

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

фазово-імпульсним керуванням розроблена в MatLab комп'ютерна модель, силовий блок якої складається з джерела змінної напруги, двох тиристорів у кожній фазі, з'єднаних зустрічно-паралельно та електродвигуна АИРП80А6У2. Результати досліджень візуалізувалися за допомогою віртуальних вимірювальних приладів.

На створеній комп'ютерній моделі та лабораторній установці регульованого електропривода вентиляційної установки з тиристорним регулюванням напруги станцією керування „Кліматика-1” отримані форми кривої напруги і струму та їх спектральний склад.

Аналіз результатів досліджень підтвердив адекватність комп'ютерної моделі реальним електромагнітним процесам.

Результати досліджень на комп'ютерній моделі придатні для використання при розробці трифазного регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням.

**Ключові слова:** електромагнітні процеси, вищі гармоніки, форма кривої напруги та струму, комп'ютерна модель, регульований електропривод

**Актуальність.** Для регульованого асинхронного електропривода часто використовують напівпровідникові перетворювачі напруги, зокрема тиристорні регулятори [1], дослідженню робочих характеристик яких в технічній літературі приділяється мало уваги. Це пов'язано зі складністю чи високою вартістю проведення таких досліджень. З розвитком комп'ютерного моделювання з'явилася можливість поглибити дослідження різних характеристик електропривода та порівняти отримані результати з фактичними даними реального електропривода вентиляційної установки зі станцією керування "Кліматика-1".

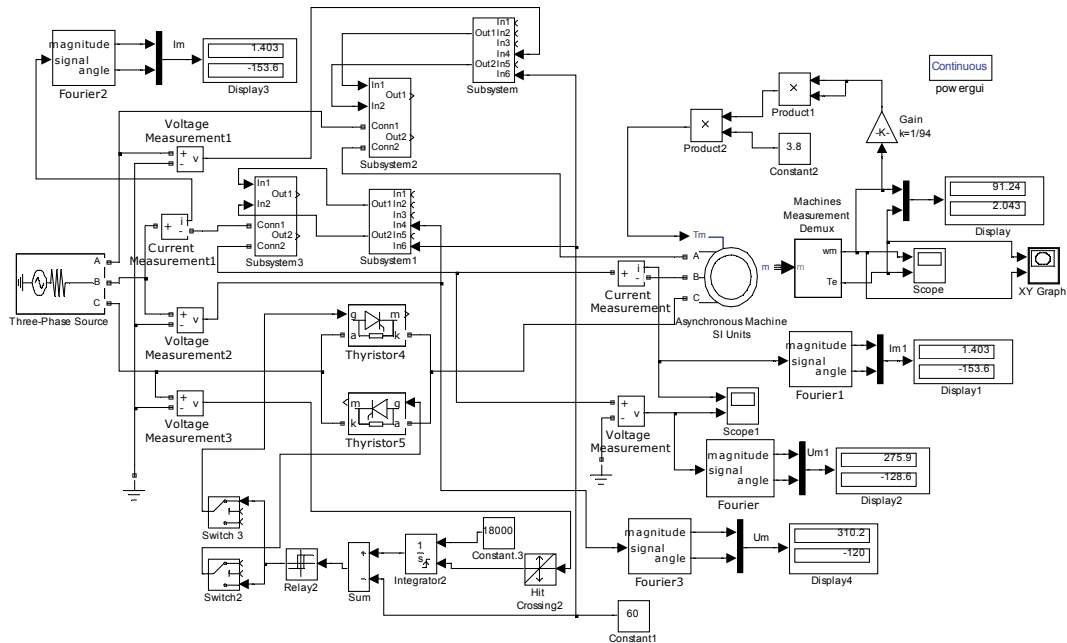
**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Для малопотужних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором порівняно нескладно регулювати швидкість зміною напруги на статорі, оскільки вони мають м'яку механічну характеристику на робочій частині. Найбільш простими і дешевими для зазначеного регулювання є регулятори амплітуди напруги живлення [1, 2] електроприводів з вентиляторним навантаженням.

**Мета дослідження** – зменшення часу і витрат при дослідженнях регульованого асинхронного електропривода за допомогою комп'ютерного моделювання та підтвердження адекватності отриманих результатів на комп'ютерній моделі з результатами реального регульованого електропривода вентиляційної установки.

