

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ
КЕРУВАННЯ. ЧАСТИНА 1. ПРОВЕДЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ
ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАХОДІВ**

Л. О. ВЛАСЕНКО, кандидат технічних наук, доцент
Національний університет харчових технологій
E-mail: vlasenko.lidia1@gmail.com

А. П. ЛАДАНЮК, доктор технічних наук, професор
Національний університет харчових технологій
E-mail: ladanyuk@ukr.net

Анотація. У першій частині статті наведено результати оцінки стану технологічного об'єкта автоматизації на основі статистичних методів та діагностичних заходів. Для прикладу розглядається робота складного багатоемнісного технологічного об'єкта – випарної станції (ВС) цукрового заводу з традиційними системами автоматичного керування. Проаналізовано статистичну керованість технологічного процесу, зокрема проаналізовано наявність викидів за контрольні межі, наведено результати діагностування стану технологічного процесу. Представлено автоматизований аналіз контрольних карт, виконаний в програмі STATISTICA. Розглянуто особливості використання контрольних карт та процедур для різних стадій покращення ефективності функціонування об'єкта.

Проаналізовано результати випереджуваного визначення можливого розлагодження технологічного процесу на основі аналізу одновірних контрольних карт Шухарта. Оцінка ефективності роботи досліджуваного технологічного об'єкта проведена за аналізом характеру поведінки технологічної змінної якісних показників продукту і реалізована за допомогою статистичного інструментарію – діаграми Ісікави. Згодом планується проаналізувати якість роботи ВС за альтернативною ознакою для виявлення реального рівня дефектності в поточний момент часу за допомогою побудови контрольних карт за альтернативною ознакою. Друга частина статті присвячена особливостям проведення прогностичних заходів для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів.

Ключові слова: статистичне керування, контрольні карти, діагностика, якість, корекція, варіація

Актуальність. Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності функціонування технологічного об'єкта, що працює в комплексі з традиційною системою автоматичного керування. У сучасних умовах, враховуючи високу конкуренцію між

виробниками харчової продукції та непрості економічні умови, на перший план виходять питання, пов'язані зі зменшенням проміжних втрат при виробництві, собівартості продукції, збільшенням кількості вихідної продукції, підвищенням якості кінцевого продукту, енерго- та ресурсоощадності, що з урахуванням високого рівня розвитку техніки й технологій можливо за рахунок випереджуваного визначення ймовірного розлагодження проходження технологічного процесу і оперативного введення коригувального впливу для підвищення енерго- та ресурсоефективності. Отримані результати можуть становити основу розробки інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Усі процеси, що протікають при функціонуванні технологічних об'єктів харчових виробництв, піддаються варіабельності, причиною якої є як внутрішні, так і особливо зовнішні впливи. Переваги доповнення традиційних систем керування для покращення їх роботи методами опрацювання статистичних даних визначив У. Шухарт. Усі технологічні процеси є варіабельними, на деякі з них впливає керована варіабельність, а на деякі – некерована [1]. Причому керована варіабельність характеризується стабільною структурою і стійкістю в часі, некерована – навпаки. Е. Демінг [2] і Д. Хіммельблау підтримали розвиток методики визначення статистичної керованості технологічного процесу на основі виявлення причин варіабельності: випадкових або спеціальних, за допомогою побудови та аналізу контрольних карт (КК).

На сьогодні існує певна різновидність КК, за допомогою яких можна оцінити й передбачити можливий перебіг технологічного процесу або розвиток технологічної ситуації, виявити причини неполадок, які виникають у процесі функціонування технологічного об'єкта та вчасно ввести відповідні коригувальні впливи [3–5]. Крім того, залежно від розв'язуваних задач, можуть бути використані одновимірні КК для аналізу зміни однієї технологічної змінної [1, 3, 5–7] та багатовимірні – для аналізу декількох взаємокорельованих змінних [6–8]. Останнім часом активно розвиваються обидва напрями використання КК для одно- та багатопараметричних процесів для вчасної оцінки стану об'єкта керування, визначення статистичної керованості досліджуваних процесів, виявлення причин розлагодження технологічних процесів та введення на ранніх стадіях вчасних коригувальних дій з метою запобігання виникнення нештатних ситуацій.

