, реплікації та ін. Таким чином, даний продукт став засобом для highload-проектів із великими обсягами даними [6].

Особливістю Elasticsearch є його проста конфігурація. Даний програмний засіб працює одразу після інсталяції та нескладних налаштувань. Окрім того, навколо цього продукту успішно сформована спільнота розробників, які можуть вирішити задачі налаштування кластеру у кожному конкретному випадку.

Із зростанням популярності та універсальності даного програмного засобу, інженери стали використовувати його не лише для повнотекстового пошуку, а й для централізованого зберігання моніторингових даних та різноманітної аналітики.

З метою відображення підготованих даних застосовується панель Kibana. Це один з елементів програмного стеку ELK, що відповідає за графічне представлення будь-якої інформації. Kibana створена виключно для роботи з Elasticsearch [6] і за її допомогою можна шукати, переглядати, взаємодіяти з даними, що зберігаються в індексах Elasticsearch. Даний програмний засіб дозволяє обробляти величезні обсяги даних за допомогою зручного інтерфейсу та у режимі реального часу. Може бути розширений для інтеграції нового нестандартного функціоналу.

Модель моніторингу даних мікросервісної системи

Запропонуємо графічне представлення та опис роботи моделі обробки моніторингових даних мікросервісної системи (рис. 2).

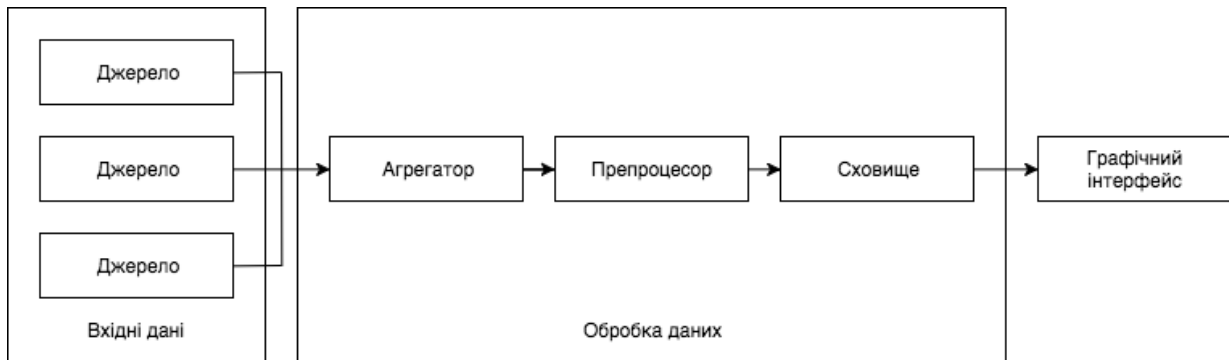


Рисунок 2 – Схема процесу обробки моніторингових даних мікросервісної системи

Схема процесу обробки моніторингових даних мікросервісної системи містить такі компоненти:

- 1) Джерело – сервіси, що генерують необроблені дані (Syslog). Тут генеруються логи (logs). Багато програмних засобів, додатків, середовищ генерують логи різних форматів та розширень. Ці дані передаються на агрегатор, який встановлений у кожному сервісі, і за цим агрегатором є необхідність спостерігати.
- 2) Агрегатор необроблених даних. Даний компонент є вхідною точкою для збору (агрегування) моніторингових даних. Він відповідає за транспортування моніторингових даних до препроцесора Logstash.
- 3) Препроцесор агрегованих даних (Logstash). Дані, потрапивши на вхід цього сервісу, розбиваються на структурні частини, далі виділяються необхідні дані, які передаються на вихід у єдиному форматі для подальшого їх збереження, індексування та аналізу в Elasticsearch.
- 4) Сховище оброблених даних (Elasticsearch). Централізоване сховище відповідає за збереження моніторингових даних. Тут надається можливість повнотекстового пошуку у великих обсягах даних з використанням пошукового механізму Apache Lucene.
- 5) Графічний інтерфейс взаємодії з даними (Kibana). Кінцевою точкою роботи моделі є графічне відображення проаналізованої інформації у вигляді різноманітних графіків, схем, діаграм.

Останні три компоненти, власне стек ELK має бути встановлений окремо від інших сервісів системи та повинен бути доступним для всіх сервісів [7].

Після встановлення програмного засобу ELK наступним кроком є конфігурація даних продуктів. Спочатку необхідно визначити вхід та вихід Logstash. Типова конфігурація складається з трох секцій – “input”, “filter”, “output”. В секції “input” необхідно визначитись тим, звідки будуть надходити дані.

```

input {
  stdin {
    type => "rails"
  }
  syslog { }
}
  
```

Секція “filter” відповідає за розбиття моніторингових даних на структурні складові, які потім будуть передані на вихід.

```

filter {
  grok {
    match => ["message", "%{RAILS}"]
  }
  date {
    match => [ "timestamp", "YYYY-MM-dd HH:mm:ss Z" ]
    target => "@timestamp"
    remove_field => "timestamp"
  }
}
  
```

Згодом після обробки дані потрапляють на вихід у централізоване сховище.

```

output {
  elasticsearch {
    host => "localhost:9200"
  }
}
  
```

```
}
}
```

Далі необхідно скористатися можливостями Elasticsearch. Коли система буде готова до імпорту логів, сервіси відправлятимуть дані на опрацювання запропонованою моделлю, необхідно налаштувати панель Kibana. На даному кроці весь процес налаштування зводиться до налаштування графіків та агрегацій даних за допомогою інтерфейсу самої панелі (рис. 3).

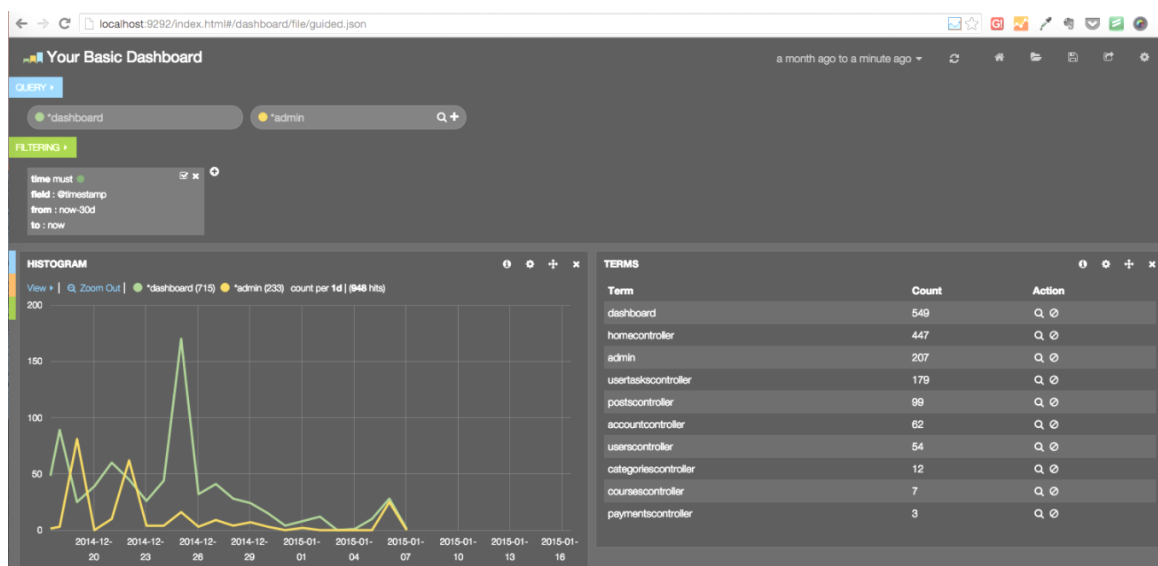


Рисунок 3 – Графічний інтерфейс Kibana

Наведена модель обробки моніторингових даних є найпростішим прикладом використання програмних засобів ELK. Звісно, ці можливості значно ширші, ніж описані в даній статті. Дана модель здатна обробляти дані сотень або тисяч сервісів, агрегувати дані різних програмних стеків, технологій та форматів. Проте, варто зазначити, що представлена модель моніторингу є ефективною лише у тих проектах, де доцільно її використовувати – у проектах з великою кількістю моніторингових даних.

Висновки

У даній статті був проведений аналіз методів та засобів моніторингу мікросервісних додатків. Зокрема, проведено огляд сучасних засобів моніторингу мікросервісних додатків, обробки та збирання інформації з окремих сервісів системи для подальшої її аналітики. Також, проаналізовано критичні задачі, що виникають під час процесів впровадження моніторингу, що дало можливість запропонувати шляхи їх уникнення.

Запропонована модель моніторингу даних мікросервісної системи дозволяє оперативно обробляти статистичну інформацію, реагувати на критичні події в роботі окремих сервісів а також аналізувати отриману інформацію з метою передбачення можливих проблем. Наведені в статті засоби на достатньому рівні задовольняють потреби моніторингу великих мікросервісних систем.

Список літератури

1. Трояновська Т. І. Інформаційна технологія доставки контенту у системах комп'ютеризованої підготовки спеціалістів. // Гороховський О. І., Трояновська Т. І., Азаров О. Д. Монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016.–160 с.
2. Григорьев А.Н. InfoStream. Мониторинг новостей из Интернет: технология, система, сервис: научно-методическое пособие. / А.Н. Григорьев, Д.В. Ландэ, С.А. Бороденков, Р.В. Мазуркевич, В.Н. Пацьора // Киев, ООО "Старт-98", 2007., с. 40-41.
3. Ньюмен С. Создание микросервисов. / Ньюмен С. // Питер, O'Reilly, 2016., с. 32-46.
4. Таллоч М. Знакомство с Windows Azure. Для ИТ-специалистов / М. Таллоч // М.:ЭКОМ Паблшерз, 2014. — 154 с.
5. Подробное описание возможностей разработки с Microsoft Azure Cloud Services. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://habrahabr.ru/company/microsoft/blog/242543/>
6. Тімінський О.Г. Виникнення, розвиток і проблеми інформаційних технологій управління [Текст] / О.Г. Тімінський // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 25. – С. 86 –90.

7. Трояновська, Т. Алгоритм структурованої візуалізації XML-файлів [Текст] / Трояновська Т. І., Бойко О. В. // „Intrenet-Education-Science” : Міжнародна науково-технічна конференція, 11–14 жовтня 2016 р. – Вінниця : КІВЦ ВНТУ, 2016. – С. 142–144. ISBN 966–641–102–4.

Стаття надійшла: 28.12.2017.

Відомості про авторів

Трояновська Тетяна Іванівна, к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки, ВНТУ, кафедра обчислювальної техніки, tetianatroianovska@gmail.com, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

Савицька Людмила Анатоліївна, к. т. н., доцент кафедри обчислювальної техніки, ВНТУ, кафедра обчислювальної техніки, ludik0304@gmail.com, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

Комаров Володимир Леонідович, студент кафедри обчислювальної техніки, ВНТУ, кафедра обчислювальної техніки, vovikems@gmail.com, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

T. I. Troianovska, L. A. Savytska, V. L. Komarov

MEANS AND MODEL OF MICROSERVICE SYSTEM DATA MONITORING

Vinnitsa national technical university. Vinnitsa

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 621.316

О. Д. Азаров, М. Р. Обертюх

ВИСОКОЛІНІЙНІ ДВОТАКТНІ БАЛАНСНІ БУФЕРИ НАПРУГИ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. У статті розглянуті і проаналізовані схеми високолінійних швидкодіючих двотактних буферів напруги, побудованих на біполярних транзисторах. Обґрунтована актуальність і практична доцільність створення даного типу буферів напруги для отримання низької похибки лінійності й високої швидкодії. Запропоновано підхід до побудови буферів напруги, який базується на застосуванні відбивачів струму, які функціонують у двотактному балансовому режимі. Розглянуто і проаналізовано наступні двотактні буфери напруги: найпростіша схема; схема із вхідними підсилювальними каскадами; схема із компенсацією вхідного струму; схема із вхідними каскадами на складених транзисторах Шиклаї. Для вказаних схем складені математичні моделі таких статичних характеристик як: малосигнальний коефіцієнт передачі напруги, похибка масштабу передатної характеристики, вхідний опір і навантажувальна здатність. Запропоновані буфери напруги зі зменшеним вихідним опором для чого додатково в схему введено двотактні підсилювачі постійного струму, охоплені глибоким від'ємним зворотнім зв'язком. Здійснено комп'ютерне моделювання статичних і динамічних характеристик запропонованих схем буферів напруги, зроблено порівняльний аналіз отриманих результатів і надано рекомендації щодо їх використання.

Ключові слова: буфери напруги, двотактні підсилювачі струму, вхідний опір, вихідний опір.

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы схемы высоколинейных быстродействующих двухтактных буферов напряжения, построенных на биполярных транзисторах. Обоснована актуальность и практическая целесообразность создания данного типа буферов напряжения для получения низкой погрешности линейности и высокого быстродействия. Предложен подход к построению буферов напряжения, основанный на применении отражателей тока, которые функционируют в двухтактном балансовом режиме. Рассмотрены и проанализированы следующие двухтактные буфера напряжения: простейшая схема; схема с входными усилительными каскадами; схема с компенсацией входного тока; схема с входными каскадами на составных транзисторах Шиклаи. Для указанных схем составлены математические модели таких статических характеристик как: малосигнальный коэффициент передачи напряжения, погрешность масштаба передаточной характеристики, входное сопротивление и нагрузочная способность. Предложены буферы напряжения с уменьшенным выходным сопротивлением, для чего дополнительно в схему введены двухтактные усилители постоянного тока, охваченные глубокой отрицательной обратной связью. Осуществлено компьютерное моделирование статических и динамических характеристик предложенных схем буферов напряжения, сделан сравнительный анализ полученных результатов и даны рекомендации по их использованию.

Ключевые слова: буферы напряжения, двухтактные усилители тока, входное сопротивление, выходное сопротивление.

Abstract. The paper considers and analyzes schemes of high-linear high-speed push-pull voltage buffers built on bipolar transistors. The relevance and practical advisability of creating this type of voltage buffers is substantiated for obtaining a low linearity error and high speed. An approach to the construction of voltage buffers based on the use of current reflectors, which operate in a push-pull balance mode, is proposed. The following push-pull voltage buffers are considered and analyzed: the simplest scheme; a circuit with input amplifier stage cascades; circuit with input current compensation; circuit with input cascades on composite transistors Shiklai. For these schemes, mathematical models of such static characteristics as: low-signal voltage transfer coefficient, scale error of transmission characteristic, input resistance and load capacity are compiled. Voltage buffers with reduced output impedance are proposed, for which push-pull direct current amplifiers covered by deep negative feedback, are involved in the circuit. The computer simulation of the static and dynamic characteristics of the proposed voltage buffer schemes was carried out, a comparative analysis of the results obtained and recommendations for their use were made.

Key words: voltage buffers, push-pull current amplifiers, input impedance, output impedance.

Вступ

Буфери напруги (БН) [1,2] використовуються в різноманітних системах і пристроях для збільшення потужності сигналів, що надходять із різноманітних давачів на входи системних АЦП [3-4]. БН також застосовуються, як складові частини ЦАП для забезпечення достатньої навантажувальної здатності останніх. При цьому слід зазначити, що статичні й динамічні характеристики згаданих буферів не повинні погіршувати метрологічні характеристики аналого-цифрових і цифроаналогових каналів перетворення.

Актуальність

Статичні похибки БН у першу чергу визначаються лінійністю вольт-амперних характеристик біполярних транзисторів [5], на яких вони побудовані. Тому під час побудови схем буферів треба вибирати таку їх конфігурацію, щоб уникнути прикладення значних приростів напруг на переходах колектор-емітер. Для досягнення високих динамічних характеристик БН треба максимально використовувати принцип перетворення і підсилення струмів. Це обумовлено тим, що більша частина паразитних параметрів інтегральних схем являє собою ємності [6,7]. Тому, якщо за носій сигналу вибирати струм, а на напругу, то можна уникнути прикладення великих приростів напруг до паразитних ємностей. Слід також зазначити, що навіть тоді, коли треба здійснювати підсилення напруг, доцільно напругу вхідного сигналу перетворювати на струм, потім підсилити його, а на виході схем струм знову перетворювати на напругу. При цьому біполярний транзистор можна з успіхом використовувати аж до граничної частоти. Водночас, треба зауважити, що визначений підхід побудови БН недостатньо освітлено в науково-технічній літера-

турі, тому тема статті, присвячена високолінійним двотактним балансним буферам на біполярних транзисторах, є актуально.

Мета досліджень

Створення високолінійних швидкодіючих двотактних БН, побудованих на біполярних транзисторах.

Задачі досліджень

1. Запропонувати й проаналізувати схеми двотактних БН, в яких прирости напруг на переходах колектор-емітер транзисторів ядра будуть мінімальними, а змінення напруг по діапазону передатної характеристики матимуть місце лише у вихідних каскадах, що дозволить зменшити статичні похибки.
2. Скласти математичні моделі статичних характеристик БН, малосигнального коефіцієнту передачі напруги, похибки масштабу передатної характеристики, вхідного опору і навантажувальної здатності при заданій похибці масштабу.
3. Здійснити комп'ютерне моделювання статичних і динамічних характеристик розглянутих схем БН, оцінити кількісні значення похибок лінійності передатної характеристики, струм і напругу зсуву нуля, швидкість зростання вхідного сигналу, час усталення перехідної характеристики, зробити порівняльний аналіз отриманих результатів.

Розв'язання поставлених задач

Двотактна структура БН повинна забезпечити можливість функціонування в режимі, коли вхідна ($U_{ВХ}$) і вихідна ($U_{ВИХ}$) напруги є двополярними, а вихідний струм $I_{ВИХ}$ може як втікати, так і витікати в навантаження. Традиційно, таким вимогам задовольняє схема, побудована на базі операційного підсилювача (ОП), проте вона не може забезпечити високої швидкодії, коли $\pm U_{ВХ}$ змінюється стрибкоподібно. Це пов'язано з тим, що вхідний диференційний каскад ОП при цьому виходить з лінійного режиму і потрібен час на відновлення балансу між входом і виходом.

Автори пропонують інший підхід до побудови БН, який базується на застосуванні відбивачів струму (ВС), які функціонують у двотактному балансовому режимі. Найпростішу схему такого пристрою наведено на рис. 1а.

Вона містить два відбивачі струму ВС1 і ВС2. Кожен з них побудовано за схемою Уілсона [6,7], причому ВС1 зібрано на транзисторах Т1-Т3, а ВС2 – на транзисторах Т4-Т6. Для задання потрібних робочих точок використовуються генератори робочого струму I_p . Входом БН є точка об'єднання емітерів Т1 і Т4, а виходом – Т3 і Т5. Схема працює таким чином. Джерело $\pm U_{ВХ}$ (R_I – внутрішній опір), підключене до входу, генерує напругу, яка змінює потенціал точки А відносно точки Б. При цьому, якщо $U_{ВХ}$ має додатну полярність, то Т1 призакривається, а Т4 привідкривається. Це викликає привідкривання Т3 і призакривання Т6. Відповідно струм I' збільшується, а I'' зменшується. Ці струми через транзистори Т3 і Т5 подаються на вихід схеми, до якого підключено резистор навантаження R_H , напруга на якому ($U_{ВИХ}$) починає збільшуватися. Процес продовжується доти, доки схема не збалансується, а різниця потенціалів $U_{АБ}$ не наблизиться до нуля. Якщо $U_{ВХ}$ має від'ємну полярність, то Т1 привідкривається, а Т3 призакривається. Водночас, Т4 призакривається, а Т6 привідкривається і $U_{ВИХ}$ стає від'ємною. Точність відслідковування напругою $U_{ВИХ}$ вхідної $\pm U_{ВХ}$ залежить від глибини від'ємного зворотного зв'язку, значення вхідного струму $I_{ВИХ}$, а також від падіння вхідної напруги на R_I .

Розглянемо статичні характеристики цього БН. Вхідний малосигнальний опір $r_{ВХ}$ з урахуванням внутрішнього від'ємного зворотного зв'язку визначається у вигляді

$$r_{ВХ} = R_H \cdot K_I',$$

де R_H – значення опору навантаження; $K_I' = 2 \cdot \beta' \cdot \beta'' / (\beta' + \beta'')$ – наскрізний коефіцієнт передачі зі входу на вихід; β' – малосигнальний коефіцієнт підсилення струму n-p-n транзистора Т3, β'' – малосигнальний коефіцієнт підсилення струму p-n-p транзистора Т6. Вихідний опір $r_{ВИХ}$ у значній мірі залежить від опорів емітерів Т3 і Т5, а ті у свою чергу від I_p . Крім того певний вплив здійснюють базові опори Т3 і Т5. Таким чином

$$r_{ВИХ} = r_E + \frac{r_{Б3} + r_{Б5}}{K_I},$$

де $r_E = \phi_T / I_E$ – мало сигнальний опір емітерних переходів Т3 і Т5, ϕ_T – термопотенціал, $r_{Б3}$ і $r_{Б5}$ – опори базових переходів. При $I_p = 1 \text{ мА}$ $r_{ВИХ} \approx 30 \text{ Ом}$. Слід зазначити, що особливістю розглянутої схеми є те, що навіть невелика різниця ΔI_p значень робочих струмів I_p призведе до появи паразитного струму

на вході БН, тобто похибки зсуву нуля. У зв'язку з цим такий варіант його побудови може бути рекомендований для роботи з малими робочими струмами на рівні 50-100мкА, що істотно погіршить навантажувальну здатність.

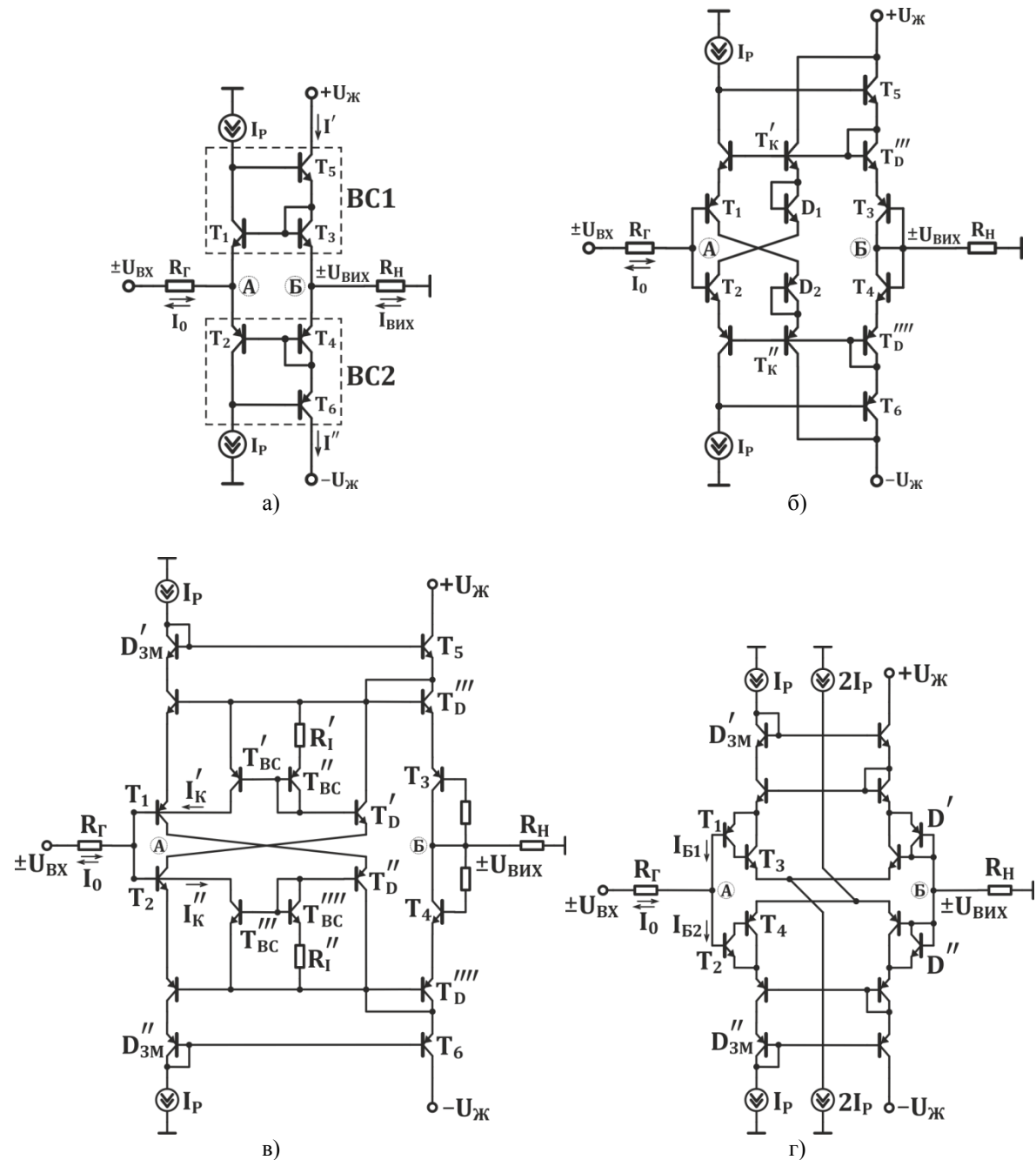


Рисунок 1 – Двотактні БН: а) найпростіша схема; б) із вхідними підсилювальними каскадами; в) із компенсацією I_{BX} ; г) із вхідними каскадами на складених транзисторах Шиклаї.

Кращі характеристики має схема, наведена на рис. 1б, прототип якої розглянуто у [2]. Вона додатково містить вхідний двотактний каскад на транзисторах T1 і T2, а також вихідний каскад на транзисторах T3 і T4. Крім того у схему додатково уведено T'_K і T''_K і діоди зміщення D1 і D2 для блокування зміни колекторних напруг колектор-емітер T1 і T2, а також симетрування їх робочих точок відносно T3 і T4.

Оцінимо статичні характеристики цього БН. Зазначимо, що оскільки у схему додатково введено підсилювальні транзистори T1 і T2, то вхідний опір збільшиться. Його значення буде дорівнювати

$$r_{BX} = R_H \cdot K_I'',$$

де на основі [8] маємо

$$K_I'' = \frac{2 \cdot (\beta' \cdot \beta'') \cdot (\beta' \cdot \beta'')}{\beta' \cdot \beta'' + \beta' \cdot \beta''} = \beta' \cdot \beta'',$$

що істотно більше ніж K_I' . Неважко показати, що вихідний опір $r_{вих}$ буде приблизно такий самий, як у першій схемі. Слід зазначити, що істотним недоліком схеми є наявність постійного струму зсуву нуля I_0 , який виникає внаслідок різниці (у 1.5÷2 рази) статичних коефіцієнтів передачі β_1 і β_2 вхідних транзисторів. Падіння напруги на R_H внаслідок протікання цього струму протікання цього струму призведе до появи додаткової методичної похибки зсуву нуля.

Істотно (на два порядки) зменшити значення I_0 можна шляхом компенсації базових струмів T1 і T2, що реалізовано у схемі БН, наведеної на рис. 1в. Вона додатково містить два генератори компенсуючих струмів I_K' і I_K'' , давачами яких є транзистори T_D' і T_D'' . Бази цих транзисторів підключено до давачів струмів, побудованих на транзисторах, T_{BC}' , T_{BC}'' і T_{BC}''' , T_{BC}'''' відповідно. Резистори R_I' і R_I'' слугують для тонкого налаштування значень I_K' і I_K'' . Значення I_0 буде наближатися до нуля за умови досягнення рівності

$$I_{B1} + I_K' = I_{B2} + I_K'',$$

що можна реалізувати підбором значень R_I' і R_I'' . При цьому слід зазначити, що один з цих резисторів можна взагалі не використовувати.

Для визначення вхідного опору цього БН відзначимо, що у вхідних колах схеми діє додатній двоконтурний зворотній зв'язок за струмом, який істотно збільшує значення r_{BX} порівняно зі схемою, наведеною на рис. 1б.

Згідно з теорією зворотних зв'язків [9] опір у точці А можна визначити у формі

$$r = \frac{r_{BX}^*}{1 - \frac{1}{2} \cdot \chi_1 - \frac{1}{2} \cdot \chi_2},$$

де r_{BX}^* – значення вхідного опору без впливу зворотних зв'язків; χ_1 і χ_2 – глибини зворотніх зв'язків відповідно у першому і другому контурах.

Перший контур складається з транзисторів T1 і T_D'' і другого відбивача струму на транзисторах T_{BC}''' і T_{BC}'''' , а другий з транзисторів T2 і T_D' і першого відбивача струму на транзисторах T_{BC}' і T_{BC}'' . Зазначимо, що вхідний струм I_{BX} у точці А у малосигнальному режимі розгалужується навпіл, що і обґрунтовує появу коефіцієнтів 1/2 перед χ_1 і χ_2 . При цьому

$$\chi_1 = \frac{\Delta I_{BX}}{\Delta I_K''}.$$

Обходячи нижній вхідний контур маємо малосигнальне співвідношення

$$\Delta I_K'' = \Delta I_{BD}'' \cdot K_{ПВС}'' = \frac{\Delta I_{ED}''}{1 + \beta_D''} \cdot K_{ПВС}'' = \frac{\Delta I_{B1} \cdot \beta_1}{1 + \beta_D''} \cdot K_{ПВС}'' = \frac{\Delta I_{BX} \cdot \beta_1}{1 + \beta_D''} \cdot K_{ПВС}''.$$

Підставляючи отримане значення $\Delta I_K''$ у вираз для χ_1 і враховуючи, що транзистори T1 і T_D'' , реалізовані в інтегральному виконанні і мають однакові β_1 і β_D'' , тобто $\Delta I_{BD}'' \approx \Delta I_{B1}$, маємо

$$\chi_1 \approx \frac{1}{K_{ПВС}''} \approx 1,0,$$

де $K_{ПВС}''$ – коефіцієнт передачі струму ВС2. Аналогічно можна показати, що і

$$\chi_2 \approx \frac{1}{K'_{ПВС}} \approx 1,0.$$

Таким чином, знаменник у формулі для $r_{ВХ}$ може мати досить низьке значення. При цьому регулюючи $K'_{ПВС}$ і $K''_{ПВС}$ шляхом підбору резисторів R'_1 і R''_1 теоретично можна зробити $r_{ВХ}$ нескінченно великим, а вхідний струм $I_{ВХ}$ наблизити до нуля.

Альтернативним варіантом зменшення I_0 є використання на вході БН складених транзисторів Шиклаї, схему якого наведено на рис. 1г. Тут Т1, Т2 і Т3, Т4 являють собою пари n-p-n і p-n-p транзисторів. Причому базові струми $I_{Б1}$ і $I_{Б2}$ транзисторів Т1 і Т2 будуть у β_1 і β_2 разів меншими, ніж у Т3 і Т4, враховуючи, що добутки $\beta_1 \cdot \beta_3 \approx \beta_2 \cdot \beta_4$, де $\beta_1 - \beta_4$ – статичні коефіцієнти підсилення, приблизно однакові, то I_0 може мати досить мале значення. Так, при $I_p = 1\text{мА}$, $\beta_1 = \beta_4 \approx 50$, $\beta_2 = \beta_3 \approx 100$, $|I_{Б1}| \approx |I_{Б2}| = 200\text{нА}$, а різниця $\Delta I_B = I_{Б1} - I_{Б2} < 5\text{нА}$.

Оцінимо навантажувальну здатність розглянутих БН, яку можна визначити через вихідний опір $r_{ВИХ}$. Для першої схеми наведеної на рис. 1а, $r_{ВИХ}$ можна представити у вигляді функції $r_{ВИХ} = f(I_p, R_\Gamma)$. Це обумовлене тим, що рівень робочого струму I_p задає малосигнальні опори вихідних діодів, реалізованих на транзисторах Т3 і Т5. До цього треба додати, що внаслідок невисокого внутрішнього коефіцієнта підсилення струму K_I значення власного опору генератора вхідної напруги також впливатиме на навантажувальну здатність. Беручи до уваги, що Т3 і Т5 у діодному вмиканні включено на паралельну роботу, остаточно можемо записати

$$r_{ВИХ} = r'_D \parallel r''_D + \frac{R_\Gamma}{K_I},$$

де $r'_D = r_E + r_{Б3}/\beta_3$ і $r''_D = r_E + r_{Б5}/\beta_5$ малосигнальні опори емітерних переходів Т3 і Т5; $r_{Б3}$ і $r_{Б5}$ – опори базових переходів; $K_I = 2 \cdot \beta' \cdot \beta'' / (\beta' + \beta'')$ – малосигнальні коефіцієнти підсилення струму. Підставляючи значення r'_D , r''_D , K_I у вихідну формулу і спрощуючи її остаточно маємо

$$r_{ВИХ} = \frac{r_E \cdot r_E \cdot \beta_3 \cdot \beta_5 + r_{Б5} \cdot \beta_3 + r_{Б3} \cdot \beta_5 + r_{Б3} \cdot r_{Б5} / r_E}{2 \cdot r_E \cdot \beta_3 \cdot \beta_5 + (r_{Б5} \cdot \beta_3 + r_{Б3} \cdot \beta_5) / 2} + \frac{R_\Gamma \cdot \beta' \cdot \beta''}{2 \cdot \beta' + \beta''}. \quad (1)$$

При $I_p = 1\text{мА}$, $r_{ВИХ} \approx 30\text{ Ом}$.

Схеми БН, наведені на рис. 1б, 1в містять вхідні підсилювальні каскади на транзисторах Т1 і Т2, і тому вплив R_Γ на навантажувальну здатність тут істотно менше. Водночас, у вихідних каскадах обох схем з'явилися додаткові транзистори у діодному вмиканні, відповідно Т''_Д і Т'''_Д, тому навіть за умови $R_\Gamma = 0$, вихідний опір цих схем буде удвічі більше ніж для першої схеми (рис. 1а).

Для схеми, наведеної на рис. 1г, вихідний опір буде визначатися паралельним з'єднанням діодів Д' і Д'', тому

$$r_{ВИХ} = r'_D \parallel r''_D,$$

де $r'_D = \varphi_T / (I_p / \beta')$ і $r''_D = \varphi_T / (I_p / \beta'')$ – диференційні опори p-n переходів цих діодів; β' і β'' – малосигнальні коефіцієнти передачі струму.

Підставляючи вирази для r'_D і r''_D у вихідну формулу, виконуючи переміщення і скорочення остаточно матимемо

$$r_{ВИХ} = \frac{\varphi_T \cdot \beta' \cdot \beta''}{I_p \cdot \beta' + \beta''}.$$

Порівнюючи цей результат із тим, що витікає з (1), слід зазначити, що вихідний опір останньої схеми істотно вищий порівняно із трьома попередніми. При $I_p = 1\text{мА}$ для типових інтегральних транзисторів її $r_{ВИХ} \approx 700 \div 800\text{ Ом}$.

Водночас слід зазначити, що навантажувальна здатність усіх розглянутих БН є невисокою і при збільшенні струму в навантаженні зростає різниця напруга між входом і виходом, причому

$$\Delta U_{AB} \approx r_{ВИХ} \cdot I_H.$$

Причому ненульове значення ΔU_{AB} буде характеризувати як похибку зсуву нуля, так і похибку масштабу в діапазоні $\pm U_{ВИХ}$.

Для зменшення вихідного опору у згаданому пристрої треба додатково увести двотактні підсилювачі постійного струму (ДППС), охоплені глибоким від'ємним зворотнім зв'язком. Схему такого БН наведено на рис. 2а.

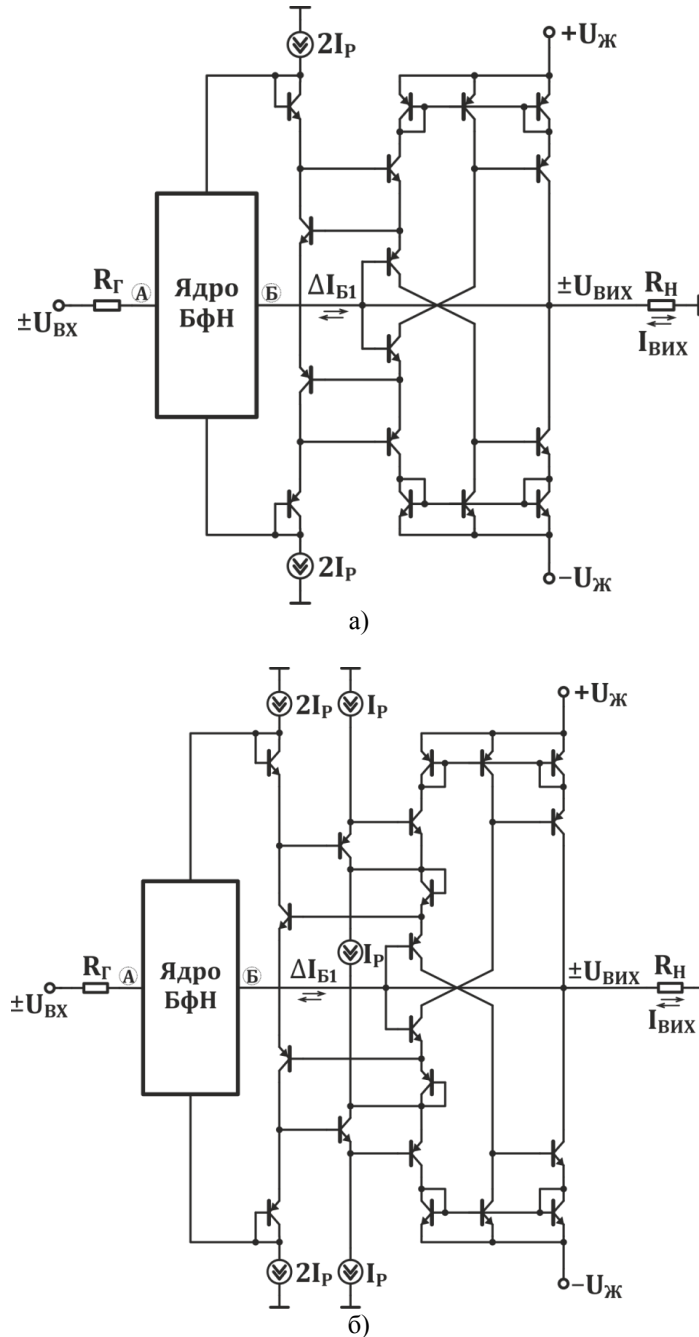


Рисунок 2 – Схеми БН із вихідним ДППС: а) із низьким K_I ; б) із середнім K_I

Вона містить ядро БН, в ролі якого може слугувати схема зображена на рис. 1в, а також ДППС з низьким коефіцієнтом підсилення струму K_I і високою швидкістю [8,10,11]. Слід зазначити, що відмінною особливістю такого підсилювача є наявність блока балансування і підсилення струмів, на балансовому вході якого формується різницевий базовий струм $\Delta I_B = I_{Bpnp} - I_{Bnpn}$ транзисторів р-п-п і п-п-п відповідно.

Цей струм викличе певний зсув нуля на виході ядра БН і появу додаткової адитивної похибки. Для компенсації впливу ΔI_B у базу Т4 доцільно поставити компенсуючий резистор R_K .

Якщо БН має ядро з підвищеним $r_{ВІХ}$ (рис. 1г), то треба застосовувати ДППС з середнім K_I , схему якого наведено на рис. 2б. Тут значення ΔI_B буде істотно (на 2÷3 порядки) менше ніж у попередньому випадку й його впливом можна знехтувати.

Вихідний опір БН за наявності ДППС за рахунок дії зворотного зв'язку істотно зменшується і дорівнюватиме

$$\tilde{r}_{ВІХ} = \frac{r_{ВІХ}}{1 + K_I}.$$

Кількісні значення статичних характеристик, отримані шляхом комп'ютерного моделювання в пакеті Microcap 11 (Copyright© 1982-2017 Spectrum Software) для схем №1 (рис. 1в) і №2 (рис. 1г), побудованих на інтегральних транзисторах NUHFARRY і PUNFARRY [12] без ДППС і з ДППС (рис. 2) наведено в таблиці 1 і 2 відповідно.

Таблиця 1.

Параметри	$I_{ВХ}$ (нА)	$U_{АБ}$ (мкВ)	$\Delta I_{ВХ}$ (пА)	$\Delta U_{АБ}$ (мкВ)	$r_{ВХ}$ (ГОм)	$r_{ВІХ}$ (Ом)
Схема №1	0,5	204	14	170	$3,1 \cdot 10^3$	30
Схема №2	4,9	153	560	1700	3,6	770

Таблиця 2.

Параметри	$I_{ВХ}$ (нА)	$U_{АБ}$ (мкВ)	$\Delta I_{ВХ}$ (пА)	$\Delta U_{АБ}$ (мкВ)	$r_{ВХ}$ (ГОм)	$r_{ВІХ}$ (Ом)
Схема №1	0,015	373	0,09	290	$147 \cdot 10^3$	0,17
Схема №2	5,5	0,1	14	150	140	0,09

Аналіз табличних даних свідчить, що застосування ДППС покращує не тільки навантажувальну здатність БН, а і деякі інші характеристики, такі як $r_{ВХ}$ і $r_{ВІХ}$. Причому ліпші показники має схема №1, а враховуючи значення $r_{ВХ} = 3$ ГОм, слід зазначити, що вона може конкурувати зі схемами, побудованими на польових транзисторах із керованими р-п переходами. Водночас біполярні транзистори дозволяють досягти істотно кращої навантажувальної здатності.

Динамічні властивості БН можна оцінити на прикладі ядра схеми №1, перехідну характеристику якої зображено на рис. 3. При цьому слід відзначити досить високу швидкість наростання вхідної напруги ≈ 1800 - 2000 В/мкс.



Рисунок 3 – Перехідна характеристика БН

Висновки

1. Розглянуто запропоновані схеми двотактних БН, в яких змінення напруг по діапазону $\pm U_{BX}$ на переходах колектор-емітер транзисторів ядра є мінімізованими і мають місце тільки у вихідних каскадах ДППС, що дозволило зменшити мультиплікативну похибку між входом і виходом до 0,01%.

2. Складено математичні моделі статичних характеристик, зокрема, малосигнальний коефіцієнт передачі напруги, вхідний і вихідний опори, що дозволило висунути вимоги до ДППС, який треба додати до ядра БН.

3. Здійснено комп'ютерне моделювання статичних і динамічних характеристик запропонованих схем БН, за підсумками якого шляхом порівняльного аналізу вибрано найкращий варіант і надано рекомендації щодо їх реалізації.

Список літератури

1. Азаров О. Д. Основи теорії високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем : монографія. / О. Д. Азаров, С. В. Богомолов – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2013. –142 с.
2. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи / Под ред. Г.Д. Бахтиарова. – М., Советское радио, 1980. – 280 с., ил.
3. Пат. 117019 UA, МПК H03F 3/26, H03K 5/22, G05B 1/01. Двотактний симетричний підсилювач струму / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, С. В. Богомолов, В. С. Філіпчук (Україна). - № у 2017 00124 ; заявл. 03.01.2017 ; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11. - 7 с. : кресл.
4. Пат. 117383 UA, МПК H03K 5/24, G05B 1/01, H03F 3/34. Двотактний симетричний підсилювач струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомолов, В. А. Гарнага, О. О. Гринько (Україна). - № у 2017 00088 ; заявл. 03.01.2017 ; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12. - 8 с. : кресл.
5. Азаров О. Д. Відбивачі струму для аналогових пристроїв із покращеними статичними і динамічними характеристиками / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, В. Є. Яцик // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця : ВНТУ, 2012 р. - Т. 2. - С. 48-55.
6. Гребен А. Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. Пер. с англ. / А. Б. Гребен – М. : Энергия, 1976. –256 с.
7. A. V. Grebene, Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design., New York, USA, Wiley-Interscience, 2003.
8. Азаров О. Д., Теплицький М. Ю. та Біліченко Н. О. Швидкодіючі двотактні підсилювачі постійного струму з балансом зворотним зв'язком : монографія. / О. Д. Азаров, М. Ю. Теплицький, Н. О. Біліченко – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 136 с.
9. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов. / И. П. Степаненко – 2-е изд., перераб. и доп.– М. : Лаборатория базовых знаний, 2001. — 488 с.
10. Азаров О. Д. Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються : монографія. / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. –156 с.
11. Азаров О. Д. Основи теорії високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем : монографія / О.Д. Азаров, С.В. Богомолов. - УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2013.-142 с.
12. HFA3046/3096/3127/3128 Transistor Array SPICE Models, Intersil Corporation™ – <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/mm30/mm3046.pdf>.
Стаття надійшла: 19.03.2018 р.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович – д.т.н., професор, декан факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету.

Обертюх Максим Романович – аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

O. Azarov, M. Obertyukh

HIGH-LINEAR PUSH-PULL BALANCE VOLTAGE BUFFERS ON BIPOLAR TRANSISTORS

Vinnitsia national technical university, Vinnitsa

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 006.015

О. М. Васілевський¹, В. М. Дідич², О. С. Слободянюк¹

НОРМУВАННЯ ІНДЕКСІВ ВІДТВОРЮВАНОСТІ ТА ПРИДАТНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ АБО ВИРОБНИЧИХ ПОСЛУГ

¹Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця²Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця

Анотація. Запропоновано методику оцінки частки ймовірності можливої появи бракованої продукції або невідповідності виробничої послуги на основі індексів придатності і відтворюваності виробничого процесу. Індекс відтворюваності рекомендовано розраховувати на основі СКВ, що може бути встановлене за середнім розмахом контрольної карти та меж поля допуску. При цьому виробничий процес обов'язково має бути у стані статистичної керованості. Індекс придатності не може бути розрахованим на основі характеристик контрольної карти, а розраховується виключно на основі загального СКВ, що розраховується за формулою Бесселя та меж поля допуску. При цьому виробничий процес не обов'язково має бути статистично керованим. Висновок про придатність чи непридатність пробукції (виробничих послуг) здійснюється на основі значення індексів відтворюваності та придатності, які можуть набувати значень менших або більших одиниць. На основі отриманих значень цих індексів встановлюється можлива частка появи продукції або характеристик виробничого процесу, що не відповідають встановленим вимогам.

Ключові слова: нормування, оцінка якості, якість продукції, якість виробничих послуг, індекс придатності, індекс відтворюваності, частка ймовірності бракованої продукції, виробничий процес.

Аннотация. Предложена методика оценки доли вероятности возможного появления бракованной продукции или несоответствия производственной услуги на базе индексов пригодности и воспроизводимости производственного процесса. Индекс воспроизводимости рекомендуется рассчитывать на основе СКО, которое может быть установлено по среднему размаху контрольной карты и пределам поля допуска. При этом производственный процесс обязательно должен быть в состоянии статистической управляемости. Индекс годности не может быть рассчитан на основе характеристик контрольной карты, а рассчитывается исключительно на основе общего СКО, которое рассчитывается по формуле Бесселя и пределов поля допуска. При этом производственный процесс не обязательно должен быть статистически управляемым. Выводы о пригодности или непригодности пробукции (производственных услуг) осуществляется на основе значения индексов воспроизводимости и пригодности, которые могут принимать значения меньше или больше единицы. На основе полученных значений этих индексов устанавливается возможная доля появления продукции или характеристик производственного процесса, не соответствующих установленным требованиям.

Ключевые слова: нормирования, оценка качества, качество продукции, качество производственных услуг, индекс пригодности, индекс воспроизводимости, доля вероятности бракованной продукции, производственный процесс.

Abstract. A technique is proposed for estimating the share of the probability of the possible appearance of defective products or the inconsistency of the production service on the basis of indices of suitability and reproducibility of the production process. The index of reproduction is recommended to be calculated on the basis of the standard deviation, which can be established by the average span of the control map and the limits of the tolerance field. At the same time, the production process must necessarily be in a state of statistical controllability. The expiration index can not be calculated on the basis of the characteristics of the control card, but is calculated solely on the basis of the total of the standard deviation, which is calculated by the Bessel formula and the tolerance limits. The production process does not need to be statistically controllable. Conclusions on the suitability or unfitnes of the probation (production services) are based on the value of the indices of reproducibility and fitness, which can take values less than or greater than one. Based on the obtained values of these indexes, a possible share of the appearance of products or characteristics of the production process that do not meet the established requirements is established.

Key words: rationing, quality assessment, product quality, quality of manufacturing services, suitability index, reproducibility index, probability of defective product, production process.

Вступ

Щоб забезпечити конкурентоспроможність продукції підприємства, установи і організації (виробники продукції) мають застосовувати стратегію постійного удосконалення. Для впровадження такої стратегії виробникам продукції необхідно постійно оцінювати показники якості продукції чи послуг [1]. При цьому доцільно застосувати методи, що рекомендовані міжнародними стандартами серії ISO/TR 18532, ISO 13528 та ISO/TR 22514 [2-5]. Для успішного застосування дій із постійного удосконалення показників якості продукції чи послуг необхідно проводити моніторинг джерел відхилень виробничого процесу та їх стабільності.

В умовах конкуренції для виробників має бути важлива не тільки ціна продукції або обслуговування, але також і витрати, які понесе споживач при використанні продукції (чи послуги). Тому метою будь-якого виробника має бути безперервне зменшення відхилень параметрів виробничого процесу (забезпечення стабільності виробничого процесу), а не тільки відповідність встановленим вимогам. Стратегія постійного удосконалення забезпечить скорочення витрат, пов'язаних з відмовами, і підвищить стійкість розвитку підприємства в умовах конкуренції. Крім того, зниження відхилень дозволить скоротити витрати на контроль або зменшити частоту вибіркового контролю. Кількісна оцінка відхилень дозволяє робити висновки про придатність та відповідність виробничого процесу встановленим вимогам. Для іденти-

фікації відхилень можуть бути використані такі методи, як складання блок-схеми та ідентифікація входів і виходів виробничого процесу, використання причинно-наслідкової діаграми, тощо.

Низка міжнародних та державних стандартів [1-7] рекомендують різноманітні статистичні методи, які можна застосувати для управління, контролю та удосконалення виробничого процесу з метою аналізу даних і оцінки показників якості продукції. Тому актуальною є задача розробки математичних моделей (процедури) точкової оцінки індексів відтворюваності та придатності виробничого процесу для підтвердження його статистичної стабільності, а також встановлення частки ймовірності появи бракованої продукції (чи частки одиниць, що не відповідають вимогам), що і є *метою* даної статті. Опис математичних моделей, які можуть використовуватися для оцінки показників якості на основі індексів відтворюваності та придатності є *актуальною науковою задачею*, оскільки багато виробників продукції не розуміють їхньої відмінності та відповідно невірно трактують отримані результати.

Задачі

1. Розробка методики оцінювання показників якості прогукції (послуг) на основі індексів відтворюваності та придатності виробничого процесу.

2. Опис критеріїв нормування індексів придатності і відтворюваності для прийняття рішень щодо відповідності (достатньої, задовільної, доброї) чи не відповідності показників якості продукції або виробничих послуг встановленим вимогам.

Розв'язання задач

Показник відтворюваності виробничого процесу – це міра власної зміни вихідної характеристики виробничого (технологічного) процесу, що знаходиться в стані статистичної керованості, яка дає змогу оцінити здатність процесу підтримувати вихідну характеристику виробничого процесу на рівні встановлених для неї вимог. Ця міра характеризує змінність, що залишається після усунення всіх відомих причин. Якщо при цьому контроль виробничого процесу здійснюють з використанням контрольної карти, то саме контрольна карта показує, що виробничий процес знаходиться в керованому стані [4, 6, 8].

Відтворюваність виробничого процесу часто оцінюють за часткою продукції, характеристика якої знаходиться в межах поля допуску. Так як виробничий процес в статистично керованому стані може бути описаний прогнозованим законом розподілу, то може бути оцінена частка продукції, характеристика якої виходить за межі поля допуску. Поки виробничий процес залишається в стані статистичної керованості, то продукція, що виготовляється має в середньому одну і ту ж частку ймовірності бракованої продукції (продукції, що не відповідає встановленим вимогам).

Дії щодо управління виробничим процесом, які спрямовані на зменшення відхилень, викликаних випадковими причинами, дадуть змогу покращити відповідність виробничого процесу вимогам системи управління якістю [9]. Для цього необхідно: визначити характеристики виробничого процесу і умови експлуатації (якщо визначені умови змінюються, то необхідні нові дослідження характеристик виробничого процесу); оцінити параметри короткострокових та довгострокових відхилень у вигляді відсотків від повних змін і мінімізувати їх; підтримувати стабільність виробничого процесу і забезпечувати його статистичну керованість; оцінити власну змінність виробничого процесу, що залишається; вибрати необхідний параметр відтворюваності виробничого процесу.

При аналізі відтворюваності виробничого процесу потрібно:

- a) встановити всі вимоги виробничого середовища (наприклад, вимоги щодо температури і вологості) [10];
- b) встановити вимоги до невизначеності вимірювань [10, 11];
- c) забезпечити можливість аналізу багатofакторних, багаторівневих аспектів виробничого процесу;
- d) встановити і зареєструвати тривалість збирання даних;
- e) встановити періодичність створення вибірки, а також дату початку і кінця збирання даних [10];
- f) використовувати контрольну карту для управління виробничим процесом [6, 8];
- g) щоб виробничий процес був у стані статистичної керованості.

Також потрібно перевірити контрольну карту, дані якої були використані для статистичного контролю, і гістограму даних з усіма встановленими межами, нанесеними на неї. Крім цього, потрібно перевірити нормальність закону розподілу за допомогою валідованого критерію, наприклад, такого як критерій Андерсона-Дарлінга [12] або χ^2 критерій [4]. Ці критерії ефективні для виявлення відхилень закону розподілу від нормальності на хвостах розподілу, оскільки саме ця область важлива при оцінюванні індексів придатності і відтворюваності виробничого процесу. Також повинні бути знайдені пояснення аномальним даним і вжиті відповідні дії з даними до обчислення досліджуваного параметра. Виключення даних, що виділяються щодо інших, є неприйнятним. Такі відхилення можуть бути дуже інформативними щодо властивостей виробничого процесу та мають бути досліджені.

Параметром відтворюваності виробничого процесу може бути величина, що характеризує одну або кілька властивостей розподілу вихідної характеристики в умовах відтворюваності виробничого процесу.

Загальним параметром положення розподілів є середнє значення (математичне очікування) μ , але інколи використовують вибіркoву медіану $X_{50\%}$. Для нормального закону розподілу кращим параметром положення є медіана.

Кращим параметром, що характеризує **власну змінність** виробничого процесу є стандартне відхилення σ – **показник відтворюваності** виробничого процесу. Його рекомендовано оцінювати за середнім розмахом \bar{R} , який отримується за контрольною картою, коли виробничий процес стабільний і знаходиться в стані статистичної керованості

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (1)$$

де d_2 - константа, яка відповідає об'єму вибірки в підгрупі, її значення вибирається з таблиці 1 [13].

Якщо використовувати середнє стандартне відхилення для контролю відхилень в межах підгрупи, що визначається за даними контрольної карти, то **власне стандартне відхилення** виробничого процесу можна оцінити за формулою

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}, \quad (2)$$

де \bar{S} - середнє вибіркoве стандартне відхилення; c_4 - константа, яка відповідає об'єму вибірки в підгрупі (n), її значення вибирається з таблиці 1 [13].

Якщо для кожної підгрупи можна обчислити стандартне відхилення підгрупи, то рекомендується формула для оцінки **власного стандартного відхилення** виробничого процесу, що дає більш точну оцінку, ніж формули (1) і (2), яка описується виразом

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m S_j^2}{m}}, \quad (3)$$

де S_j - вибіркoве стандартне відхилення j -ої підгрупи; m – кількість підгруп з n спостереженнями в кожній підгрупі.

Таблиця 1 – Коефіцієнти контрольної карти для оцінки стандартного відхилення

Об'єм вибірки (n)	d_2	c_4
2	1,128	0,7979
3	1,693	0,8862
4	2,059	0,9213
5	2,326	0,9400
6	2,534	0,9515
7	2,704	0,9594
8	2,847	0,9650
9	2,970	0,9693
10	3,078	0,9727

Також необхідно розрізняти стандартне відхилення, що характеризує лише короткострокові зміни виробничого процесу, і стандартне відхилення, що характеризує довгострокові зміни виробничого процесу. Причому дані, що зібрані протягом тривалого періоду часу, мають більше значення стандартного відхилення за рахунок більш суттєвої зміни виробничого процесу. В цьому випадку для позначення стандартного відхилення рекомендується використовувати символ σ_t – загальне (повне) стандартне відхилення.

Якщо дані отримані при спостереженні за виробничим процесом, що не перебуває у стані статистичної керованості або **якщо контрольні картки не використовувались**, то для обчислення стандартного відхилення не слід використовувати формули (1) – (3), а необхідно застосовувати таку формулу

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (4)$$

де N – загальний об'єм вибірки; x_i – i -те значення у вибірці; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

Рівняння (4) доцільно використовувати тоді, коли виробничий процес має зміни середнього значення, що викликані наявністю систематичної похибки [14], яка не може бути вилучена, і така змінність повинна бути врахована разом з випадковою змінністю. Цей параметр змінності також підходить для використання при обчисленні **індексів придатності** виробничого процесу.

При нормальному законі розподілу виробничого процесу в якості оцінки показника відтворюваності виробничого процесу можна використати вираз

$$\bar{x} \pm z_\alpha \cdot \hat{\sigma}_t, \quad (5)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{x}_j$ – середньоарифметичне значення декількох вибірових середніх; \bar{x}_j – вибірове середнє j -ої підгрупи; z_α – квантиль нормованого нормального закону розподілу.

Вибір значення z_α залежить від використовуваного значення показника відтворюваності виробничого процесу в одиницях продукції на один мільон. Як правило z_α присвоюють значення 3, 4 або 5. Якщо показник відтворюваності виробничого процесу відповідає встановленим вимогам, $z_\alpha = 3$ означає наявність в середньому 2700 одиниць продукції на один мільон за межами вимог. Аналогічно $z_\alpha = 4$ означає наявність в середньому 64 одиниці продукції на один мільон, які не відповідають встановленим вимогам, а $z_\alpha = 5$ означає в середньому 0,6 таких одиниць продукції на один мільон.

Індексом відтворюваності виробничого процесу є точкові оцінки їх опорних (еталонних) значень. Використання індексу відтворюваності виробничого процесу дозволяє охарактеризувати стан виробничого процесу. **Індекс відтворюваності** виробничого процесу являє собою відношення різниці межі поля допуску до довжини опорного (еталонного) інтервалу

$$C_p = (U - L) / (X_{99,865\%} - X_{0,135\%}), \quad (6)$$

де L – нижня межа поля допуску; U – верхня межа поля допуску; $X_{0,135\%}$ – нижня межа опорного інтервалу, що визначена як квантиль розподілу на рівні 0,135%; $X_{99,865\%}$ – верхня межа опорного інтервалу, що визначена як квантиль розподілу на рівні 99,865%.

Для оцінки індексу відтворюваності виробничого процесу як правило [4, 5] використовується опорний інтервал $T = Y_2 - Y_1$, що включає 99,73% значень характеристики виробничого процесу, які знаходяться в стані статистичної керованості. При цьому відсікається 0,135% з кожного боку закону розподілу [4, 5]. Такий інтервал рекомендовано застосовувати навіть при не нормальному законі розподілу значень характеристики виробничого процесу [4]. Для нормального закону розподілу довжина опорного інтервалу становить шість стандартних відхилень (рис. 1) [4, 15, 16].

Для оцінювання відтворюваності як правило використовують контрольні карти. Якщо на контрольній карті наведені лінії ослабленого контролю або змінені лінії контролю, то реальне стандартне відхилення процесу буде більше, ніж стандартне відхилення, отримане за даними контрольної карти із стандартними лініями контролю. Зазначені особливості впливають на опорний інтервал, тому важливо, щоб стандартні лінії контролю були вказані (зафіксовані) при оцінюванні індексу відтворюваності виробничого процесу.

Відтворюваність є виробничий процес, у якого опорний інтервал T менший меж поля допуску (L, U) на певну величину, так як це зображено на рис. 1.

Також міжнародними стандартами [1, 3, 4] рекомендовано використовувати і інші індекси, що характеризують як стан, так і змінність виробничого процесу, наприклад, індекс відтворюваності C_{pk} . Якщо цей індекс менший заданого значення, то можна вважати, що в процесі виготовлення існує велика ймовірність появи бракованої продукції, тобто характеристика виробничого процесу виходять за межі поля допуску (L, U).

Індекси відтворюваності C_{pk} можна визначати як відношення різниць меж поля допуску і параметра положення виробничого процесу до різниць відповідних дійсної межі значення виробничого процесу і параметра положення виробничого процесу:

$$C_{PKU} = (U - X_{50\%}) / (X_{99,865\%} - X_{50\%}); \quad (7)$$

$$C_{PKL} = (X_{50\%} - L) / (X_{50\%} - X_{0,135\%}), \quad (8)$$

де $X_{50\%}$ - квантиль розподілу виробничого процесу на рівні 50%.

Ці індекси відтворюваності (C_{PKL} , C_{PKU}) дають змогу отримати інформацію про те, наскільки щільно згруповані значення характеристики навколо центральної лінії і чи можуть бути порушені вимоги специфікації продукції.

Навіть якщо значення індексу C_p має високе значення, то низькі значення індексів C_{PK} показують, що виробничий процес слабо сконцентрований навколо центральної лінії, а ймовірність появи значень характеристики якості, що виходять за встановлені межі встановлених вимог, висока.

Якщо спостережувані значення розподіляються за нормальним законом розподілу, то довжина опорного інтервалу дорівнює 6σ , а індекс відтворюваності можна оцінити за виразом

$$\hat{C}_p = (U - L) / (6\hat{\sigma}). \quad (9)$$

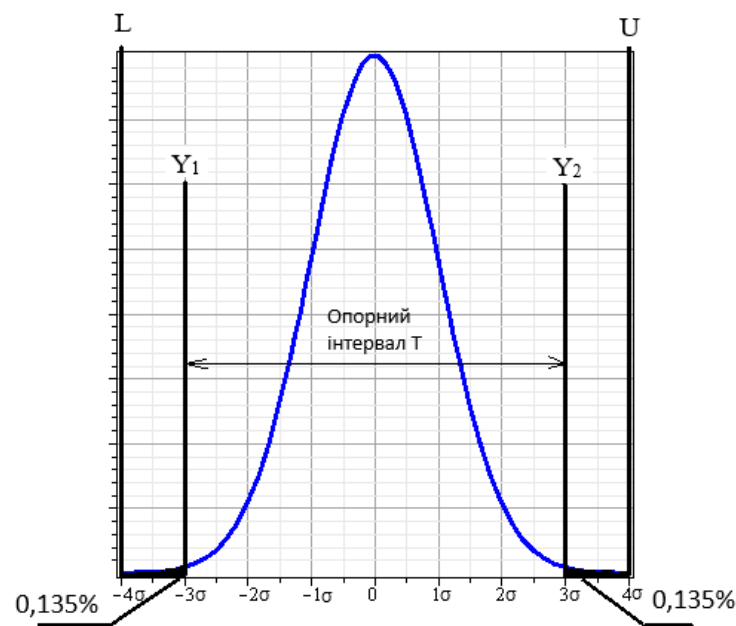


Рисунок 1 – Довжина опорного (еталонного) інтервалу T і нижня L та верхня U межі поля допуску

Якщо розподіл окремих значень підпорядковується нормальному закону розподілу, то квантиль $X_{50\%}$ дорівнює математичному очікуванню μ , а верхній і нижній індекси відтворюваності C_{PK} можна оцінити за виразами:

$$\hat{C}_{PKU} = (U - \mu) / (3\hat{\sigma}); \quad (10)$$

$$\hat{C}_{PKL} = (\mu - L) / (3\hat{\sigma}). \quad (11)$$

На основі оцінки нижнього \hat{C}_{PKL} і верхнього \hat{C}_{PKU} індексів відтворюваності за кінцеву оцінку індексу відтворюваності C_{PK} необхідно приймати значення меншого індексу відтворюваності, тобто

$$\hat{C}_{PK} = \min(\hat{C}_{PKL}, \hat{C}_{PKU}). \quad (12)$$

При обчисленні індексу відтворюваності виробничого процесу необхідно враховувати, що змінність виробничого процесу має відповідати ситуації, коли дані отримані в стані **статистичної керованості виробничого процесу**.

Якщо значення індексу відтворюваності $C_p < 1$ (або $C_{PK} < 1$), то **верхня U і нижня L межі поля допуску знаходяться всередині опорного інтервалу T виробничого процесу** - це означає, що виготов-

лення продукції без браку неможливе, а **виробничий процес є незадовільним** (ймовірність появи не-якісної (бракованої) продукції дуже висока та може бути більшою 0,27%).

Якщо значення $C_d = 1$ (або $C_{pk} = 1$), то верхня U і нижня L межі поля допуску збігаються з опорним інтервалом T виробничого процесу. При цьому, якщо процес центровано і розподіл показників якості підпорядковується нормальному закону, то можливий брак продукції становить 0,27% (2700 бракованих виробів на 1 млн виготовленої продукції). При цьому виробничий процес вважається мінімально прийнятним (задовільним, тобто признається відтворюваним).

Якщо значення індексу відтворюваності $C_d > 1$ (або $C_{pk} > 1$), то верхня U і нижня L межі поля допуску знаходяться за межами опорного інтервалу T виробничого процесу – це означає, що можливе виготовлення продукції **без браку**, а виробничий процес вважається задовільним. Якщо значення C_{pk} (або C_p) лежить в межах $1 < C_{pk} < 1,33$, то ймовірність появи бракованої продукції буде знаходитись в межах від 0,006% до 0,27%. Якщо ж значення індексу відтворюваності більше 1,33 ($C_{pk} > 1,33$), то ймовірність появи бракованої продукції менша 0,006%, а виробничий процес вважається добрим.

Придатність виробничого процесу щодо характеристики якості продукції являє собою досягнутий розподіл результатів. Єдина важлива відмінність між придатністю і відтворюваністю виробничого процесу полягає в тому, що для **оцінювання придатності виробничого процесу немає вимог щодо наявності у виробничого процесу стану статистичної керованості** і застосування для управління виробничим процесом контрольних карт. При аналізі придатності виробничого процесу:

- 1) мають бути встановлені всі технічні умови, в тому числі вимоги виробничого середовища, наприклад, вимоги щодо температури і вологості [11, 17-20];
- 2) мають бути встановлені вимоги до невизначеності вимірювань [11, 17-19];
- 3) має бути забезпечена можливість аналізу багатовисхідних і багаторівневих аспектів виробничого процесу;
- 4) мають бути зібрані дані протягом встановленого періоду часу і зареєстровані;
- 5) мають відповідати встановленим системою менеджменту якості частота відбирання (створення) вибірки, а також час початку і кінця збирання даних [1];
- 6) процес може не контролюватися за допомогою контрольної карти;
- 7) процес може бути статистично не керованим, зокрема, отримані раніше дані, послідовність яких невідома, можуть бути використані для оцінки придатності виробничого процесу.

Показник придатності виробничого процесу – статистичний показник, що визначається за вихідною характеристикою виробничого процесу, який використовується для оцінювання виробничого процесу, перебування якого в стані статистичної керованості не підтверджене. **Параметром придатності** виробничого процесу можуть бути величини, що описують одну або кілька властивостей розподілу характеристики якості в умовах придатності. Оцінювати параметр придатності, на відміну від параметру відтворюваності, при нормальному законі розподілу характеристики якості можна лише за виразом (4).

Індекс придатності виробничого процесу – це індекс, що відображає стійкість виробничого процесу до встановленого поля допуску.

Якщо значення параметрів, що досліджуються розподіляються за нормальним законом розподілу, то довжина опорного інтервалу дорівнює $6\hat{\sigma}_t$ [15, 16]. Тому значення індексу придатності P_p може бути розраховане за виразом

$$P_p = (U - L) / (6\hat{\sigma}_t). \quad (13)$$

Верхній P_{pkU} і нижній P_{pkL} індекси придатності виробничого процесу можна оцінити за виразами:

$$P_{pkU} = (U - \bar{x}) / (3\hat{\sigma}_t); \quad (14)$$

$$P_{pkL} = (\bar{x} - L) / (3\hat{\sigma}_t). \quad (15)$$

Індекс придатності виробничого процесу P_{pk} приймається рівним значенню меншому із двох значень P_{pkU} та P_{pkL} , тобто $P_{pk} = \min(P_{pkU}, P_{pkL})$. Чим менше значення індексу придатності, тим більша ймовірність появи бракованої продукції, при цьому виробничий процес не буде задовольняти установленним вимогам.

Як видно з виразів (13) – (15), оцінка індексів придатності аналогічна оцінці індексів відтворюваності (6) – (12). Відмінність оцінювання індексів придатності від індексів відтворюваності полягає в тому, що виробничий процес не обов'язково має бути статистично керованим, а середньоквадратичне відхилення, яке характеризує кращий показник придатності виробничого процесу не може бути розраховане на основі параметрів контрольної карти.

Індекс придатності P_{pk} характеризує підтвержену (демонстровану) якість. Якщо виробничий процес центрований, то індекс придатності $P_{pk} = P_p$, але при зміщенні процесу індекс придатності зміщується від свого номінального значення, і P_{pk} стає меншим P_p . Високий індекс P_{pk} буде тільки у тому випадку, коли мета досягнута при мінімальному відхиленні від середньоарифметичного значення.

У випадку нецентрованості виробничого процесу індекс придатності P_p можна скорегувати, увівши поправку на нецентрованість

$$P_{pk} = (1 - k)P_p, \quad (16)$$

де k – коригуючий коефіцієнт, який відповідає величині нецентрованості та визначається як задане опорне (еталонне) значення специфікації (характеристики продукції) мінус середнє значення виробничого процесу.

Якщо процес центрований, то $k=0$ і $P_{pk}=P_p$. Якщо процес зміщується відносно заданого опорного (еталонного) значення, то k збільшується і індекс придатності P_{pk} стає меншим індексу P_p .

Якщо індекси придатності рівні між собою $P_{pk}=P_p$, то виробничий процес знаходиться в межах допуску. Якщо індекс $P_p < 1$, то це означає, що виробничий процес має низьку точність, тобто виробничий процес є незадовільним. Застосування статистичних методів [3 – 7] під час регулювання не дасть необхідного (відчутного) ефекту. В такому випадку необхідно підвищувати точність виробничого процесу шляхом заміни (ремонт) технічних засобів (устаткування) та забезпечення якості вимірювань (єдності вимірювань і точності вимірювань) [9, 21].

Якщо індекс придатності P_{pk} знаходиться в межах від 1 до 1,33 ($1 \leq P_{pk} < 1,33$), то виробничий процес має достатню точність – це означає, що процедура його настроювання ведеться правильно. При цьому можна рекомендувати застосувати приймальні контрольні карти та об'єднати процедуру регулювання виробничого процесу і приймання продукції в одній загальній процедурі SPC (Statistical Process Control) [22].

Якщо індекс $P_p > 1,33$, то виробничий процес вважається добрим (має високу потенційну точність).

Якщо $P_p > 1$, а $P_{pk} < 1$, то вважається, що виробничий процес має достатню потенційну точність, але існують фактори, які зміщують центр виробничого процесу та залишаються непоміченими. В цьому випадку рекомендується застосувати контрольні карти Шухарта для виявлення факторів, які можуть призводити зміщення центру виробничого процесу.

Якщо індекс $P_p > 1,66$, то виробничий процес ідеально налаштований [23, 24].

Основні властивості нормального закону розподілу, на якому заснований розрахунок частки браку, наведені на рис. 2.

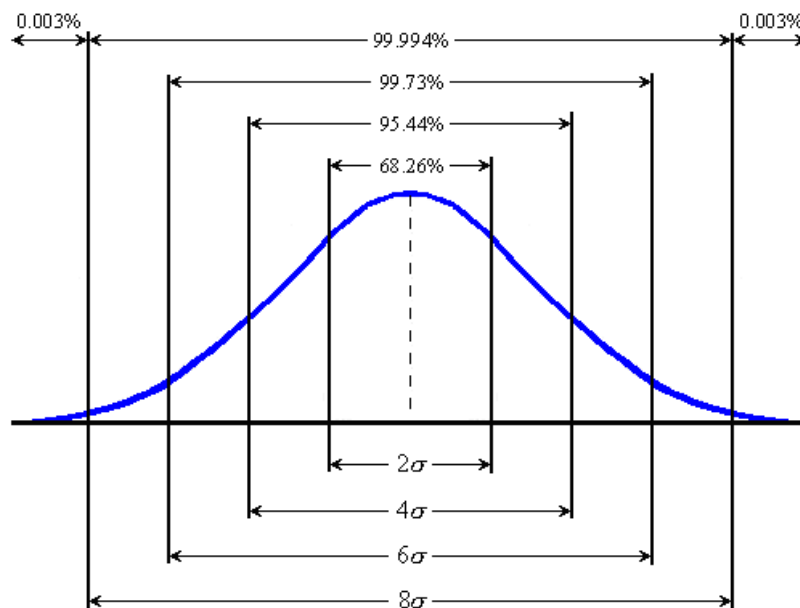


Рисунок 2 – Властивості нормального закону розподілу, на якому заснований розрахунок частки браку

Як видно з рис. 2, для того, щоб уникнути помітної частки бракованої продукції або характеристики виробничого процесу, що відхиляється від встановлених вимог, ширина поля допуску має бути не меншою за 6σ .

Оцінка загальної частки значень p_t характеристики виробничого процесу або параметра якості продукції, що не відповідають вимогам при нормальному законі розподілу може бути здійснена на основі верхньої і нижньої часток одиниць, що не відповідають вимогам:

$$\hat{p}_t = \hat{p}_L + \hat{p}_U = \Phi\left(\frac{L - \bar{x}}{\hat{\sigma}_t}\right) + \Phi\left(\frac{\bar{x} - U}{\hat{\sigma}_t}\right); \quad (17)$$

$$\hat{p}_L = 1 - \Phi(3\hat{C}_{p_{KL}}); \quad (18)$$

$$\hat{p}_U = 1 - \Phi(3\hat{C}_{p_{KU}}), \quad (19)$$

де \hat{p}_L - оцінка нижньої частки одиниць, що не відповідають вимогам – частка розподілу значень характеристики процесу чи продукції, що не перевищує нижньої межі поля допуску L ; \hat{p}_U - оцінка верхньої частки одиниць, що не відповідають вимогам – частка розподілу значень характеристики процесу чи продукції, що перевищує верхню межу поля допуску U ; $\Phi(*)$ - функція розподілу нормованого нормального закону розподілу.

Для оцінки частки одиниць продукції, які не відповідають вимогам придатності виробничого процесу, необхідно замінити у формулах (18) і (19) індекси відтворюваності $\hat{C}_{p_{KL}}$ та $\hat{C}_{p_{KU}}$ на індекси придатності $P_{p_{KL}}$ та $P_{p_{KU}}$ і таким чином отримати загальну частку розподілу значень характеристик виробничих послуг (виробничого процесу), які можуть виходити за межі поля допуску.

Висновки

Якість продукції чи послуг значною мірою визначається ефективністю системи управління якістю на підприємстві та належною організацією самого виробничого процесу. Система управління якістю, що побудована згідно з принципами загального управління якістю, передбачає постійне вдосконалення маркетингової діяльності підприємства, поліпшення якості продукції і задоволення потреб усіх зацікавлених сторін як споживачів, так і виробників за рахунок створення відповідного менеджменту на підприємстві.

Застосування індексів відтворюваності та придатності виробничого процесу в системі контролю якості продукції дозволяє наочно оцінити можливість зниження відсотка бракованої (невідповідної) продукції за рахунок зниження і усунення впливів, що мають невідповідні причини відхилення параметрів виробничого процесу (забезпечення стабільності виробничого процесу), а також зниження впливу випадкових причин, що призводять до відхилень параметрів виробничого процесу (підвищення можливостей виробничого процесу задовільняти встановлені вимоги). Це дозволить своєчасно приймати попереджувальні та коригувальні дії, які дадуть змогу знаходити резерви для підвищення якості продукції, знизити фінансові витрати на виправлення браку, підвищити конкурентоспроможність підприємства.

Список літератури

1. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary: ISO 9000:2015. – ISO: Switzerland, 2015. – (Міжнародний стандарт).
2. Guidance on the application of statistical methods to quality and to industrial standardization: ISO/TR 18532:2009. – ISO: Switzerland, 2009. – (Міжнародний стандарт).
3. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 2: Process capability and performance of time-dependent process models: ISO 22514-2:2017. – ISO: Switzerland, 2017. – (Міжнародний стандарт).
4. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 4: Process capability estimates and performance measures: ISO/TR 22514-4:2016. – ISO: Switzerland, 2016. – (Міжнародний стандарт).
5. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons: ISO 13528:2015. – ISO: Switzerland, 2015. – (Міжнародний стандарт).
6. "Статистичний контроль. Карти контрольні". Частина 1. Загальні настанови (Замінює ДСТУ ISO 7870:2004): ДСТУ ISO 7870-1:2010 (ISO 7870-1:2007, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – (Національні стандарти України).

7. "Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою". Частина 5. Система планів послідовного відбирання, індексованих межами прийняття якості (МПЯ) для послідовного вибіркового перевірення партій: ДСТУ ISO 2859-5:2009 (ISO 2859-5:2005, IDT). - К.: Держспоживстандарт України, 2009. – (Національні стандарти України).
8. Васілевський О.М. Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювань: [практикум] / О.М. Васілевський, В.О. Поджаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 87 с.
9. Микийчук М. Основні завдання та ознаки метрологічного забезпечення якості продукції / М. Микийчук, П. Столярчук, Т. Бубела // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2013. – Вип. 74. – С. 92–98.
10. Васілевський О.М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : [навчальний посібник] / О.М. Васілевський, В.О. Поджаренко. - Вінниця : ВНТУ, 2010. – 214 с. – ISBN 978-966-641-348-5.
11. Васілевський О.М. Основи теорії невизначеності вимірювань : [підручник] / О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський . - Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с. - ISBN 978-966-641-632-5.
12. Stephens M. A. Anderson-Darling Test for Goodness of Fit. In: Encyclopedia of Statistical Sciences. – Vol. 1. – 1982. – pp.81-85, (eds. Johnson, N.L. and Kotz, S.), Wiley Interscience.
13. Control charts - Part 2: Shewhart control charts: ISO 7870-2:2013. – ISO: Switzerland, 2013. – (Міжнародний стандарт).
14. Васілевський О.М. Статистичні методи виявлення систематичних похибок вимірювань / О.М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2012. - № 1. - С. 9 - 12.
15. D.J. Wheeler, An Honest Gauge R&R Study. Manuscript No. 189, 2009, available in: <http://www.spcpress.com/pdf/DJW189.pdf>
16. Suelí Fischer Beckert and Wagner Saucedo Paim, Critical analysis of the acceptance criteria used in measurement systems evaluation, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 8, 23 (2017).
17. Vasilevskiy O.M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 5, 4 (2014). - DOI: 10.1051/ijmqe/2014017.
18. Vasilevskiy O.M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty / O.M. Vasilevskiy // *Technical Electrodynamics*. – 2014. - № 6. - pp. 81-88.
19. Vasilevskiy, O.M., Kucheruk, V.Y., Bogachuk, V.V., Gromaszek, K., Wójcik, W., Smailova, S., Askarova, N. The method of translation additive and multiplicative error in the instrumental component of the measurement uncertainty // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 10031. – 2016. - art. no. 1003127. - DOI: 10.1117/12.2249195.
20. Поджаренко В. О. Оцінка вірогідності автоматизованого контролю складових елементів гумусу в ґрунті / В. О. Поджаренко, В. М. Дідич, О. М. Васілевський // Вісник національного університету „Львівська політехніка”. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. - № 639. - С. 51 – 54.
21. Любчик О.С. Аналіз основних напрямів удосконалення системи метрологічного забезпечення виробництва харчової продукції / О.С. Любчик, М.М. Микийчук // Науковий вісник НЛТУ України. - 2015. - Вип. 25.4. - С. 167-172.
22. Guidelines for implementation of statistical process control (SPC) – Part 1: Elements of SPC: ISO 11462-1:2001. – ISO: Switzerland, 2001. – (Міжнародний стандарт).
23. Демчук Л. В. Удосконалення системи контролю якості виробничого процесу / Л. В. Демчук // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 5/3 (25). – С. 18–21.
24. Demchuk Lesya. Achievement Particularities of Application of Theory of Constraints, Lean and Six Sigma for Ensuring the Quality of Products and Processes / Lesya Demchuk, Roman Baitsar // *Intern. Journal Sustainable Development*. – 2014. – Vol. 16. – P. 98–103.

Стаття надійшла: 5.04.2018.

Відомості про авторів

Васілевський Олександр Миколайович – д. т. н., професор, професор кафедри метрології та промислової автоматики ВНТУ, 21021, м. Вінниця.

Дідич Володимир Миколайович – к. т. н., доцент кафедри біофізики Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Прирогова, 21000, м. Вінниця.

Слободянюк Олександр Сергійович - магістрант групи ІЯП-17м, факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

O. M. Vasilevskiy¹, V. M. Didych², O. S. Slobodyanyk¹

**RATIONING INDICES REPRODUCIBILITY AND
SUITABILITY FOR EVALUATING THE QUALITY OF
PRODUCTS OR MANUFACTURING SERVICES**

¹ Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia

² Vinnytsia National Medical University M.I. Pyrohova, Vinnitsia

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу <http://itce.vntu.edu.ua/>