**Матеріали і методи дослідження.** Аналіз електромагнітних процесів регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги проводився з використанням положень теорії електропривода та статистичних методів опрацювання результатів досліджень на фізичній та комп'ютерній моделі в системі MatLab [3].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для проведення досліджень електромагнітних процесів регульованого трифазного асинхронного електропривода розроблена його модель (рис. 1), яка

складається з асинхронного двигуна АИРП80-А6У2 з підвищеним опором обмотки ротора, що зумовлює підвищене ковзання при номінальному моменті, підвищений пусковий момент та невелику кратність пускового струму. Завдяки цьому, даний двигун при вентиляторному навантаженні допускає регулювання частоти обертання в широкому діапазоні зміною підведеної напруги.



**Рис. 1. Модель трифазного регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням**

Трифазний тиристорний регулятор напруги складається з трьох однофазних регуляторів, кожен з яких має свою систему керування. Синхронізуючі сигнали пилкоподібної напруги з кожної фази через блоки Voltage Measurement 1, Voltage Measurement 2, та Voltage Measurement 3 надходять до відповідних систем керування тиристорами. Для полегшення користування моделлю силові тиристорні блоки фаз А і В та їх відповідні системи керування згруповані в підсистеми Subsystem, Subsystem1, Subsystem2, Subsystem 3.

Блоками Gain, Product 1, Constant 2 та Product 2 створено вентиляторне навантаження для електродвигуна (момент зрушення не враховано).

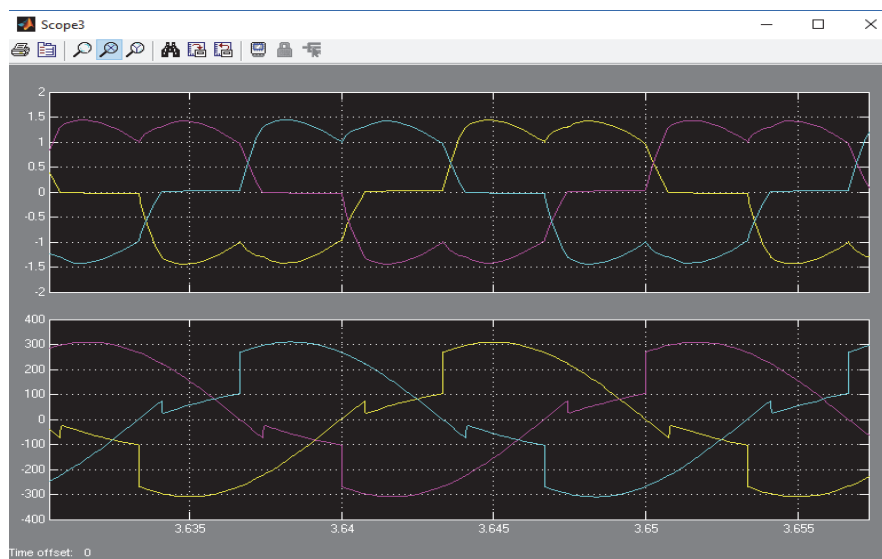
Кут відкриття тиристорів на всі фази задається блоком Constant 1.

Модель має набір віртуальних вимірювальних приладів, які дозволяють проводити дослідження енергетичних, регульовальних, електромеханічних, електромагнітних характеристик. Зокрема для дослідження електромагнітних характеристик використані блоки: вимірювання миттєвих значень струму та напруги на виході тиристорного регулятора – віртуальний осцилограф Scope 1, аналіз спектрального складу струму і напруг проводився за допомогою блоку Scope 1 з використанням блоку Powergui.

Для порівняння отриманих результатів на комп'ютерній моделі за допомогою цифрового осцилографа Vellman та цифрового мультиметра DMK-32 були проведені дослідження на лабораторному стенді регульованого електропривода осьового вентилятора ВО-7,1М з двигуном АИРП80А6У2. Лінійну напругу на електродвигуні змінювали за допомогою тиристорного перетворювача напруги станції "Кліматика-1" з фазово-імпульсним керуванням.

Дослідження електромагнітних процесів як на моделі, так і на лабораторному стенді, проводили при усталеному режимі роботи електропривода.

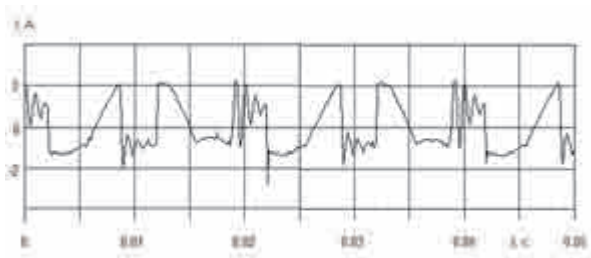
На рис. 2 наведені форми кривих струму та напруги на навантаженні трифазного тиристорного регулятора.