Отже, доповнення традиційних систем автоматичного керування (САК) методами статистичного керування, зокрема на основі КК, підвищить ефективність функціонування ТК, за рахунок виявлення можливості появи дефектів на ранніх стадіях і випереджувального введення відповідних коригувальних дій.

Об'єктом дослідження є система керування технологічним процесом, що працює в умовах варіабельності. Під час попередніх досліджень [6, 8] встановлено, що якість систем регулювання технологічними об'єктами з традиційними системами керування в цілому відповідає вимогам стабілізації технологічного режиму, але не

розглядаються і не враховуються ресурсо- та енергоефективні резерви, тому доповнення САК методами статистичного керування суттєво покращують їх роботу.

Мета дослідження – підвищення якості регулювання технологічним об'єктом, що функціонує в умовах варіабельності, шляхом проведення статистичних діагностичних заходів.

Матеріали і методи дослідження. Процес підвищення ефективності технологічного процесу варто розбити в часі на три стадії [3]:

1. Стабілізація процесу (тобто приведення його до керованого стану) здійснюється на основі оцінки стану та визначення ситуацій.

2. Проведення різноманітних заходів щодо покращення якості перебігу самого процесу, тобто зменшення загальних причин варіацій.

3. Моніторинг процесу для підтримання досягнутих покращень та формування ефективних керувальних дій САК, до моменту виникнення нових впливів, що можуть призвести до погіршення його якості.

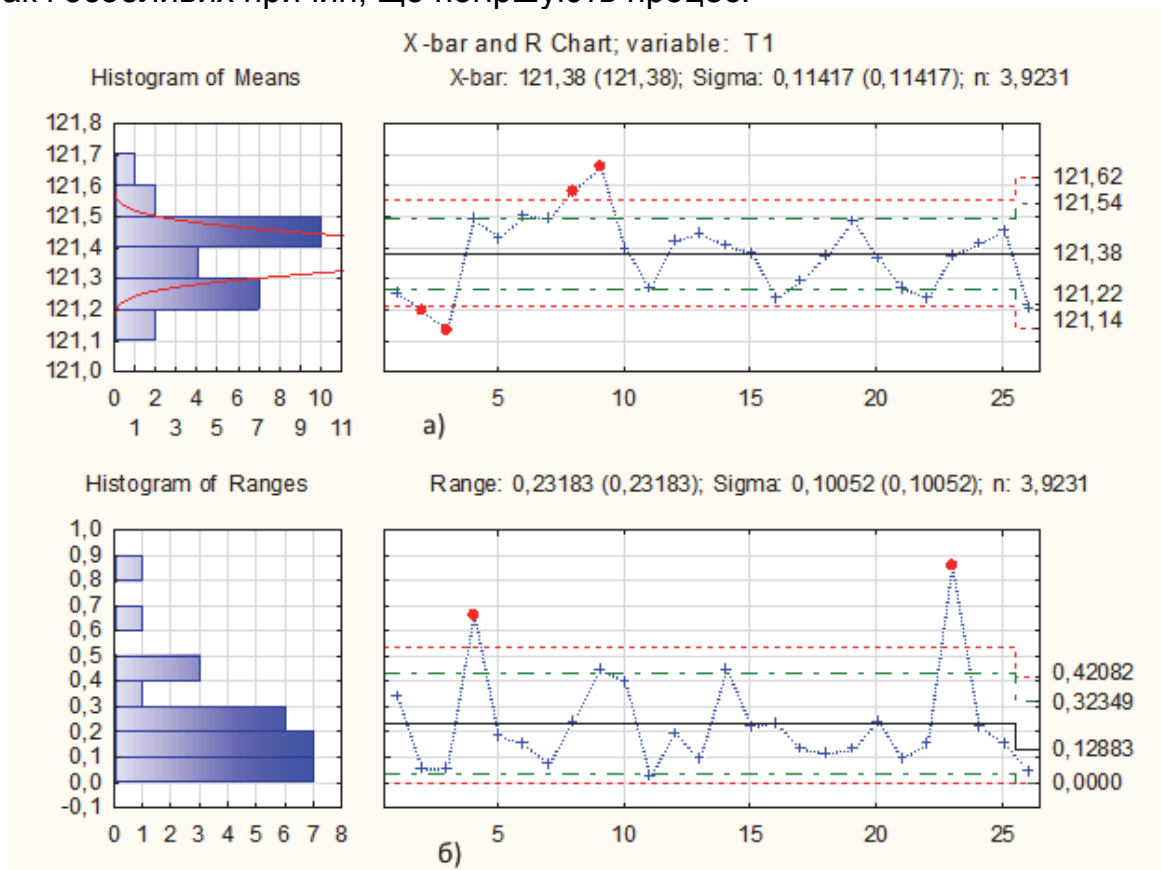
Враховуючи універсальний характер КК та їх різноманіття, вони можуть використовуватись на кожній із зазначених стадій з певною метою: на першій стадії – як первинний засіб діагностування стану об'єкта / процесу (через діагностування відповідних технологічних змінних); під час другої стадії – як оцінка якості ефективності роботи обраних статистичних інструментаріїв, за допомогою діаграми Ісікави, та як сигналізатор тих випадків, де потрібно зайнятися усуненням причин особливих впливів; на третій стадії мета КК – діагностування появи особливих впливів, які негативно впливають на стан стабільності, досягнутий в кінці другої стадії. Як правило, використання карт на другій та третій стадії безпосередньо пов'язано в особливостями їх побудови і застосування, зводиться до перерахунку та встановлення нових контрольних меж після проведених змін у процесі, щоб оцінити їх ефект.

Результати дослідження та їх обговорення. Для прикладу розглядається робота випарної станції цукрового заводу, яка є складним багатомісним варіабельним технологічним об'єктом з традиційними системами автоматичного керування. Досліджувалися вибірки, що відповідають процесу випарювання в одному випарному апараті. Досліджувані процеси є стабільними, керованими, не виходять за межі, встановлені технологічним регламентом, об'єкт працює в штатному режимі.

Якісним показником роботи ВС є вміст сухих речовин на виході з останнього корпусу ВС, на який немає прямого керувального впливу. Найбільш опосередкованим технологічним параметром, що характеризує керувальну дію, є температура в I корпусі ВС. Проведено аналіз часового ряду температури в I корпусі ВС на основі побудови контрольних карт Шухарта (ККШ) за допомогою програмного засобу STATISTICA, результати якого подано на рис. 1.

Після аналізу ККШ (рис. 1) виявлено, що незважаючи на те, що технологічний процес є стабільним, тобто якість регулювання є задовільною, традиційна система регулювання забезпечує задані показники, і оператор оцінює ситуацію, як штатну, на X- (рис. 1a) та R-

картах (рис. 1б) є викиди за контрольні межі, що свідчить про появу збурень та перешкод, які згодом можуть стати причиною погіршення якості проходження технологічного процесу. Крім того, видно, що за межами регулювання спостерігаються точки на R-карті, а також відповідні і не відповідні їм точки на X-карті. Це свідчить про наявність як звичайних, так і особливих причин, що погіршують процес.



**Рис. 1. Контрольні карти Шухарта за температурою в I корпусі ВС:
 а) X-карта; б) R-карта**

Окрім візуальної ідентифікації появи тривог для оператора про погіршення якості керування, проведено автоматизований аналіз контрольних карт в пакеті STATISTICA. З метою проведення інтерпретації ходу процесу за картами Шухарта, використано стандартний набір з восьми додаткових критеріїв на пошук серій для вчасного виявлення появи трендів, а для виявлення серій область між центральною лінією і контрольними межами діляться на три зони: зона А – область від 2σ до 3σ (σ – середньоквадратичне відхилення) по обидві сторони від центральної лінії, зона В – область від 1σ до 2σ сигма, а зона С – область між центральною лінією, обмежена відстанню 1σ по обидві її сторони.

У результаті тесту (рис. 2) виявлено виконання двох критеріїв розлагодження процесу: 2 з 3-х розташованих підряд точок потрапляють у зону А або виходять за її межі та 4 з 5-ти розташованих підряд точок потрапляють в зону В або за її межі. Обидва ці критерії є «раннім попередженням» про початок розлагодження процесу, при цьому ймовірність

отримання помилкового рішення (критерій виконується, однак процес перебуває в нормальному режимі) для X-карт становить близько 2 %.

		T1 ; Runs Tests (T1_300)	
		X-bar Chart	
		Center line: 121,385100 Sigma: 0,058482	
Zones A/B/C: 3,000/2,000/1,000 * Sigma	Tests for special causes (runs rules)	from sample	to sample
	9 samples on same side of center	OK	OK
	6 samples in row in/decreasing	OK	OK
	14 samples alternating up & down	OK	OK
	2 of 3 samples in Zone A or beyond	1	3
	4 of 5 samples in Zone B or beyond	6	8
	15 samples in Zone C	OK	OK
	8 samples beyond Zone C	OK	OK

Рис. 2. Результати проведення автоматичного аналізу ККШ за температурою в І корпусі ВС (для X-карти)

Для полегшення виявлення причин розлагодження процесу можна переглянути дані індивідуальних статистик, що вийшли за контрольні межі (рис. 3).

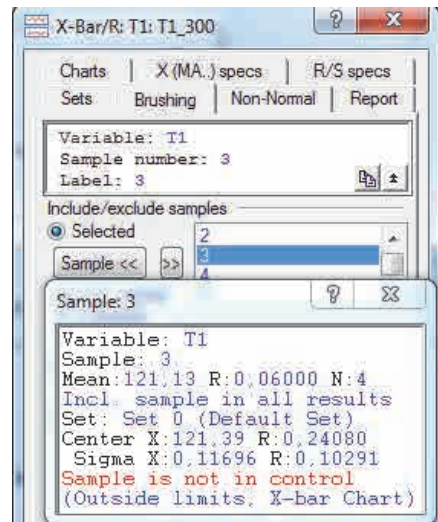
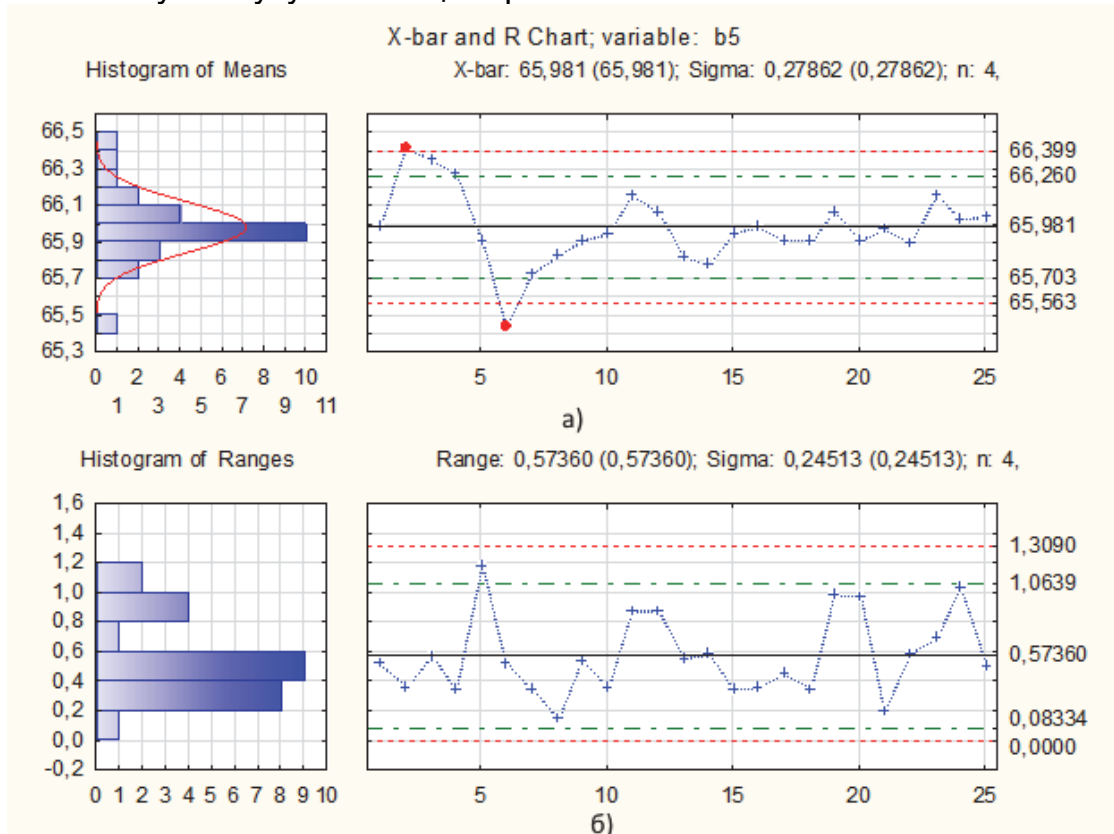


Рис. 3. Дані індивідуальної статистики № 3 на X-карті

Відповідно до часових характеристик проходження процесу випарювання, досліджено відповідну вибірку вмісту сухих речовин (СР) на виході з останнього корпусу ВС. Досліджуваний технологічний процес не виходить за межі, встановлені технологічним регламентом, що свідчить про відповідність у цілому роботи традиційної системи керування вимогам стабілізації технологічного режиму. Досліджуваний часовий ряд перевірено на статистичну керованість за допомогою побудови одномірних ККШ, результати подано на рис. 4.

Викиди на X-карті (рис. 4а) свідчать про появу негативних впливів на технологічний процес, але при цьому відповідні їм точки на R-карті лежать у межах регулювання (рис. 4б, точки 2, 6). Оскільки на R-карті викиди за межі регулювання відсутні, то повне технологічне розсіяння залишається незмінним, тобто налагодження процесу не змінюється. Отже, є всі підстави

припускати, що викиди на X-карті сталися тому, що розподіл ймовірностей по досліджуваній змінній змістився в бік відносно поточного значення контрольованої ознаки. Це свідчить про вплив на процес певної особливої зовнішньої причини, що змінює його налаштування. Подальші дії повинні бути пов'язані з пошуком і усуненням цієї причини.



**Рис. 4. Контрольні карти Шухарта за вмістом СР в сиропі після ВС:
 а) X-карта; б) R-карта**

У результаті тесту (рис. 5) виявлено виконання критерію розлагодження процесу: 2 з 3-х розташованих підряд точок потрапляють в зону А або виходять за її межі, що свідчить про високу ймовірність появи спеціального впливу.

b5 ; Runs Tests (b5_40m_300)	
X-bar Chart	
Center line: 65,981400 Sigma: 0,139308	
Zones A/B/C: 3,000/2,000/1,000 * Sigma	Tests for special causes (runs rules)
from sample	to sample
9 samples on same side of center	OK
6 samples in row in/decreasing	OK
14 samples alternating up & down	OK
2 of 3 samples in Zone A or beyond	1 3
4 of 5 samples in Zone B or beyond	OK
15 samples in Zone C	OK
8 samples beyond Zone C	OK

Рис. 5. Результати проведення автоматичного аналізу ККШ по вмісту СР у сиропі після ВС

Аналіз можливих причин, що викликають ролагодження процесу та призводять до втрати статистичної керованості, доцільно проводити упорядкуванням цих причин певним чином, проведенням їх класифікації, виявленням максимально можливої їх кількості без ризику упустити жодну з них. При цьому важливим є забезпечення наочності між ситуацією, що склалася і причинами, які до неї призвели. Для забезпечення такої наочності доцільно використовувати причинно-наслідкові діаграми або діаграми Ісікави, які показують відношення між показниками якості й факторами, що на них впливають та призначені для дослідження: появ дефектності виробів, збільшення витрат на усунення браку тощо.

За допомогою програмного продукту STATISTICA розроблено діаграми Ісікави для різних ситуацій, що виникають при роботі ВС. Як приклад, наведено «риб'ячий скелет» для ситуації зниження вмісту сухих речовин після ВС.

На рис. 6. подано таблицю зв'язку між вмістом СР та факторами, що на нього впливають, що була основою для побудови діаграми Ісікави (рис. 7).

Перевагою використання даної методики є можливість і необхідність постійного вдосконалення побудованої діаграми Ісікави в реальному часі. Це дає змогу отримати дійсно цінний документ, що є основою для вирішення проблем, які можуть виникнути надалі не тільки у зв'язку з розглянутою ситуацією досліджуваного показника якості, але й при виникненні інших дефектів або невідповідностей під дією спеціальних впливів.

	1 Тиск грійної пари	2 Температурний режим	3 Рівні	4 Вміст сухих речовин (СР)	5 Вторинна пара	6 Стан обладнання
1	Недостатній тиск в 1 корпусі	Не відповідає регламенту в 1 корпусі	Порушений в 1 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 1 корпусі	Споживач використовують пару вищого потенціалу	Графік роботи вакуум-апаратів поруше
2		Не відповідає регламенту в 2 корпусі	Порушений в 2 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 2 корпусі	Споживач використовують ретурну пару	Проблеми із відведенням конденсату
3		Не відповідає регламенту в 3 корпусі	Порушений в 3 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 3 корпусі		Накип суттєвий на нагрівних трубах вип
4		Не відповідає регламенту в 4 корпусі	Порушений в 4 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 4 корпусі		
5		Не відповідає регламенту в 5 корпусі	Порушений в 5 корпусі	Знизилася концентрації СР соку в 5 корпусі		

Рис. 6. Таблиця зв'язку між вмістом СР та факторами, що на нього впливають

Подальша робота з причинно-наслідковою діаграмою буде полягати в тому, щоб на основі спостережень за реальним процесом, у разі втрати якості, встановити дійсний зв'язок між досліджуваним показником якості (вмістом СР) та вибраними факторами (причинами), які чинять на нього найбільший негативний вплив з обов'язковим введенням упереджувальних коригуючих впливів.

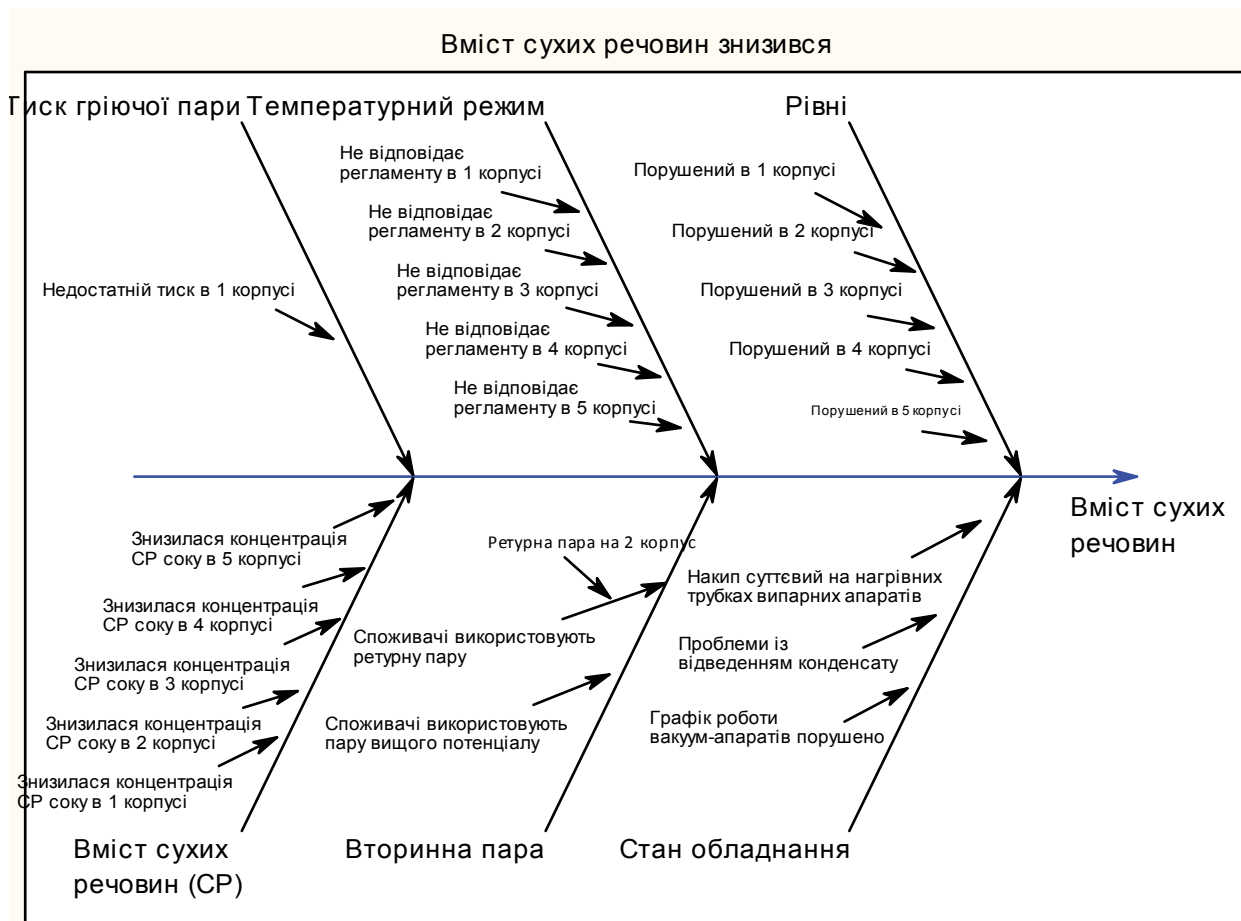


Рис. 7. Діаграма Ісікави за вмістом CP

Висновки і перспективи. У дослідженні наведено результати діагностування стану та процесу функціонування технологічного об'єкта (на прикладі ВС цукрового заводу), що працює в умовах варіабельності на основі аналізу якості за кількісною ознакою. Зокрема, на прикладі ККШ проілюстровано випереджувальну появу для оператора негативних впливів, що можуть призвести до розлагодження технологічного процесу в майбутньому та погіршення якості готового продукту. Для ефективного виявлення причин появи особливих впливів запропоновано як варіант побудову діаграм Ісікави. Використання запропонованих методів статистичної діагностики дає змогу покращити фінансові показники виробництва, підвищити енерго- та ресурсоефективність, зменшити втрати.

Надалі планується проаналізувати якість за альтернативною ознакою для виявлення реального рівня дефектності в поточний момент часу за допомогою побудови контрольних карт за альтернативною ознакою.

Список літератури

1. Уилер Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта / Д. Уилер, Д. Чамберс. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2009. – 409 с.

2. Деминг Э. Выход из кризиса: новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг ; пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2007. – 370 с.
3. Адлер Ю. П. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом: краткий обзор современного состояния (статистические аспекты) / Ю. П. Адлер, О. В. Максимова, В. Л. Шпер. // Стандарты и качество, [июль – август, 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf>
4. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – М. : Европейский центр по качеству, 2002. – 470 с.
5. Montgomery, Douglas C. Introduction to statistical quality control. 6-th Edition. – 2009 by John Wiley & Sons, Inc. 754 p.
6. Власенко Л. О. Статистична діагностика процесу функціонування випарної станції цукрового заводу / Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк, М. А. Сич // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – Одеса : ОНАХТ, 2014. – № 2 (18). – С. 50– 60.
7. Borror, C. M. (2001). Phase I Control Charts for Independent Bernoulli Data / C. M. Borror, C. M. Champ // Quality and Reliability Engineering International, 17 (5), 5, 391–396. doi : 10.1002/qre.425.
8. Ладанюк А. П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А. П. Ладанюк, Н. А. Заєць, Л. О. Власенко. – К. : Ліра-К, 2016. – 312 с.

References

1. Uyler, D. (2009). Statystycheskoye upravleniye protsesami. Optimizatsiya biznesa s ispolzovaniyem kontrolnykh kart Shukharta [Statistical management of processes. Optimization of business using Shewhart's control charts]. Moscow, Russia: Alpyna Byznes Buks, 409.
2. Demynh, E. (2007). Vykход iz krizysa: Novaia paradyhma upravleniia liudmi, systemami i protsessami [A new paradigm for managing people, systems and processes]. Moscow, Russia: Alpyna Byznes Buks, 370.
3. Adler, Iu. P., Maksymova, O. V., Shper, V. L. Kontrolnyye karty Shukharta v Rossii i za rubezhom: kratkii obzor sovremennoho sostoyaniya (statisticheskiye aspekty) [Shewhart's control charts in Russia and abroad: a brief overview of the current state (statistical aspects)]. Available at: <http://www.ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf>
4. Kashtanov, V. A. (2002). Teoriya nadozhnosti slozhnykh sistem [The theory of reliability of complex systems]. Moscow, Russia: Yevropeiskii tsentr po kachestvu, 470.
5. Montgomery, Douglas C. (2009). Introduction to statistical quality control. 6-th Edition. John Wiley & Sons, Inc, 754.
6. Vlasenko, L. O., Ladanyuk, A. P., Sych, M. A. Statystychna diahnostryka protsesu funktsionuvannya vyparnoi stantsiyi tsukrovoho zavodu [Statistical diagnostics of operating process of sugar factory evaporator plant] // Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv. Odesa: ONAKhT, 2 (18), 50–60.
7. Borror, C. M., Champ, C. M. (2001). Phase I Control Charts for Independent Bernoulli Data, 17(5), 391–396. doi: 10.1002/qre.425.
8. Ladaniuk, A. P. Zaiets, N. A., Vlasenko, L. O. (2016). Suchasni tekhnolohiyi konstruyuvannya system avtomatyzatsiyi skladnykh ob'ektiv

(merezhevi struktury, adaptatsiya, diahnostyka ta prohnozuвання): monohrafiya [Modern technologies for the design of complex automation systems (network structures, adaptation, diagnostics and forecasting)]. Lira-K, 312.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ. ЧАСТЬ 1. ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

**Л. А. Власенко,
А. П. Ладанюк**

***Аннотация.** В первой части статьи приведены результаты оценки состояния технологического объекта автоматизации на основе статистических методов и диагностических мероприятий. Проанализирована статистическая управляемость технологического процесса, в частности, проанализировано наличие выбросов за контрольные пределы, приведены результаты диагностики состояния технологического процесса. Представлен автоматизированный анализ контрольных карт, проведенный в программе STATISTICA. Рассмотрены особенности использования контрольных карт на разных стадиях улучшения эффективности.*

Проанализированы результаты упреждающего определения возможной разладки технологического процесса на основании анализа построенных одномерных контрольных карт Шухарта. Оценка эффективности работы исследуемого технологического объекта проведена по анализу изменения характера поведения технологической переменной качества и реализована с помощью статистического инструментария – диаграммы Исикавы. Во второй части статьи рассмотрены особенности использования и проведения прогнозных мероприятий при управлении технологическим комплексом.

***Ключевые слова:** статистическое управление, контрольные карты, диагностика, качество, коррекция, вариация*

STUDY OF STATE AND PROPERTIES OF TECHNOLOGICAL OBJECTS USING METHODS OF THE CONTEMPORARY THEORY OF MANAGEMENT. PART 1. CONDUCT OF STATISTICAL DIAGNOSTIC MEASURES

**L. O. Vlasenko,
A. P. Ladanyuk**

***Abstract.** This article presents the results of an assessment of the state of technological object based on statistical methods and diagnostic procedures. Analysis of statistical control of the technological process was carried out, in particular, analyzed the presence of emissions control limits, given the diagnosis of the state of the process. Presented the automated analysis of the control charts,*

carried out in the STATISTICA program. Considered the features of the use of control charts at different stages of improving efficiency.

The results of pre-emptive determination of possible deranging of the technological process, built on the basis of the analysis of one-dimensional Shewhart control charts. The assessment of overall performance [efficiency] of the studied technology object is carried out according to the analysis of change of nature of behavior of a technology variable of quality and implemented by means of statistical tools – Isikava's diagram. In the second part of the article will be considered the peculiarities of using and conducting predictive measures in the management of a technological complex.

Keywords: statistics control, control charts, diagnostics, quality, correction, variatio

УДК 621.3.067

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ

І. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук, доцент
О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Сучасний асинхронний регульований електропривод базується на використанні напівпровідникових перетворювачів напруги різних типів, дослідженню різних робочих характеристик яких, через складність чи високу вартість, приділено мало уваги. З розвитком комп'ютерного моделювання з'явилася можливість поглибити дослідження даних процесів.

Метою дослідження є зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електропривода за допомогою комп'ютерного моделювання та підтвердження адекватності отриманих результатів на моделі та фізичній установці.

Аналіз електромагнітних процесів регульованого електропривода при вибраному способі керування проводили з використанням положень теорії електропривода та статистичних методів опрацювання результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab.

Для проведення аналізу характеристик трифазного регульованого асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги з