

**ДІАГНОСТИКА ТА АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРВИННИХ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

Н. А. Засць, доктор технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: z-n@ukr.net

Л. О. Власенко, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет харчових технологій

E-mail: vlasenko.lidia1@gmail.com

***В. М. Штепа, кандидат технічних наук,
керівник НДЛ «Екоінженерія»***

Поліський державний університет, Республіка Білорусь

E-mail: shns1981@gmail.com

О. В. Савчук, кандидат технічних наук, старший викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sav99871@gmail.com

Анотація. *Стаття присвячена вирішенню актуальної задачі безперебійної роботи первинних вимірювальних перетворювачів, від правильності й точності роботи яких залежить якість роботи системи автоматичного регулювання.*

Нині більшість робіт, проведених вченими та фахівцями виробництва, спрямовані на вдосконалення проходження технологічних процесів, зменшення втрат, підвищення точності, швидкості та якості регулювання завдяки впровадженню новітніх методів та підходів сучасної теорії керування.

Але порівняно невелика кількість досліджень спрямована на покращення якості функціонування електричних комплексів шляхом діагностування поточного стану електрообладнання, оскільки своєчасне виявлення несправностей і дія на випередження забезпечить недопущення поломки з подальшим ремонтом, простоем виробництва через усунення поломки, заміни приладу.

Для своєчасного виявлення поломок та несправностей в роботі первинних вимірювальних перетворювачів слід використовувати методи технічної діагностики та контролю.

Метою дослідження є розробка методу комплексного діагностування для оцінки на ранніх стадіях стану первинних перетворювачів, правильності їхньої роботи та виявлення можливих несправностей.

Представлено метод комплексного діагностування шляхом статистичного аналізу технологічних вимірювань за допомогою контрольних карт Шухарта, тестове діагностування первинних перетворювачів і аналіз графіка ремонтних і профілактичних робіт технічних засобів. Побудовано контрольні карти Шухарта за рівнями у 4 секціях нахиленого дифузійного апарату та проведено співставлення результатів у часі із врахуванням часу закінчення процесу в попередніх секціях. Експериментальні дослідження проводились у програмному пакеті Statistica. Наведено X-карту та R-карту Шухарта, аналіз яких дає змогу виявити появу специфічних причин розлагодження процесу. Проведено аналіз відповідності досліджуваної вибірки нормальному закону розподілу за допомогою критеріїв Колмогорова-Смирнова (K-S test) та Шапіро-Уилка (W test). Для спрощення прийняття рішень оператором розроблено структурно-логічну схему етапів виявлення несправності первинних вимірювальних перетворювачів.

Ключові слова: *первинні вимірювальні перетворювачі, електротехнічні комплекси, поломки, несправності, діагностика, електротехнічне обладнання, харчові виробництва*

Актуальність. Однією з важливих характеристик роботи електротехнічного комплексу є правильна й безперебійна робота первинних вимірювальних перетворювачів. Від правильності й точності напрямку їхньої роботи залежить якість регулювання й робота системи автоматичного регулювання, яка працює на виробництві [1]. Нині більшість робіт, які ведуться науковцями та спеціалістами на виробництві, спрямовані на вдосконалення проходження технологічних процесів, зменшення втрат, підвищення точності, швидкості та якості регулювання завдяки впровадженню новітніх методів та підходів сучасної теорії керування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На жаль, доволі невелика кількість досліджень спрямована на підвищення якості функціонування ЕТК за рахунок діагностування поточного стану електротехнічного обладнання, адже вчасне виявлення появи несправностей і дія на випередження забезпечить недопущення поломки з подальшим ремонтом, простоем виробництва через усунення поломки, заміни приладу тощо.

Для своєчасного виявлення поломок і несправностей у роботі первинних вимірювальних перетворювачів слід використовувати методи технічної діагностики та контролю [2]. Мета технічної діагностики полягає у своєчасній оцінці технічного стану системи і виявленні причини порушення працездатності системи. Метою

технічного контролю є тільки оцінка технічного стану досліджуваної системи. Цей варіант переважно застосовують у випадках, коли відсутня будь-яка можливість втручання в технологічний процес без особливих прав доступу до нього.

Сучасні автоматичні системи контролю та діагностики вирішують доволі широкий спектр задач [2], зокрема, здійснюють:

- перевірку працездатності досліджуваної системи;
- своєчасне встановлення причини й місця відмови;
- реконфігурації в системі (у разі необхідності), що спрямовані на відновлення її працездатності.

Існує доволі різноманітний спектр методів діагностики з виявлення несправностей технічних засобів на ранніх стадіях. У харчовій промисловості широко використовуються методи неруйнівного контролю технічного стану електротехнічного обладнання: контроль вібрацій, акустичного шуму, методи тепловий, оптичний, радіаційний, ультразвуковий, магнітографічний, рентгенографічний тощо.

До найпоширеніших належать [3]:

- методи вібраційної діагностики, які зводяться до аналізу вібрацій ТЗ;
- акустичні методи, в основі яких покладено вимірювання амплітуди й частоти звукових коливань, які випромінює досліджуваний об'єкт під час роботи;
- тестове діагностування дозволяє виявити дефект під час роботи або ремонту ТЗ на основі аналізу проходження тестових сигналів;
- функціональне діагностування, спрямоване на перевірку правильності функціонування та виявлення дефектів, які його порушують.

Для діагностики датчиків важливим є використання методів, які не впливають на їхню роботу та не втручаються в неї. Тому переважно намагаються застосовувати пасивні діагностичні методи, що визначають несправності й надають оцінку поточного стану, а не активні, які діють на досліджуваний технічний засіб (а в переважній більшості випадків, прямо або опосередковано й на інші технічні пристрої), надсилаючи на нього певні сигнали й оцінюючи його реакцію на них.

Одним із варіантів проведення якісного й безпечного контролю стану обладнання для успішного і ефективного проходження технологічного процесу є комплексне діагностування, яке складається з набору діагностичних заходів, що ґрунтуються на різних методах та методиках.

Мета дослідження – розробка методу комплексного діагностування для оцінки на ранніх стадіях стану первинних перетворювачів, правильності їхньої роботи та виявлення можливих несправностей.

Матеріали та методи дослідження. У статті пропонується поєднання декількох методів для проведення оцінки стану первинних перетворювачів, правильності їхньої роботи, виявлення можливих несправностей на ранніх стадіях. Для цього слід проводити статистичний аналіз технологічних вимірювань за допомогою контрольних карт Шухарта, тестове діагностування первинних перетворювачів і аналіз графіка ремонтних і профілактичних робіт технічних засобів.

Контрольні карти Шухарта (КК Шухарта) – є потужним і популярним інструментом виявлення появи розлагодження технологічного процесу на ранніх стадіях, тобто ще до появи суттєвих відхилень у технологічному процесі. КК дають сигнал оператору перевірити можливі несправності як в технологічному процесі, так і в роботі технічних засобів, зокрема первинних перетворювачів [4, 5, 6].

КК Шухарта представляються як поєднання двох карт: X-карти та R-карти, що аналізуються одночасно. Викид за контрольні межі (відповідають 3σ і розраховується в пакеті Statistica автоматично) на будь-якій з них або на обох одночасно, свідчить про появу специфічних причин розлагодження процесу [4].

Як правило, появу викидів у досліджуваній вибірці викликають:

1. випадкові флуктуації – безладні рухи відносно великої частоти. Вони породжуються впливом різнорідних подій на досліджувану величину (мають несистематичний або випадковий ефект).

2. викиди – аномальні рухи часового ряду, пов'язані з подіями, які рідко відбуваються, але різко й дуже короткочасно відхиляють ряд від загального закону, за яким він рухається.

3. структурні зсуви – аномальні рухи тимчасового ряду, пов'язані з рідкими подіями, що мають стрибкоподібний характер і змінюють тенденцію.

Відхилення параметра об'єкта під впливом експлуатаційних чинників відбувається вже не плавно, а ламаною зростаючою кривою, між тим різке збільшення швидкості зміни параметра в окремі моменти викликано випадковими несприятливими умовами або суб'єктивними чинниками (великі навантаження, запиленість повітря неправильна експлуатація, недостатнє змазування тощо.). З іншого боку, періодам малої швидкості зміни параметра відповідають сприятливі умови роботи [7].

Динаміка, тобто зміна в часі діагностичного параметра, що характеризує відхилення одного або декількох параметрів, також може бути виражена у вигляді зростаючої кривої. Особливість її полягає у порівняно великих зламах і, в ряді випадків, немонотонному зростанні. Це пояснюється впливом на діагностичний параметр інших, не пов'язаних зі структурними параметрами чинників, у тому числі похибкою вимірювання діагностичного параметра, що може бути пов'язано з несправністю датчика [8].

Результати досліджень. Побудуємо контрольні карти Шухарта за рівнями у 4 секціях нахилоного дифузійного апарату. Для аналізу було обрано 100 вимірювань, що відповідає часу перебігу технологічного процесу в кожній секції. Для отримання адекватних результатів проводилось співставлення результатів у часі, тобто аналіз рівня в наступних секціях проводився з певним інтервалом, що враховував час закінчення процесу в попередніх секціях. Було проведено низку експериментів у програмному пакеті Statistica, основні результати наведені нижче.

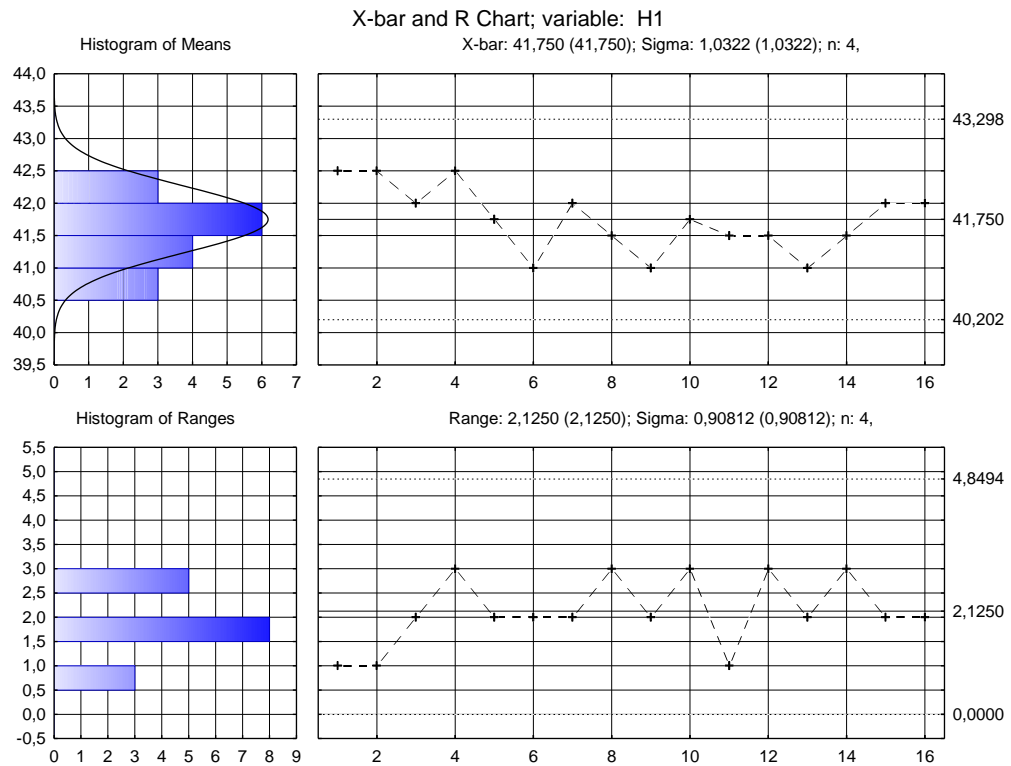


Рис. 1. КК Шухарата для рівня в I секції нахиленого дифузійного апарату

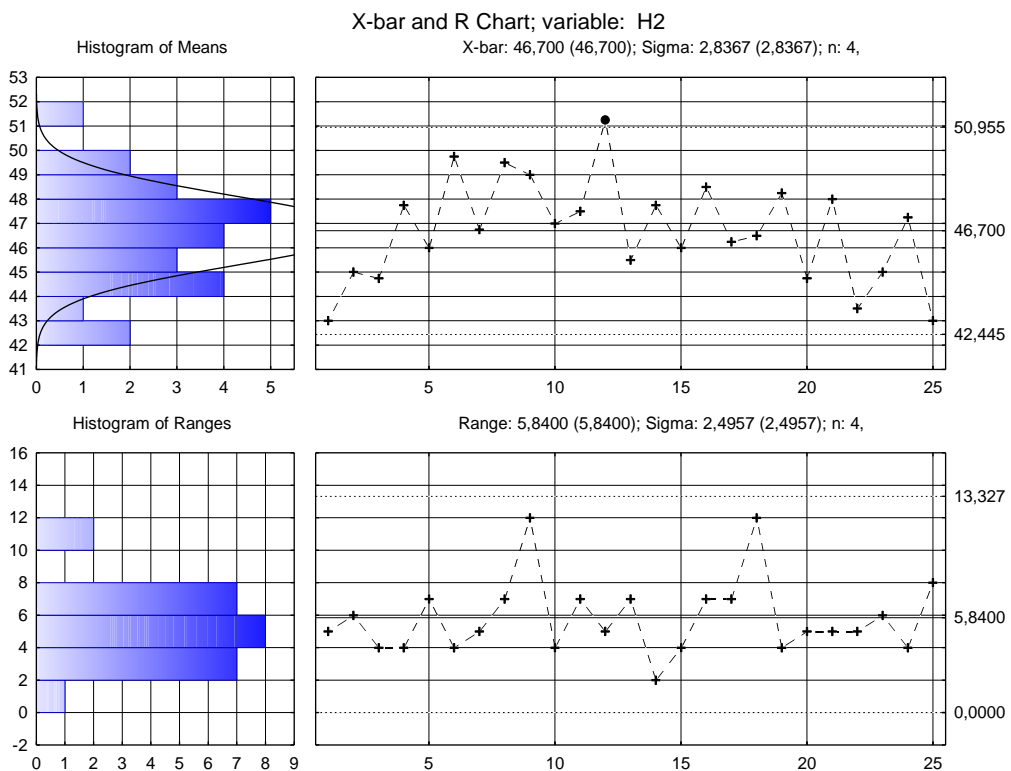


Рис. 2. КК Шухарата для рівня в II секції нахиленого дифузійного апарату

КК Шухатра для рівня в першій секції показана на рис.1. Аналізуючи КК (рис. 1) можна зробити висновок, що на Х-карті та R-карті за нормального розподілу значень (гістограма нормального розподілу побудована в лівій верхній частині карти), відсутні викиди за контрольні межі, що свідчить про керованість процесом та вказує, що спеціальні причини варіацій, які можуть свідчити про раннє розлагодження процесу, відсутні.

На рис. 2 наведені КК для рівня в II секції нахиленого дифузійного апарату. Як видно з рис. 2, на Х-карті присутній викид за контрольні межі, у той час, як на R-карті викиди відсутні. Це свідчить про те, що оператору слід звернути увагу на можливі причини його появи. Такий тип КК ми отримували під час переважної більшості проведених дослідів.

КК Шухарата для рівня в III секції нахиленого дифузійного апарату (рис. 3) не мають викидів, що свідчить про статистичну керованість технологічного процесу. Зважаючи на можливі проблеми, про які сигналізували КК для рівня в II секції дифапарату, можна зробити висновок, що або відбулось самоналагодження процесу, або в II секції є певні причини, що викликають появу викиду.

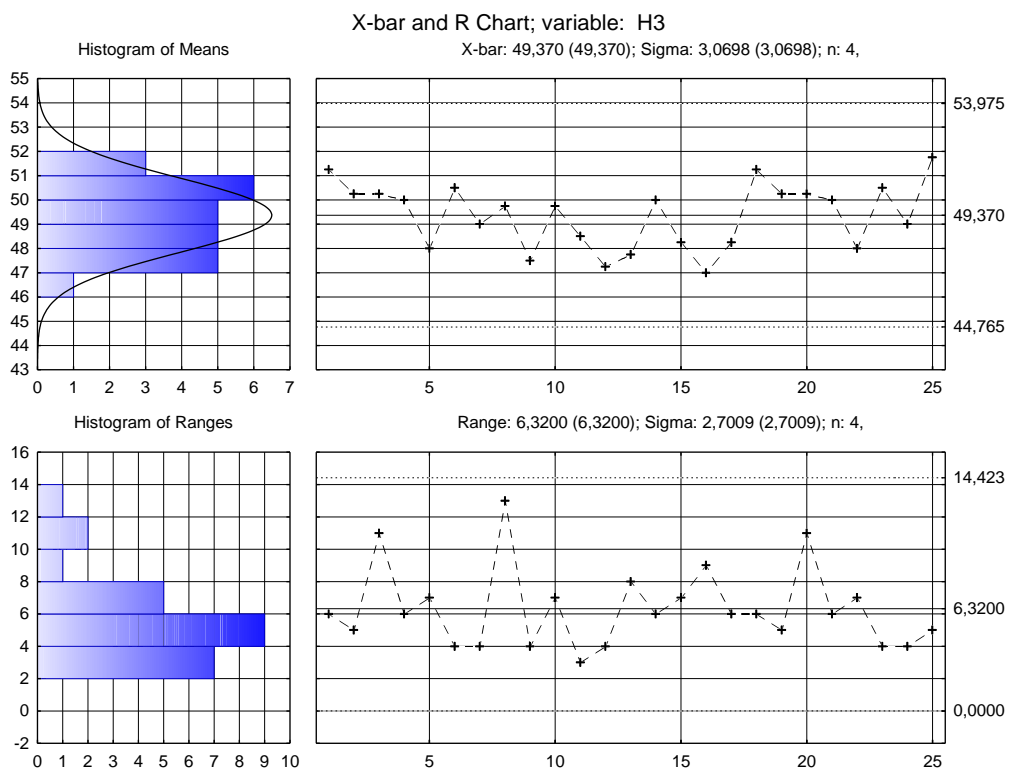


Рис. 3. КК Шухарата для рівня в III секції нахиленого дифузійного апарату

Якщо аналізувати КК на рис. 3, то візуальний аналіз відповідності досліджуваної вибірки нормальному закону розподілу не дає чіткої впевненості у тому, що вона йому відповідає. Тому було проведено додатковий аналіз на відповідність нормальному закону розподілу за допомогою критеріїв Колмогорова-Смирнова (K-S test) та Шапіро-Уилка (W test). Результати тестів наведені на рис. 4.

З результатів, наведених у таблиці на рис. 4, можна зробити висновок про відповідність досліджуваної вибірки нормальному закону розподілу.

Tests of Normality (Spreadsheet2)				
Variable	N	max D	K-S p	W
H3	100	0,096559	p > .20	0,975695

Рис. 4. Результати тестування вибірки H3 на відповідність нормальному закону розподілу

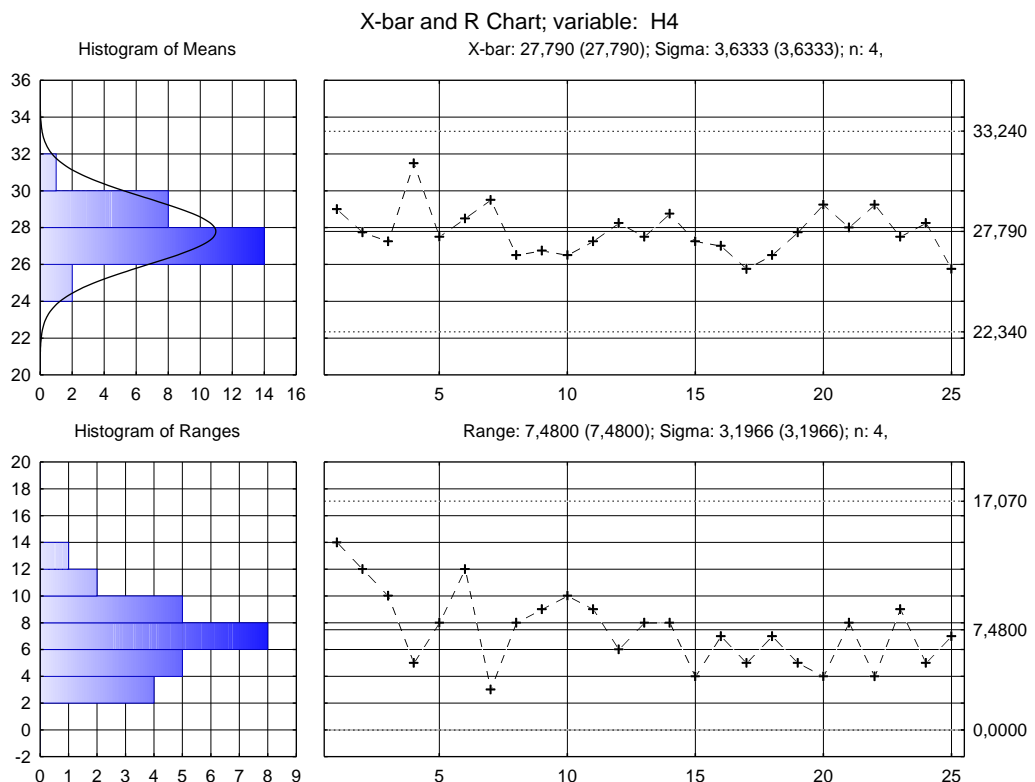


Рис. 5. КК Шухарата для рівня в IV секції нахилоного дифузійного апарату

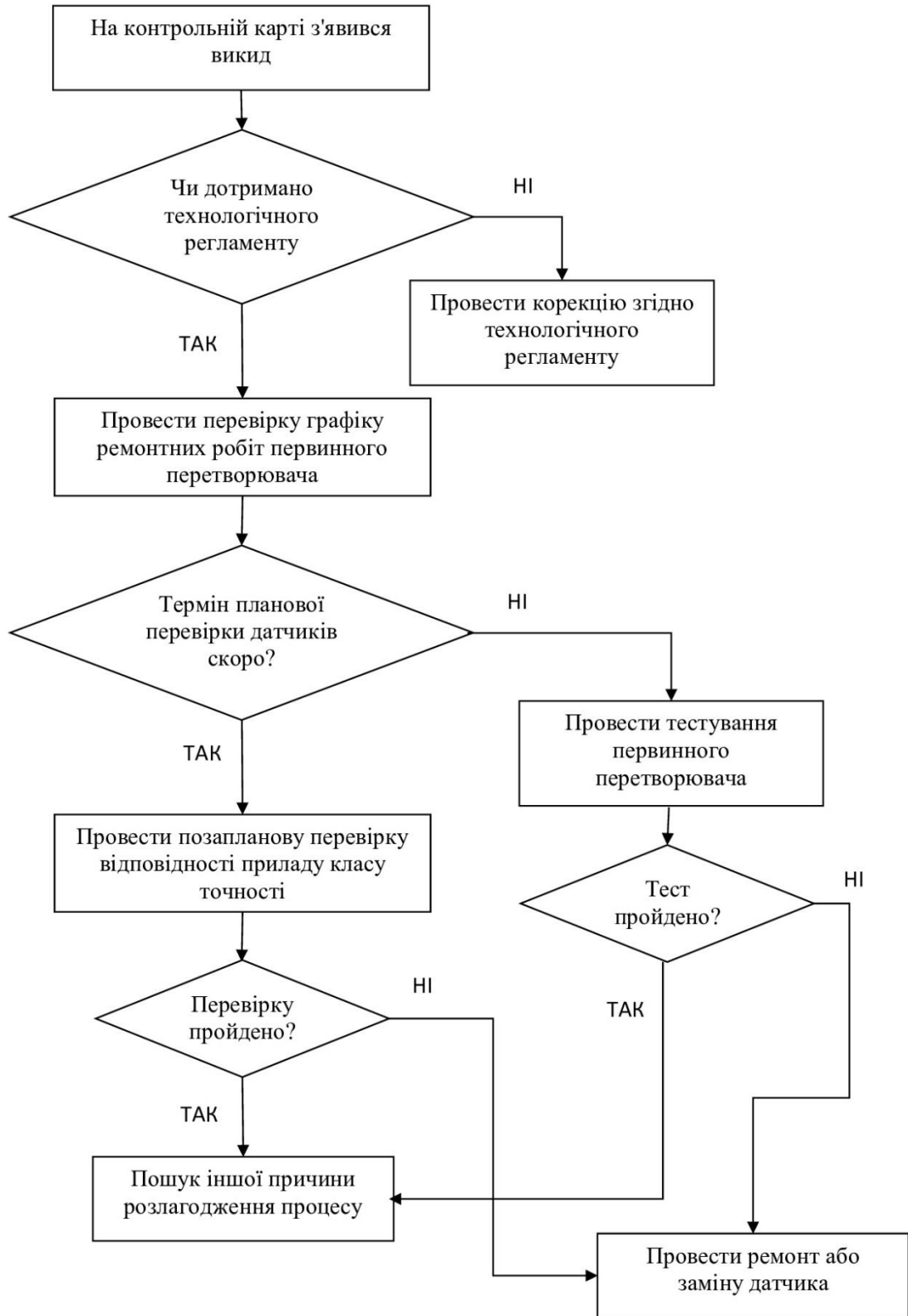


Рис. 6. Структурно-логічна схема етапів виявлення несправності первинних вимірювальних перетворювачів

Побудовані КК Шухарата для рівня в IV секції нахиленого дифузійного апарату також свідчать про статистично керований процес, за нормального розподілу викиди на обох картах відсутні, тому робимо висновок, що на процес не впливають ніякі негативні дії, що можуть викликати появу специфічних небажаних впливів.

Проаналізувавши низку експериментів і виявивши основну тенденцію періодичної появи викидів у другій секції на КК у той час, коли КК для інших секцій свідчать про правильне проходження технологічного процесу, можна зробити висновок, що необхідно шукати причину появи викиду.

Оскільки КК не вказують на причину появи розлагодження процесу, її слід шукати самостійно. На першому кроці оператору слід впевнитись, що викид не викликаний порушеннями технологічного регламенту. У нашому випадку, зважаючи на відповідність рівнів заданим значенням в інших секціях, робимо припущення про появу несправності в датчику вимірювання рівня у II секції.

Для зручності та спрощення прийняття рішень оператором розроблено структурно-логічну схему етапів виявлення несправності первинних вимірювальних перетворювачів (рис. 6). Отже, КК Шухарта хоча й не дозволяють виявити причини появи розлагодження процесу, але на ранніх стадіях вказують на появу проблеми. Це дає час оператору для виявлення різних типів поломок.

Висновки і перспективи. Для виявлення можливих несправностей на ранніх стадіях діагностики первинних вимірювальних перетворювачів розроблено структурно-логічну схему етапів виявлення несправностей первинних вимірювальних перетворювачів, яка базується на результатах проведеного статистичного аналізу технологічних вимірювань із використанням контрольних карт Шухарта, тестового діагностування й аналізу графіка ремонтних і профілактичних робіт технічних засобів, що на ранніх стадіях вказують на появу проблеми та дають час оператору для виявлення різних типів поломок.

Список літератури

1. Montgomery Douglas C. Introduction to statistical quality control. Arizona State University. 2009. 754 p.

2. Химельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах. Ленинград, 1983. 352 с.
3. Ладанюк А. П., Заець Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. Київ: Ліра-К, 2016. 312с.
4. Адлер Ю. П., Максимова О. В., Шпер В. Л. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом: краткий обзор современного состояния (статистически аспекты). Стандарты и качество. 2011. URL:<http://www.riastk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf>.
5. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта. М., 2009. 409 с.
6. Шарапов М. Статистический контроль. Контрольні карти Шухарта. ISO 8258:1991. ДСТУ ISO 8258-2001. К., 2003. 32 с.
7. Адлер Ю. П., Шпер В. Л. Интерпретация контрольных карт Шухарта. URL: <http://quality.eup.ru/MATERIALY7/kks.htm>.
8. Zaiets N., Vlasenko L., Lutskaya N., Usenko S. System Modeling for Construction of the Diagnostic Subsystem of the Integrated Automated Control System for the Technological Complex of Food Industries ICMRE 2019. The 5th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering, February 16–19, 2019, Rome, Italy. P. 93–99.

References

1. Montgomery Douglas C. (2009). Introduction to statistical quality control. Arizona State University, 754.
2. Khimel'blau D. (1983). Obnaruzheniye i diagnostika nepoladok v khimicheskikh i neftekhimicheskikh protsessakh [Detection and diagnosis of malfunctions in chemical and petrochemical processes]. Leningrad, 352..
3. Ladanyuk A. P., Vlasenko L. O., Zaiets N. A. (2016). Suchasni tekhnolohiyi konstruyuvannya system avtomatyzatsiyi skladnykh ob"yektiv: monohrafiya [Modern technologies of designing automation systems for complex objects: monograph]. Kyiv: Lira-K, 312.
4. Adler YU. P., Maksimova O. V., Shper V. L.(2011). Kontrol'nyye karty Shukharta v Rossii i za rubezhom: kratkiy obzor sovremennogo sostoyaniya (statisticheski aspekty) [Control cards of Shekhart in Russia and abroad: a brief overview of the current state (statistical aspects)]. Standarty i kachestvo, [URL:http://www.riastk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf](http://www.riastk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf)
5. Uiler D., Chambers D. (2009). Statisticheskoye upravleniye protsessami. Optimizatsiya biznesa s ispol'zovaniyem kontrol'nykh kart Shukharta [Statistical process control. Business optimization using Shekhart control charts]. Moscow, 409.
6. Sharapov M. (2003). Statisticheskiy kontrol'. Kontrol'ni karti Shukharta [Statistical control. Control chart of Shekhart.]. ISO 8258:1991. DSTU ISO 8258-2001. Kiev, 32.
7. Adler YU. P., Shper V. L. Interpretatsiya kontrol'nykh kart Shukharta [Interpretation of the Shekhart control charts]. URL:

<http://quality.eup.ru/MATERIALY7/kks.htm>.

8. Zaiets N., Vlasenko L., Lutskaya N., Usenko S. (2019). System Modeling for Construction of the Diagnostic Subsystem of the Integrated Automated Control System for the Technological Complex of Food Industries ICMRE 2019. The 5th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering, February 16–19, 2019, Rome, Ital.,. 93–99.

ДИАГНОСТИКА И АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Н. А. Заец., Л. А. Власенко., В. Н. Штепа, А. В. Савчук

Аннотация. *Статья посвящена решению актуальной задачи бесперебойной работы первичных измерительных преобразователей, от правильности и точности работы которых зависит качество работы системы автоматического регулирования.*

В настоящее время большинство работ, проведенных учеными и специалистами производства, направлены на совершенствование прохождения технологических процессов, уменьшение потерь, повышение точности, скорости и качества регулирования благодаря внедрению новейших методов и подходов современной теории управления.

Но сравнительно небольшое количество исследований направлено на улучшение качества функционирования электрических комплексов путем диагностирования текущего состояния электрооборудования, поскольку своевременное выявление неисправностей и действие на опережение обеспечит недопущение поломки с последующим ремонтом, простоем производства путем устранения поломки, замены прибора.

Для своевременного выявления поломок и неисправностей в работе первичных измерительных преобразователей следует использовать методы технической диагностики и контроля.

Целью исследования является разработка метода комплексного диагностирования для оценки на ранних стадиях состояния первичных преобразователей, правильности их работы и выявления возможных неисправностей.

Представлен метод комплексного диагностирования путем статистического анализа технологических измерений с помощью контрольных карт Шухарта, тестовое диагностирование первичных преобразователей и анализ графика ремонтных и профилактических работ технических средств. Построены контрольные карты Шухарта по уровням в 4 секциях наклонного диффузионного аппарата и проведено сопоставление результатов во времени с учетом времени окончания процесса в предыдущих секциях. Экспериментальные исследования проводились в программном пакете Statistica. Приведены X-карта и R-карта Шухарта, анализ которых позволяет выявить появление специфических причин разладки процесса. Проведен анализ соответствия исследуемой выборки нормальному закону распределения с помощью критериев Колмогорова-Смирнова (K-S test) и Шапиро-Уилки (W test). Для упрощения принятия решений оператором

разработана структурно-логическая схема этапов выявления неисправности первичных измерительных преобразователей.

Ключевые слова: *первичные измерительные преобразователи, электротехнические комплексы, поломки, неисправности, диагностика, электротехническое оборудование, пищевые производства*

DIAGNOSTICS AND ANALYSIS OF FUNCTIONING OF PRIMARY MEASURING TRANSDUCERS

N. Zaiets, L. Vlasenko, V. Shtepa, O. Savchuk

Abstract. *The article is devoted to solving the urgent problem of uninterrupted operation of primary measuring transducers, the quality of the automatic control system depends on the correctness and accuracy of their operation.*

The article is devoted to solving the urgent problem of uninterrupted operation of primary measuring transducers, the accuracy and accuracy of which depends on the quality of the automatic control system.

Today, most of the work done by scientists and specialists in the field of technology is aimed at improving the flow of technological processes, reducing losses, improving the accuracy, speed and quality of regulation through the introduction of modern methods and approaches of modern control theory.

But a relatively small amount of research is aimed at improving the quality of functioning of electrical systems by diagnosing the current state of electrical equipment, because timely detection of faults and the impact on the advance will prevent breakage with subsequent repair, production downtime by eliminating breakage, replacement of the device.

For timely detection of breakdowns and malfunctions in the operation of the primary measuring transducers, technical diagnostic and control methods should be used.

The purpose of the study is to develop a method of comprehensive diagnosis for the assessment in the early stages of the condition of the primary converters, their correct operation and the identification of possible faults.

The method of complex diagnostics by statistical analysis of technological measurements using Shekhart control charts, test diagnostics of primary converters and analysis of the schedule of repair and preventive maintenance of technical equipment is presented. The Shekhart control charts were constructed by the levels in 4 sections of the inclined diffusion apparatus and the results were compared in time taking into account the end time of the process in the previous sections. Experimental studies were carried out in the Statistica software package. The X-card and the Schuhart R-card are presented, the analysis of which allows to reveal the appearance of specific causes of the process of delight. The correspondence of the studied sample to the normal distribution law was analyzed using the Kolmogorov-Smirnov (K-S test) and Shapiro-Wilkie (W test) criteria. To simplify decision-making by the operator, a structural-logical diagram of the stages for detecting malfunctions of primary measuring transducers has been developed.

Key words: *primary measuring transducers, electrical complexes, breakdowns, malfunctions, diagnostics, electrical equipment, food production*