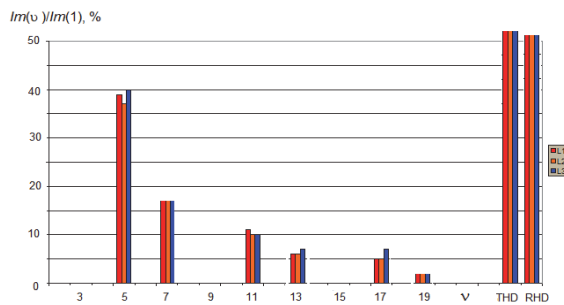
**Рис. 2. Миттєві значення струму (верхня крива) і напруги (нижня крива) на навантаженні при  $U_{\phi m(1)} 275 \text{ В}$**

Як видно з рисунка, робочий тиристор, через наявність індуктивності в навантаженні, закривається з деяким запізненням, коли струм через нього досягає нульового значення. Форма кривої струму має провал у верхній частині синусоїди. Це зумовлено тим, що на даній ділянці вимкнена одна фаза. Якщо розглянути форму кривої напруги, то з рисунка видно, що на вимкненій фазі напруга не дорівнює нульовому значенню. Потенціал напруги формується двома іншими ввімкненими фазами. Тобто, створюється перекіс фазних напруг на обмотках двигуна.

Для порівняння на рис. 3, а наведено форму кривої струму, отриману на лабораторному стенді при амплітудному значенні вихідної напруги тиристорного регулятора за першою гармонікою  $U_{\phi m(1)} = 130 \text{ В}$ . Як видно з рисунка, крива, аналогічно рис. 2 та 4, б (верхнє вікно), має провали струму у верхній частині синусоїди. Крива струму лабораторного стенду більш спотворена, порівняно зі змодельованою. Це пояснюється тим, що модель не враховує спотворення, зумовлені зовнішніми збудниками.



А

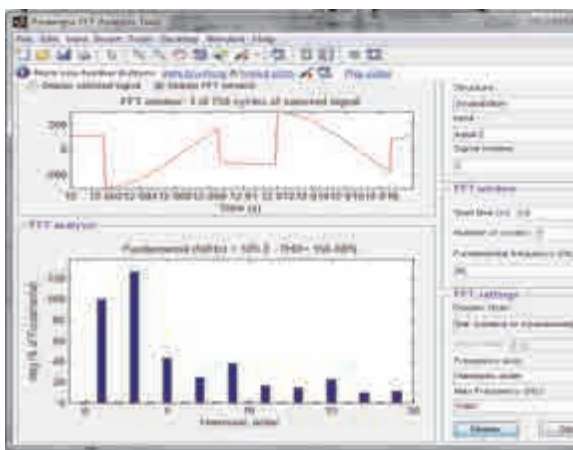


Б

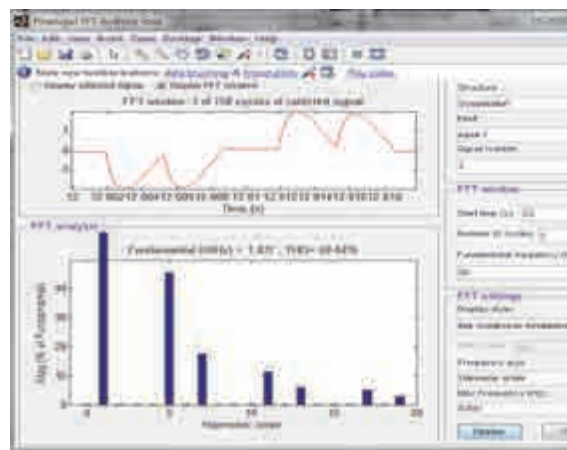
**Рис. 3. Форма кривої струму (а) та спектр струму (б), отримані на лабораторному стенді при  $U_{\phi m(1)} = 130$  В**

Спектр вихідної напруги та струму, отриманий у комп'ютерній моделі, наведено на рис. 4. Спектр вихідної напруги вміщує всі непарні гармоніки. Спектр струму має також непарні гармоніки крім третьої і кратних їй. Для порівняння, аналогічний вигляд має спектр струму, отриманий на лабораторному стенді (рис. 3, б).

На рис. 5 наведені залежності відносних амплітуд гармонік напруги та струму від величини вихідної напруги. З рис. 5, а видно, що вища 3 гармоніка напруги домінує, і в процесі зниження вихідної напруги вона наближується до основної і, при  $U_{m(1)} < 150$  В, навіть перевищує основну.

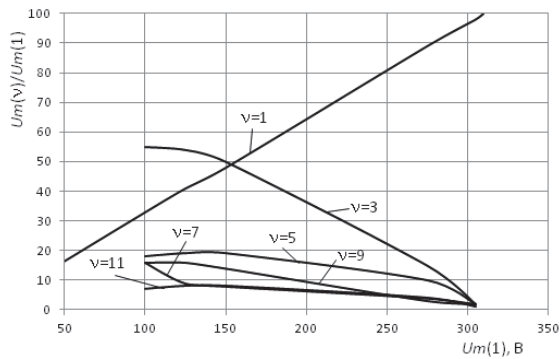


а

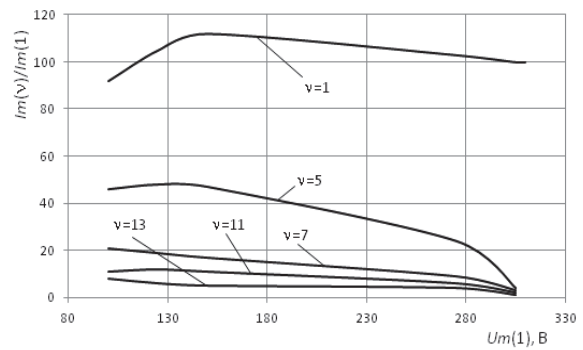


Б

**Рис. 4. Спектр вихідної напруги (а) та струму (б) отриманих при  $U_{\phi m(1)} = 130$  В**



а



б

**Рис. 5. Гармонічний склад вихідної напруги (а) та струму (б) трифазного тиристорного регулятора асинхронного електропривода**

Аналізуючи спектральний склад струму (рис. 5, б) можна зазначити, що перша вища гармоніка 5, вона домінує і найбільше спотворює форму струму. Максимальне значення 5 гармоніка набуває при значенні вихідної напруги на рівні 130 В.

**Висновки і перспективи.** Результати досліджень на комп'ютерній моделі форми кривої вихідної напруги і струму трифазного тиристорного регулятора напруги асинхронного електропривода та їх гармонічний склад підтвердили адекватність результатам досліджень на лабораторному стенді регульованого електропривода зі станцією керування "Кліматика-1".

Дослідженнями встановлено, що робочий тиристор, через наявність індуктивності в навантаженні, закривається з деяким запізненням, коли струм через нього досягає нульового значення. На вимкненій фазі напруга не дорівнює нульовому значенню. Потенціал напруги формується двома іншими ввімкненими фазами. Тобто, створюється перекіс фазних напруг на обмотках двигуна.

Спектр вихідної напруги вміщує всі непарні гармоніки. Вища 3 гармоніка напруги домінує і в процесі зниження вихідної напруги вона наближується до основної і, при  $U_m(1) < 150$  В, навіть перевищує основну.

Форма кривої струму має провал у верхній частині синусоїди. Це зумовлено тим, що на даній ділянці вимкнена одна фаза.

Спектр струму має непарні гармоніки крім третьої і кратних їй. Перша вища гармоніка 5, вона домінує і найбільше спотворює форму струму. Максимального значення 5 гармоніка набуває при значенні вихідної напруги на рівні 130 В.

За результатами моделювання, можна стверджувати, що комп'ютерна модель придатна для проведення електромагнітних досліджень трифазного регульованого електропривода з тиристорним регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням.

### Список літератури

1. Регульований електропривод : підруч. для студ. вищ. навч. закладів / за ред. І. М. Голодного. – К. : Компринт, 2015. – 509 с.

2. Глазенко Т. А. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности / Т. А. Глазенко, В. И. Хрисанов. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. – 170 с.

3. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК : учеб. пособие для студ. вузов / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

### References

1. Golodnyi, I. M. ed. (2015). Adjustable Electric [Rehulovanyi elektropryvod] – K.: Ltd. "ZP "Kompynt ". – 509.

2. Glazenko, T. A., Khrisanov, V. I (1983). The semiconductor system of low power asynchronous electric pulse [Napivprovodnykovi systemy impulsnoho asynkhronnoho elektropryvodv maloiu potuzhnosti]. – L. : Energoatomisdat, Leningrad. dep-tion. – 170.

3. German-Galkin S. G. (2002). Power Electronics: Laboratory work on the PC: [Sylova elektronika: laboratorni roboty na PK]. – St. Petersburg: CROWN print. – 304.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

**И. М. Голодный,  
А. Ю. Синявский,  
А. В. Санченко**

**Аннотация.** Современный асинхронный регулируемый электропривод базируется на использовании полупроводниковых преобразователей напряжения различных типов, исследованию различных рабочих характеристик которых, из-за сложности или высокой стоимости, уделено мало внимания. С развитием компьютерного моделирования появилась возможность углубить исследования данных процессов.

Целью работы является уменьшение времени и затрат на исследование регулируемого асинхронного электропривода с помощью компьютерного моделирования и подтверждения адекватности полученных результатов на модели и физической установке.

Анализ электромагнитных процессов регулируемого электропривода при выбранном способе управления проводился с использованием положений теории электропривода и статистических методов обработки результатов исследований на физической и компьютерной модели в системе MatLab.

Для проведения анализа характеристик трехфазного регулируемого асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазоимпульсным управлением разработана в MatLab компьютерная модель, силовая цепь которой состоит из источника переменного напряжения, двух тиристоров в каждой фазе, соединенных встречно-параллельно и электродвигателя АИРП80А6У2. Результаты исследований визуализировались с помощью виртуальных измерительных приборов.

На созданной компьютерной модели и лабораторной установке регулируемого электропривода вентиляционной установки с тиристорным регулированием напряжения станцией управления "Климатика 1" получены формы кривой напряжения и тока и их спектральный состав.

Анализ результатов исследований подтвердил адекватность компьютерной модели реальным электромагнитным процессам.

Результаты исследований на компьютерной модели пригодны для использования при разработке трехфазного регулируемого электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазо-импульсным управлением.

**Ключевые слова:** электромагнитные процессы, высшие гармоники, форма кривой напряжения и тока, компьютерная модель, регулированный электропривод

## INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH TYRRISTOR VOLTAGE REGULATOR

I. M. Golodnyi,  
A.Yu. Sinyavsky,  
A. V. Sanchenko

**Abstract.** *The modern asynchronous controlled electric drive is based on the use of semiconductor voltage converters of various types, which, due to complexity or high cost, pay little attention to the study of various performance characteristics. With the development of computer modeling, it became possible to deepen the research of these processes.*

*The aim of the work is to reduce the time and costs for studying a controlled asynchronous electric drive by computer simulation and to confirm the adequacy of the results obtained on the model and physical installation.*

*The analysis of electromagnetic processes of a regulated electric drive with the chosen control method was carried out using the provisions of the electric drive theory and statistical methods for processing the results of research on the physical and computer model in the MatLab system.*

*In order to analyze the characteristics of a three-phase adjustable asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control, a computer model is developed in MatLab, the power circuit of which consists of an alternating voltage source, two thyristors in each phase, connected counter-parallel and the motor АИРП80А6У2.*

*On the created computer model and laboratory installation of the adjustable electric drive of the ventilation system with thyristor regulation of the voltage by the control station "Klimatika 1", the shape of the voltage and current curve and their spectral composition were obtained.*

*Analysis of the results of the studies confirmed the adequacy of the computer model to real electromagnetic processes.*



*The results of the studies on the computer model are suitable for use in the development of a three-phase asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator with phase-pulse control.*

**Keywords: electromagnetic processes, higher harmonics, voltage and current curve shape, computer model, regulated electric drive**

УДК 330.322.338.45

## **СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В АСПЕКТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ І РЕГІОНІВ; ДЕЯКІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ**

**Н. І. СОКОЛОВСЬКА**, заступник директора Департаменту з питань взаємодії з Верховною Радою України, іншими державними органами Секретаріату Кабінету Міністрів України, завідувачка відділу аналітичної роботи та зв'язків з народними депутатами України

**Анотація.** *За результатами реалізації завдань Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р № 605-р., планується досягти зниження енергоємності ВВП більш ніж удвічі до 2035 року. Забезпечення повноти та прозорості обліку всіх форм енергії набуває визначального значення.*

*Найбільш проблемним є забезпечення обліку на ринку природного газу. Для контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій необхідна єдина система обліку та контролю споживання енергоресурсів, що має бути врегульована законодавством. Система має збирати дані про споживання енергоресурсів безпосередньо від лічильників споживачів, які повинні бути в усіх будинках і квартирах. Інформація має акумулюватися на рівні району, потім області. Узагальнені дані мають бути опрацьовані в єдиному моніторинговому центрі. Як результат – реальна картина споживання енергоресурсів і стану платежів.*

**Ключові слова:** *комерційний облік, енергетичні ринки, паливно-енергетичний баланс, органи державного управління*

**Актуальність.** Аналіз достатності законодавчої бази стосовно забезпечення автоматизованого комерційного обліку всіх видів енергоресурсів. Створення автоматизованої системи обліку та контролю споживання енергоресурсів на регіональному та загальнодержавному рівні за єдиними правилами ведення баз даних. Забезпечення контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій.