

УДК 621.31:519.2

**ІНТЕРПРЕТАЦІЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ШУХАРТА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ****В. А. Давиденко, Л. В. Давиденко**

Луцький національний технічний університет

вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018, Україна. E-mail: V.A.Davydenko@mail.ru; L.Davydenko@mail.ru

**В. П. Розен**

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115/3, м. Київ–56, 03056, Україна. E-mail: auek@ukr.net

Запропоновано інтерпретацію контрольних карт Шухарта для визначення рівня ефективності електроспоживання на об'єктах водопостачання, яка на основі визначення меж зміни якісного стану системи передбачає формування діапазонів і зон енергоефективності, а також їх якісну оцінку. Для порівняльної характеристики ефективності електроспоживання об'єктів одного ієрархічного рівня запропоновано використовувати еталонні діапазони енергоефективності, за які пропонується обирати такі, що побудовані для кращого за рівнем ефективності електроспоживання об'єкту. Використання запропонованого підходу підвищує інформативність результатів якісного оцінювання рівня ефективності електроспоживання та виявлення наявності/відсутності тенденцій до його погіршення/покращення.

**Ключові слова:** рівень енергоефективності, контрольна карта, діапазони енергоефективності.

**ІНТЕРПРЕТАЦИЯ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ШУХАРТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ****В. А. Давиденко, Л. В. Давиденко**

Луцкий национальный технический университет

ул. Львовская, 75, г. Луцк, 43018, Украина. E-mail: V.A.Davydenko@mail.ru; L.Davydenko@mail.ru

**В. П. Розен**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ул. Борщаговская, 115/3, г. Киев–56, 03056, Украина. E-mail: auek@ukr.net

Предложена интерпретация контрольных карт Шухарта для определения уровня эффективности электропотребления на объектах водоснабжения, которая на основе определения пределов изменения качественного состояния системы предполагает формирование диапазонов и зон энергоэффективности, а также их качественную оценку. Для сравнительной характеристики эффективности электропотребления объектов одного иерархического уровня предложено использовать эталонные диапазоны энергоэффективности, за которые предлагается выбирать такие, которые построены для лучшего по уровню эффективности электропотребления объекта. Использование предложенного подхода повышает информативность результатов качественной оценки уровня эффективности электропотребления и выявления наличия/отсутствия тенденций к его ухудшению/улучшению.

**Ключевые слова:** уровень энергоэффективности, контрольная карта, диапазоны энергоэффективности.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Загальносвітова тенденція ресурсозбереження та екологічні пріоритети обумовлюють перспективність енергозбереження та необхідність підвищення рівня ефективності енерговикористання. Процес споживання енергії належить до числа основних характеристик промислового виробництва. Ефективність використання енергоресурсів є одним з важливіших показників ефективності підприємства в цілому. Вирішення задач енергозбереження та підвищення ефективності енерговикористання є запорукою підвищення конкурентоспроможності продукції та посилення конкурентних позицій підприємства, а для підприємств комунального водопостачання, з характерною для них великою енергоємністю, – ще й однією з підстав для виживання. Забезпечення підвищення ефективності енерговикористання на підприємстві є можливим за умови реалізації неперервного відслідковування та оцінювання стану об'єкту, реєстрування його характеристик, виявлення впливу різних процесів та чинників, співставлення результатів управлінських впливів (або їх відсутності) із заданими вимогами [1]. Систематичне контролювання рівня ефективності використання палива та енергії є важливою складовою процесу управління у сфері енергозбереження [2] як на галузевому рівні, так і на рівні підпри-

ємств, їх підрозділів і, навіть, окремих технологічних процесів чи установок. Для здійснення дієвого управління енерговикористанням необхідно певним чином організувати спостереження за станом та умовами функціонування системи водопостачання та її структурних елементів, їх режимами електроспоживання задля виявлення небажаних тенденцій розвитку та їх попередження.

Контролювання ефективності електроспоживання є важливим етапом на шляху підвищення рівня енергоефективності будь-якого виробничого об'єкту. Поточне контролювання ефективності енерговикористання вимагає постійного аналізування динаміки зміни питомого електроспоживання з метою виявлення наявності (або відсутності) тенденцій до погіршення (або покращення) ефективності електроспоживання. Це вимагає не лише реалізації самої процедури контролювання, а й певного трактування отриманих результатів для якісного оцінювання рівня ефективності електроспоживання.

Метою роботи є підвищення інформативності результатів оцінювання рівня ефективності електроспоживання на об'єктах водопостачання на основі інтерпретації контрольних карт, отриманих шляхом реалізації процедури поточного контролювання.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Найбільш зручним для реалізації поточного контролювання ефективності електроспоживання є використання контрольних карт Шухарта, зокрема, карт індивідуальних значень, при використанні яких раціональні групи для забезпечення оцінки змінності процесу не використовують, і контрольні межі обчислюють на основі міри варіації, отриманої за ковзними розмахами. Їх застосування дозволяє встановити межі, що відповідають переходу системи з одного якісного стану з точки зору ефективності енерговикористання в інший, та визначити відповідні діапазони енергоефективності, вербальні оцінки яких дають змогу якісно виразити ефективність електроспоживання для контрольованого періоду [1]:

– добрий рівень енергоефективності (зелена зона), якщо

$$\bar{w} - 3 \cdot \sigma_w \leq w < \bar{w}; \quad (1)$$

– задовільний рівень енергоефективності (червона зона), якщо

$$\bar{w} \leq w < \bar{w} + 3 \cdot \sigma_w; \quad (2)$$

– незадовільний рівень енергоефективності –

$$\bar{w} + 3 \cdot \sigma_w \leq w. \quad (3)$$

Формування діапазонів енергоефективності є першим етапом процедури поточного контролювання рівня ефективності електроспоживання.

Візуальна оцінка розташування значень питомого електроспоживання одне відносно одного та меж регулювання забезпечує можливість виявлення певних сигналів контрольних карт. При цьому відслідковується поява систематичної тенденції в розміщенні точок на контрольній карті, що свідчить про наявність тренду середнього значення процесу. Результати досліджень ситуацій, ймовірність виникнення яких дорівнює ймовірності появи точки за межами регулювання, стали основними критеріями перевірки процесів на наявність особливих причин [3]. Для задання критеріїв пошуку серій область контрольної карти над та під центральною лінією поділяють на три зони:

– зона С –  $\pm 1\sigma_w$  (тобто  $\pm 0,8865MR$ ) від центральної лінії;

– зона В – від  $\pm 1\sigma_w$  до  $\pm 2\sigma_w$  (тобто від  $\pm 0,8865MR$  до  $\pm 1,773MR$ ) від центральної лінії;

– зона А – від  $\pm 2\sigma_w$  до  $\pm 3\sigma_w$  (тобто від  $\pm 1,773MR$  до  $\pm 2,66MR$ ) від центральної лінії.

Для поточного контролювання рівня ефективності електроспоживання доцільно додатково розбити дані зони залежно від їх розміщення (над чи під центральною лінією) на підзони та ввести їх якісну характеристику:

– зона А<sub>в</sub>:  $w + 2\sigma_w \leq w < \bar{w} + 3\sigma_w$  – зона задовільного рівня енергоефективності з небезпекою погіршення якісного стану, або низький рівень;

– зона В<sub>в</sub>:  $\bar{w} + 1\sigma_w \leq w < \bar{w} + 2\sigma_w$  – зона стабільно задовільного рівня ефективності;

– зона С<sub>в</sub>:  $\bar{w} \leq w < \bar{w} + 1\sigma_w$  – зона задовільного рівня енергоефективності з можливістю переходу на новий (вищий) рівень якісного стану, або середній рівень ефективності електроспоживання;

– зона С<sub>н</sub>:  $\bar{w} - 1\sigma_w \leq w < \bar{w}$  – зона доброго рівня енергоефективності з можливістю погіршення якісного стану – переходу на нижчий рівень, або достатньо добрий рівень ефективності;

– зона В<sub>н</sub>:  $\bar{w} - 2\sigma_w \leq w < \bar{w} - 1\sigma_w$  – зона стабільно доброго рівня ефективності електроспоживання;

– зона А<sub>н</sub>:  $\bar{w} - 3\sigma_w \leq w < \bar{w} - 2\sigma_w$  – зона доброго рівня енергоефективності з перспективою досягнення нового стану, або високий рівень.

Якісна характеристика рівня ефективності електроспоживання здійснюється шляхом виявлення належності спостереженого значення питомого електроспоживання до певної зони діапазонів енергоефективності.

Крім того, необхідно ввести певне тлумачення загальноприйнятих [3] тестів (критеріїв), що використовуються для інтерпретації перебігу процесу по картах Шухарта, зокрема для X – карт індивідуальних значень, які б дозволили забезпечити характеристику змін, що відбуваються в процесі електроспоживання.

1. Точка розміщена за зоною А<sub>в</sub> – має місце незадовільний рівень ефективності електроспоживання. Точка розміщена за зоною А<sub>н</sub> – з'явився новий зразок рівня ефективності електроспоживання.

2. Дев'ять точок підряд у зоні С<sub>н</sub> (С<sub>в</sub>) свідчать про можливість зміни середнього значення процесу в цілому – наявна тенденція до переходу на нижчий (вищий) рівень енергоефективності.

3. Шість точок підряд стійко зростаючих (спадаючих) сигналізують про зміну середнього значення процесу – небезпека погіршення (перспектива покращення) рівня ефективності електроспоживання.

4. Чотирнадцять точок підряд змінюються вгору-вниз – має місце дія хоча б двох систематичних причин, що зумовлює різні результати – відсутність стабільної тенденції до зміни якісного стану системи – нестабільна організація режиму.

5. Чотири з п'яти точок у зоні В<sub>н</sub> (В<sub>в</sub>) – тенденція до стабільного рівня енергоефективності.

Аналізування контрольних карт та їх інтерпретація дозволяють оцінити рівень ефективності електроспоживання на даному об'єкті дослідження та виявити певні тенденції (їх відсутність) у розвитку процесу електроспоживання, що забезпечує реалізацію моніторингу ефективності електроспоживання як функції енергетичного менеджменту, спрямованої на підвищення оперативності та якості реагування в сфері енерговикористання на всіх рівнях контролю для удосконалення процесу водопостачання та режиму електроспоживання.

Аналізування контрольної карти, отриманої на основі даних про щомісячне електроспоживання та водоподачу КП «Луцькводоканал» дозволило стверджувати про статистично керований стан процесу електроспоживання системи водопостачання [1].

Виконаємо характеристику ефективності електро-споживання системи водопостачання спираючись на отримані контрольні карти шляхом якісної інтер-

претації побудованих діапазонів ті зон енергоефективності (рис. 1).

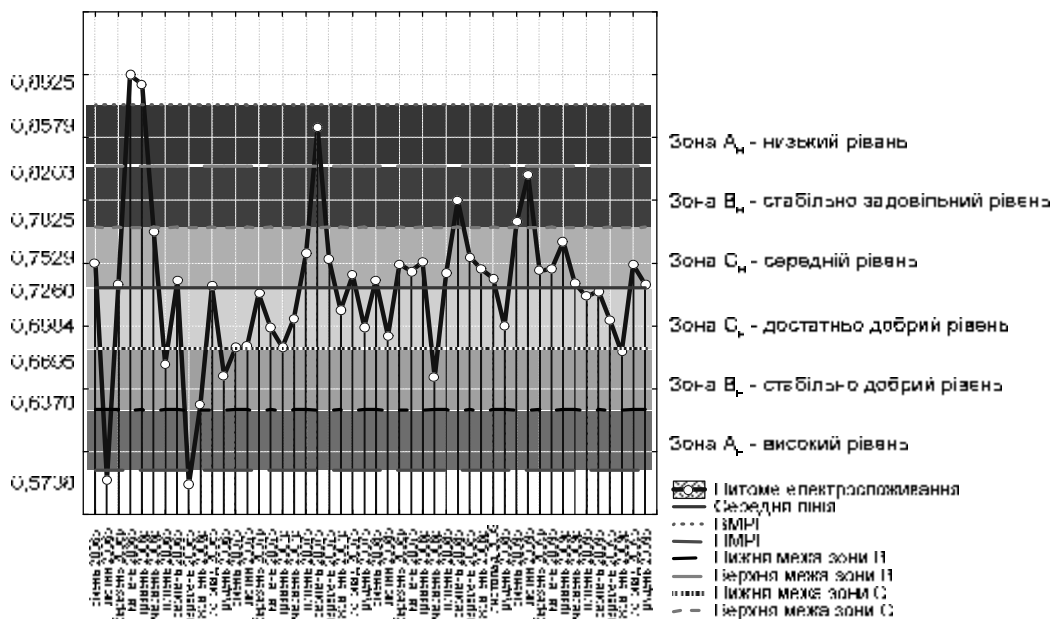


Рисунок 1 – Контрольні карти питомого електроспоживання в системі водопостачання та діапазони ефективності

У результаті аналізування результатів дослідження встановлено (рис. 1), що система водопостачання КП «Луцькводоканал» працювала (за роками):

– 2006: протягом двох місяців (квітень та травень) – з незадовільним рівнем ефективності електро-споживання; жодного місяця – з низьким та стабільно задовільним, чотири місяці – із середнім, жодного місяця – з достатньо добрим, три місяці – із стабільно добрим, два місяці – з високим рівнем. Ефективність електро-споживання не є стабільною, тенденції до покращення або погіршення рівня – не спостерігалось;

– 2007: один місяць – з низьким рівнем ефективності електро-споживання, жодного – із стабільно задовільним, три місяці – із середнім, сім місяців – з достатньо добрим, жодного місяця – із стабільно добрим та високим рівнем. За винятком липня–вересня рівень ефективності електро-споживання в цілому – достатньо добрий;

– 2008: жодного місяця – з низьким рівнем ефективності електро-споживання, один місяць – із стабільно задовільним, вісім місяців – із середнім, один місяць – з достатньо добрим, один місяць – із стабі-

льно добрим, жодного – з високим рівнем. У цілому рівень ефективності електро-споживання можна охарактеризувати як середній;

– 2009: жодного місяця – з низьким рівнем ефективності електро-споживання, два місяці – із стабільно задовільним, шість місяців – із середнім, три місяці – з достатньо добрим, один місяць – із стабільно добрим, жодного – з високим рівнем. Протягом травня–жовтня місяця спостерігалась тенденція до покращення рівня ефективності електро-споживання, проте вона була втрачена. У цілому рівень ефективності електро-споживання не можна охарактеризувати однозначно: він є скоріш середнім, ніж достатньо добрим.

Подібна процедура аналізування рівня ефективності електро-споживання була виконана для водозаборів КП «Луцькводоканал». З цією метою згідно з алгоритмом, запропонованим у [1], за допомогою пакету *STATISTICA StatSoft, Inc. (2001)* виконано побудову контрольних карт (рис. 2, 3) та визначено діапазони та зони енергоефективності (табл. 1) для кожного водозабору.

Таблиця 1 – Межі зон рівнів енергоефективності водозаборів КП «Луцькводоканал»

водозабір	Добрий рівень енергоефективності			Задовільний рівень енергоефективності		
	з перспективою покращення (високий)	стабільний	з можливістю погіршення (достатньо добрий)	з перспективою покращення (середній)	стабільний	з небезпекою погіршення (низький)
	Зона A <sub>n</sub>	Зона B <sub>n</sub>	Зона C <sub>n</sub>	Зона C <sub>v</sub>	Зона B <sub>v</sub>	Зона A <sub>v</sub>
Дубнівський	$0,346 \leq w < 0,398$	$0,398 \leq w < 0,45$	$0,45 \leq w < 0,502$	$0,502 \leq w < 0,554$	$0,554 \leq w < 0,606$	$0,606 \leq w < 0,658$

Омеляниківський	$0,43 \leq w < 0,495$	$0,495 \leq w < 0,56$	$0,56 \leq w < 0,624$	$0,624 \leq w < 0,689$	$0,689 \leq w < 0,754$	$0,754 \leq w < 0,818$
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------

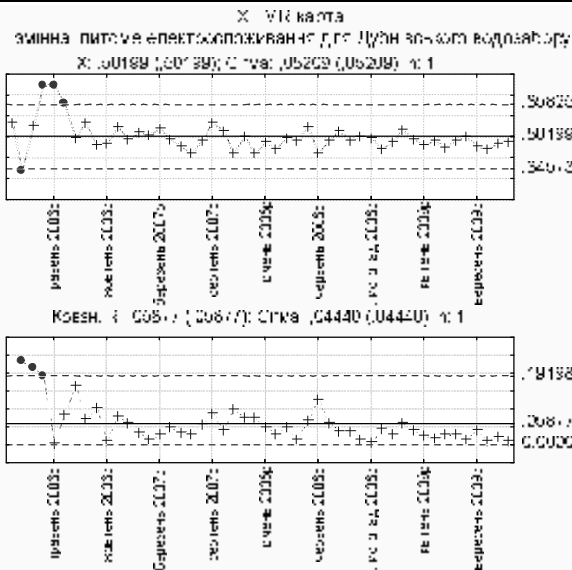


Рисунок 2 – Контрольні карти індивідуальних значень та ковзних розмахів питомого електроспоживання для Дубнівського водозабору

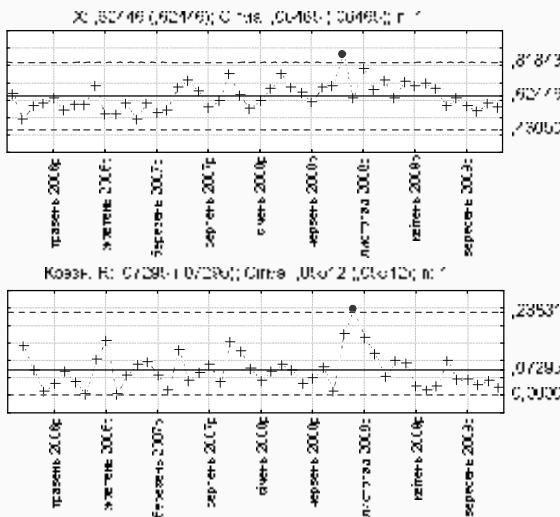


Рисунок 3 – Контрольні карти індивідуальних значень та ковзних розмахів питомого електроспоживання для Омеляниківського водозабору

Аналізування отриманих контрольних карт дає змогу зробити висновок, що Дубнівський водозабір (за винятком 2006 року) знаходиться в статично керованому стані; для Омеляниківського водозабору в певний момент часу мало місце порушення статичної керованості процесу, яку було відновлено. Обидва водозабори протягом другої половини 2009 року мають добрий рівень ефективності електроспоживання. Проте, якщо характеризувати рівень ефективності електроспоживання з урахуванням запропонованого трактування діапазонів енергоефективності, то в цілому для Дубнівського водозабору він є достатньо добрим, а для Омеляниківського водозабору – середнім.

Рейтингування об'єктів водопостачання КП «Луцькводоканал» на основі багатомірного порівняння [4] з урахуванням показників енергоефективності, дозволило виявити, що протягом 2007–2009 років Дубнівський водозабір є кращим з водозаборів.

Таким чином, визначені для даного періоду діапазони та зони енергоефективності (рис. 4) доцільно прийняти за еталон ефективного електроспоживання та на основі їх інтерпретації провести порівняльну характеристику рівня ефективності електроспоживання інших об'єктів водопостачання КП «Луцькводоканал».

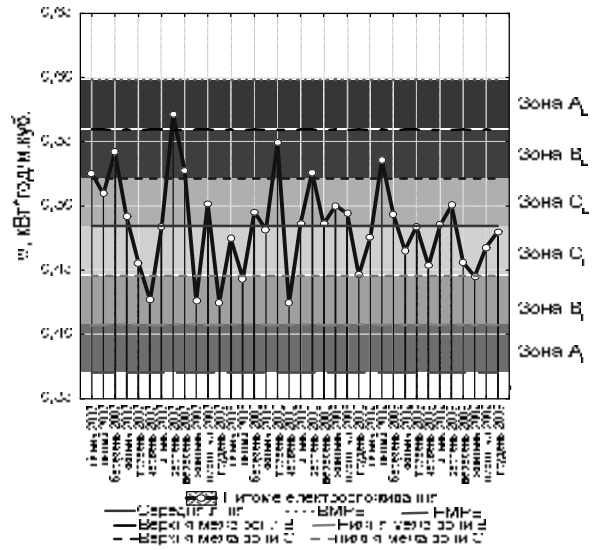


Рисунок 4 – Графік питомого електроспоживання та зони енергоефективності для Дубнівського водозабору

Для порівняльної характеристики ефективності електроспоживання Омеляниківського водозабору необхідно виконати накладання отриманих еталонних зон енергоефективності на графік його питомого електроспоживання (рис. 5).

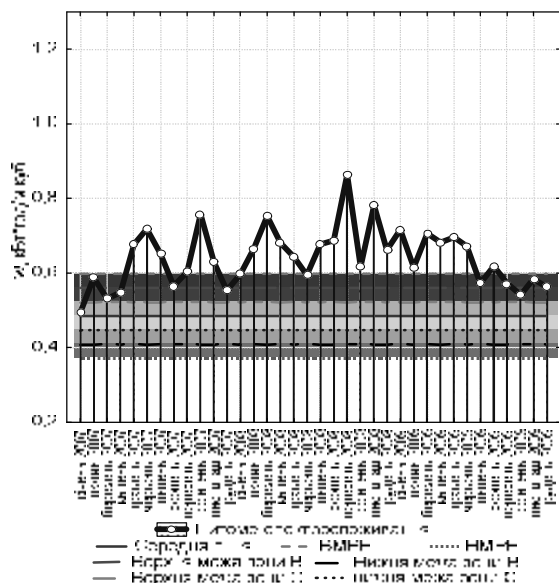


Рисунок 5 – Графік питомого електроспоживання та еталонні зони енергоефективності для Омеляниківського водозабору

Результати аналізування дозволяють стверджувати, що незважаючи на стабільний рівень ефективності електроспоживання на Омеляниківському водозаборі та в цілому, середній рівень енергоефективності даного об'єкту, ефективність електроспоживання порівняно з Дубнівським водозабором має переважно незадовільний рівень, лише з другої половини 2009 року стабільно спостерігається задовільний рівень ефективності електроспоживання, що вказує на покращення організації його режиму роботи.

**ВИСНОВКИ.** Аналізування контрольних карт з урахуванням меж діапазонів і зон енергоефективності та запропонованого їх тлумачення дозволяє підвищити інформативність результатів оцінювання рівня ефективності електроспоживання на об'єктах

водопостачання та виявлення певних тенденцій (або їх відсутність), що склалися, у розвитку процесу електроспоживання з точки зору можливості покращення (або погіршення) рівня енергоефективності. Використання еталонних діапазонів енергоефективності дає змогу виконати порівняння за рівнем ефективності електроспоживання об'єктів, які знаходяться на одному ієрархічному рівні, що в умовах відсутності науково обґрунтованих норм витрат енергоресурсів, особливо для підприємств комунального водопостачання, забезпечує вирішення питання – ефективним чи неефективним і наскільки саме є електроспоживання, сприяє виявленню кращих зразків організації режиму електроспоживання на цих об'єктах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Використання контрольних карт Шухарта для контролювання ефективності електроспоживання в системах комунального водопостачання / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. – 2012. – Вип. 1/2012 (72), част. 1. – С. 31–35.
2. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – № 8 (66). – С. 41–54.
3. Статистичне забезпечення управління якістю / В.Б. Захожай, А.Ю. Чорний. – Київ: Центр навчальної літератури, 2005. – 340 с.
4. Оцінювання рівня енергоефективності об'єктів складних енерготехнологічних систем як задача багатомірного порівняння / Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Випуск 116 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 76–78.

**SHEWHART CONTROL CHARTS THE INTERPRETATION FOR EFFICIENCY LEVEL DETERMINE OF OBJECTS WATER SUPPLY**

**V. Davydenko, L. Davydenko**

Lutsk National Technical University

vul. Lvivska, 75, Lutsk, 43018, Ukraine. E-mail: V.A.Davydenko@mail.ru; L.Davydenko@mail.ru

**V. Rozen**

National Technical University of Ukraine

vul. Borshchagivska, 115/3, Kiev, 03056, Ukraine. E-mail: auek@ukr.net

An interpretation of Shewhart control charts to determine the level power consumption efficiency for water systems objects is proposed. The interpretation is based on the provides for the power efficiency ranges identification, with system quality variation limits taking into account and also their qualitative assessment. The benchmark power efficiency of power consumption of the objects of the same hierarchical level is proposed. The power efficiency ranges, to which built for a better performance in terms of power consumption of the object, for the benchmark to select is proposed. Using the proposed approach allows to increase the informative value of the results for the qualitative assessment of the power consumption efficiency, and also reveals the tendency for improving or degradation occurring.

**Key words:** power consumption efficiency, control charts, power efficiency ranges.

REFERENCES

1. Shewhart control charts using for efficiency control of public water systems power consumption / V.P. Rosen, L.V. Davydenko, V.A. Davydenko // *Transaction KrNU them. M. Ostrogradskyyi*. - Kremenchug: KrNU, 2012. – Issue 1/2012 (72), Part 1. – PP. 31–35. [in Ukrainian]
2. Power consumption efficiency control as a key problem of power management / A.V. Prahovnic, V.F. Nahodov, O.V. Borichenco // *Energoberegenie, energetika, energoaudit*. – 2009. – № 8 (66). – С. 41–54.

*getica, energoaudit.* – 2009. – № 8 (66). – PP. 41–54.  
[in Ukrainian]

3. *Statistical providing of quality management* / V.B. Zahogay, A.Y. Chornyj. – Kiev: Center of educational literature, 2005. – 340 p. [in Ukrainian]

4. Power consumption efficiency level the evaluation of technology facilities complex systems as a multidimensional comparison problem / L.V. Davydenko, V.A. Davydenko // *Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture them. Petro Vasilenko. Engineering. Issue 116 "The energy supply and energy saving problems in agriculture of Ukraine."* – Kharkov: KhNTUA, 2011. – PP. 76–78. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 23.06.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Сінчуком О.М.