



Тихоненко С. В.,  
Громадський Ю. С.,  
Савицький С. М.,  
Гапон Д. А.

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СПОЖИВАЧА-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Досліджено техніко-економічні обґрунтування розробки методів управління електричним навантаженням побутових споживачів, які дають змогу визначити їх участь у формуванні плану електроспоживання та його регулювання з метою економії електроенергії за рахунок вирівнювання графіків електричних навантажень. Проаналізовано механізм формування роздрібного тарифу на електричну енергію для побутових споживачів, проаналізовані складові, які безпосередньо залежать від режимів споживання електричної енергії.

**Ключові слова:** споживач-регулятор, графік електричного навантаження, енергоефективність, система електропостачання, вартість електроенергії, теплопостачання.

### 1. Вступ

Рациональне використання енергоресурсів в паливно-енергетичному комплексі припускає використання енергозберігаючих технологій і економічний режим роботи устаткування на усіх стадіях процесу: від виробництва електроенергії до її споживання електроприймачами.

Підвищення ефективності роботи технічної системи, що включає виробництво, передачу, розподіл та споживання електричної енергії, зменшення втрат на кожному етапі технологічного процесу в цій системі на основі ущільнення графіку електричного навантаження та підвищення якості електричної енергії є актуальною проблемою для усіх країн світу. Сучасний стан електрогосподарства побутового та промислового сектору характеризується використанням великої кількості пристроїв. Така ситуація призвела до збільшення комфортності життя людини, з одного боку, а з другого — до критичного збільшення навантаження на елементи системи електропостачання, значної нерівномірності графіків електричного навантаження, підвищення складності підтримання динамічного балансу між споживанням та генерацією електричної енергії, зниження якості електричної енергії в розподілених мережах електропостачання.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відставання темпів зростання цін на електричну енергію від цін на природний газ та нафту створює економічні умови для використання електричної енергії замість природного газу та мазуту у системах промислового та побутового теплозабезпечення [1, 2]. Собівартість атомної енергії у світі втричі нижча, ніж енергія, що отримується з нафти, та вдвічі нижча ніж з газу. Найнижча собівартість у електроенергії, що виробляється атомними електростанціями складає близько 50 % і в перспективі зростатиме (рис. 1).

У Розпорядженні Кабінету Міністрів від 17 грудня 2008 р. № 1567-р «Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів» передбачено необхідність зменшення енергоемності валового внутрішнього продукту та споживання енергоресурсів, у тому числі зменшення споживання газу і використання електроенергії для опалення та гарячого водопостачання [3, 4]. Втрати активної потужності у розподільчих мережах промислового та побутового сектору є одним із проблемних питань сучасної енергетики. Система електропостачання промислового та побутового сектору є динамічною структурою, в якій важливу роль відіграють питання управління графіком навантаження та покращення його параметрів.

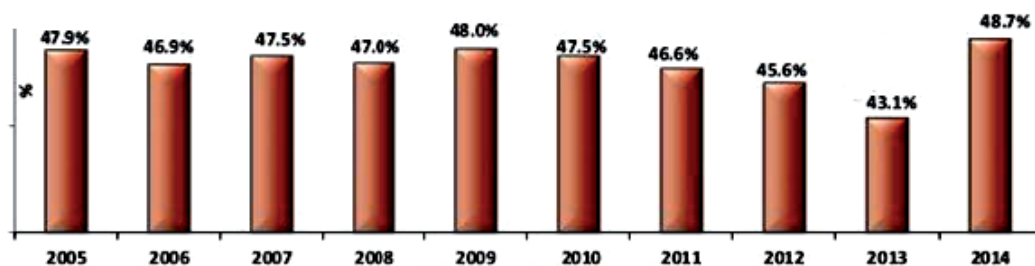


Рис. 1. Частка електроенергії ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» у загальному виробництві в Україні

Оптимізація режимів роботи виробництва електричної енергії за рахунок збільшення споживання електроенергії в години «нічного провалу» обумовлює необхідність замінювати газовий нагрів системи акумуляційного електронагріву, що є споживачами-регуляторами, при цьому дозволив суттєво знизити обсяги споживання природного газу на потреби опалення.

Важливість і ефективність управління попитом за допомогою використання тарифів реального часу було показано, що невеликий зсув в піку споживання призводить до вагомих заощаджень і дозволяє уникнути нових пікових електростанцій [5, 6]. До методів управління електроспоживанням відноситься методи, що ведуть до зміни форми графіка активного навантаження, за рахунок підключення додаткових електроприймачів в години мінімуму навантаження. За рахунок цього середне за період навантаження зростає, а максимум її залишається незмінним. Тим самим цілісність графіка зростає, а нерівномірність зменшується [7]. Управління навантаженням електричної енергії може бути виконано найбільш ефективно шляхом використання споживачів-регуляторів. При цьому істотний вплив здійснюється і на підвищення надійності електропостачання, оскільки максимальне навантаження частково переноситься в години резерву потужності енергосистеми. Споживачі-регулятори дозволяють використовувати багатотарифні лічильники електричної енергії, що дає можливість вирівнювати графіки електричних навантажень для зменшення електроспоживання в часи максимуму навантаження. Методи та заходи з керування графіку електричного навантаження споживання електричної енергії за рахунок використання споживачів-регуляторів дозволяє зменшити піки навантаження в енергосистемі.

Дослідженнями встановлено пряму залежність між вирівнюванням графіка електричного навантаження за фазними проводами системи електропостачання та технологічними втратами на вищих рівнях системи електропостачання тільки для побутового сектору [8]. Наведені показники, що характеризують функціональну ефективність діючої системи електропостачання і проаналізовані тенденції їх динаміки в залежності від ефективності регулювання графіка навантаження [9, 10]. Приведені методи розроблені для побутових споживачів, які при впровадженні на практиці показали високу ефективність щодо зменшення втрат електричної енергії у відповідних системах електропостачання. Тому доцільно проаналізувати техніко-економічний ефект від впровадження споживача-регулятора для керування графіка навантаження в системі електропостачання адміністративних будівель.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

У статті проводилося дослідження з метою техніко-економічного обґрунтування споживача-регулятора для керування режимами споживання електричної енергії для підвищення енергоефективності режимів роботи розподільчих мереж в системах електропостачання адміністративних будівель. Визначення переваг застосування автоматизованих вузлів електронагріву трансформаторного типу для теплопостачання.

Об'єкт дослідження — керування графіком електричного навантаження в системі електропостачання адміністративних будівель.

Мета дослідження — вдосконалення методів та заходів управління режимами електроспоживання для підвищення ефективності роботи розподільчих мереж адміністративних будівель.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Удосконалення керування режимом електроспоживання для вирівнювання графіка електричного навантаження в системі електропостачання адміністративних будівель.
2. Розрахунок оптимального тарифу електричної енергії для споживачів.
3. Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності від впровадження системи керування режимом електроспоживання.

### 4. Матеріали та методи дослідження керування режимами електроспоживання

Відповідно до Порядку застосування тарифів на електроенергію, що відпускається населенню, затвердженого постановою НКРЕ від 23.04.2012 р. № 498, розрахунки з побутовими споживачами за наявності окремого обліку споживання електроенергії проводяться за тризонними тарифами, диференційованими за періодами часу [11, 12]. Для дослідження вартості тарифів електричної енергії для споживачів систем електропостачання загального призначення було проведено порівняльний аналіз вартості тарифу в умовах тризонного тарифу (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахунок вартості електроенергії в умовах диференційованого тризонного тарифу з урахуванням тарифних коефіцієнтів (на серпень 2015 р.)

Період (тарифна зона)	Тарифний коефіцієнт	Вартість 1 кВт*год. для не побутового споживача, грн. з ПДВ
Нічний період	0,25	0,4506
Напівпіковий період	1,02	1,8384
Піковий період	1,8	3,2443

Однак таке стимулювання не враховує характеристики графіку електричного навантаження конкретної передавальної компанії, яка залежать від кількісного складу кінцевих промислових споживачів та не вирішує питання оптимального розподілу електричного навантаження у «поз піковій» зоні.

Постановами НКРЕКП від 30.06.2015 р. № 1899, № 1888, № 1886, № 1934 з 1 липня 2015 року затверджена вартість послуг з газопостачання для підприємств, бюджетних установ і організацій, що становить 8976,36 грн. за 1000 м<sup>3</sup> (з ПДВ) (табл. 2).

Впровадження енергоефективної комбінованої системи теплопостачання (рис. 2) з акумуляцією тепла та тризонним обліком електроенергії на базі автоматизованого вузла електронагріву трансформаторного типу ВЕНА-250КА загальною потужністю 250 кВт з теплоакумулятором ТАА-40 + газова котельня. В вузол електронагріву будується на базі термотрансформаторів (ТерЕН) — 2 од. × 100 кВт + 1 од. × 50 кВт.

Таблиця 2

Порівняльний розрахунок вартості одиниці тепла для споживачів, крім населення

Вид генератора тепла	Джерело тепла (вид тарифу)	Одиниці виміру	Вартість одиниці первинного продукту, грн.	Кількість продукту для отримання 1 кВт*год. теплової енергії	Вартість 1 кВт*год. теплової енергії для споживача, грн. з ПДВ (з урахуванням ККД)	Вартість 1 Гкал теплової енергії для споживача, грн. з ПДВ (з урахуванням ККД)
Електро-нагрівач-термотрансформатор	3-зонний, 7 годин вночі	кВт*год	0,4506	1,02	0,46	535
	3-зонний, 7 годин вночі, 11 годин — напівпік		1,24	1,02	1,26	1470
	—		1,8384	1,02	1,875	2181
Котел на твердому паливі	Дрова	кг	0,8	0,80	1,07	1240*
	Вугілля		1,2	0,40	0,84	980*
Котел на р/палеві	Мазут		2,88	0,46	2,364	2750*
Централізоване	ТЕЦ	Гкал	1892,29	0,00086	1,63	1892
Газовий котел	Автономна котельня	м <sup>3</sup>	8,98	0,12	1,27	1475*

**Примітка:** \* — без урахування зарплатні обслуговуючого персоналу, вартості сезонного обслуговування та ремонту, а також без урахування вартості електроенергії на власні і технологічні потреби котельні

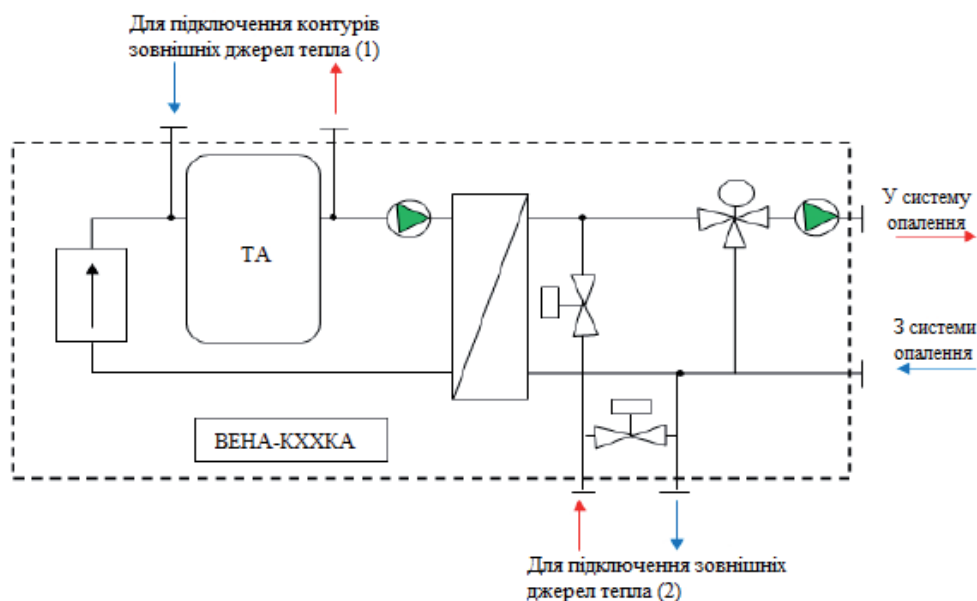


Рис. 2. Принципова схема системи теплопостачання

В нічний час система теплопостачання працює, використовуючи електроенергію за пільговим (нічним) тарифом, в напівпікові і пікові години використовується тепло, накопичене в теплоаккумуляторі, і, лише, коли його потужності недостатньо, завіюється резервне джерело теплопостачання (газова котельня). Таким чином забезпечується найбільш економічний режим роботи системи теплопостачання.

Управління роботою системи теплопостачання будівлі на всіх етапах здійснюється автоматизовано.

Додаткова перевага — 100 % резервування системи тепло генерації. В разі відсутності газу об'єкт можна перевести на цілодобове автономне теплопостачання від споживача-регулятора, а саме вузла електронагріву автоматизованого (ВЕНА).

### 5. Результати дослідження розрахунку вартості тарифу теплопостачання з впровадженням комбінованої системи

Результати визначення економічної оцінки вартості теплопостачання з впровадженням комбінованої системи теплопостачання приведено в табл. 3 та табл. 4.

Розрахунок вартості опалення становить: за опалювальний період вузлом електронагріву загальною потужністю 250 кВт (теплова потужність 0,221066 Гкал/год) буде вироблено 318 Гкал теплової енергії вартістю  $318 \times 535 = 170130$  грн.

Вартість такої ж кількості тепла від газової котельні (за тарифами 2015 р.) складає  $318 \times 1475 = 469050$  грн.

Річний економічний ефект лише за паливом (за тарифами на 2015 р.) – 298920 грн.

Таблиця 3

Вартість обладнання

№	Найменування	Кількість	Ціна	Сума, грн. з ПДВ
Комбінована система теплопостачання трансформаторного типу з акумуляцією тепла				
1	Вузол електронагріву автоматизований ВЕНА-250КА	1	1020558	1020558
Всього обладнання				1020558
Вартість робіт				
1	Монтажні, пуско-налагоджувальні роботи, транспортні витрати, електротехнічна лабораторія (з урахуванням витратних матеріалів)	—	—	102000
Всього роботи				102000
Загальна вартість впровадження, грн. з ПДВ				1122558

Таблиця 4

Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності

№	Найменування	Значення
1	Витрати на впровадження системи теплопостачання на базі автоматизованого вузла електронагріву, грн. з ПДВ	1122558
2	Вартість заміщеного тепла від газової котельні (на 2015 р.) грн. з ПДВ	469050
3	Вартість тепла, зробленого за рахунок електроенергії, з впровадженням системи теплопостачання на базі автоматизованого вузла електронагріву на 2015 р., грн. з ПДВ	170130
4	Річний економічний ефект, грн.	298920
5	Термін окупності (повернення коштів), років	3,8

## 6. Обговорення результатів дослідження використання побутових споживачів-регуляторів

Впровадження комбінованої системи теплопостачання, за рахунок використання споживачів-регуляторів, дозволяє вирівнювати графік електричного навантаження в системі електропостачання адміністративних будівель. При цьому витрати на впровадження системи теплопостачання на базі автоматизованого вузла електронагріву можуть бути окупленими за 3,8 років. Запропонована система управління електричним навантаженням в адміністративних будівлях має гнучку систему керування та підвищує якість електричної енергії і енергоефективність системи постачання. Недоліком даної системи є необхідність підключення до електричної мережі. Також було б доцільним удосконалити метод управління графіком електричного навантаження в енергетичній системі за рахунок впровадження автоматично-регульованих систем електронагріву з акумуляцією тепла, що дозволяє отримати дієвий інструмент для підвищення енергоефективності процесів генерації, передачі та споживання електричної енергії.

## 7. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Запропоновані засоби керування графіком навантаження електропостачання адміністративних будівель, шляхом використання комбінованої системи теплопостачання.

2. Доведено, що використовуючи в енергетичній системі адміністративних будівель систему автономного теплопостачання від споживача-регулятора, а саме вузла електронагріву автоматизованого (ВЕНА), забезпечується найбільш економічний режим роботи системи теплопостачання.

3. Проведене техніко-економічне обґрунтування впровадження споживачів-регуляторів, які можуть використовуватись для вирішення важливої проблеми підвищення енергоефективності та виконана оцінка потенційного економічного ефекту від вирівнювання графіка навантаження енергосистеми. При цьому, доведено, витрати на впровадження автоматизованого вузла електронагріву ВЕНА окупаються майже за 4 роки.

## Література

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [Електронний ресурс]: Розпорядження від 24.07.2013 № 1071-р / Кабінет Міністрів України. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p>
2. Суходоля, О. М. Проект Енергетичної стратегії України на період до 2035 року (Біла книга Енергетичної політики України «Безпека та конкурентоспроможність») [Електронний ресурс] / наук. кер. О. М. Суходоля. — Київ, 2014. — Режим доступу: \www/URL: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2014\\_nauk\\_an\\_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf)
3. План розвитку ОЕС України на десятирічну перспективу [Електронний ресурс] // Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». — 15 травня 2015. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/pages/ua/aboutthecompany.aspx>
4. Актуалізація Енергетичної стратегії України [Електронний ресурс] // Міністр енергетики та вугільної промисловості України. — 22.10.2014. — Режим доступу: \www/URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=244964965](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=244964965)
5. Gillingham, K. Energy Efficiency Policies: A Retrospective Examination [Text] / K. Gillingham, R. Newell, K. Palmer // Annual Review of Environment and Resources. — 2006. — Vol. 31, № 1. — P. 161–192. doi:10.1146/annurev.energy.31.020105.100157
6. Implementing Agreement on Energy Conservation through Energy Storage [Electronic resource]: Annual Report 2006 / Committee on Energy Research and Technology End-Use Working Party. — August 2007. — Available at: \www/URL: [http://www.energy-storage.org/files/eces\\_annualreport2006\\_rev.pdf](http://www.energy-storage.org/files/eces_annualreport2006_rev.pdf)
7. Серебренніков, Б. С. Управління режимом електроспоживання промислових підприємств з використанням технологічного ресурсу [Текст] / Б. С. Серебренніков, К. Г. Петрова // Електротехніка та електроенергетика. — 2013. — № 1. — С. 70–76.
8. Находов, В. Ф. Методологія аналізу та корегування впливу диференційованих тарифів на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми України [Текст] / В. Ф. Находов, Т. В. Яроцький, А. О. Горбаненко // Вісник Вінницького політехнічного університету. — 2011. — № 6. — С. 72–75.
9. Згуровець, О. В. Эффективные методы управления потреблением электрической энергии [Текст] / О. В. Згуровець, Г. П. Костенко // Проблемы загалльної енергетики. — 2007. — № 16. — С. 75–80.
10. Тубинис, В. Управление электропотреблением. Электронный журнал энергосервисной компании [Электронный ресурс] / В. Тубинис // Электронный журнал «ЭСКО». Энергосервисная компания «Экологические Системы». — 2007. — № 2. — Режим доступа: \www/URL: [http://www.journal.esco.co.ua/2007\\_2/art148.htm](http://www.journal.esco.co.ua/2007_2/art148.htm)

11. Офіційний сайт ДП «Енергоринок» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/URL: www.er.gov.ua
12. Офіційний сайт Державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/URL: http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/

#### ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Исследованы технико-экономические обоснования разработки методов управления электрической нагрузкой бытовых потребителей, которые позволяют определить их участие в формировании плана электропотребления и его регулирования с целью экономии электроэнергии за счет выравнивания графиков электрических нагрузок. Проанализирован механизм формирования розничного тарифа на электрическую энергию для бытовых потребителей, проанализированы составляющие, которые напрямую зависят от режимов потребления электрической энергии.

**Ключевые слова:** потребитель-регулятор, график электрической нагрузки, энергоэффективность, система электроснабжения, стоимость электроэнергии, теплоснабжения.

*Тихоненко Станіслав Вікторович, директор, ТОВ «Елекон ЛТД», Вишневе, Київська обл., Україна.*

*Громадський Юрій Степанович, директор, ТОВ «КиївПром-ЕлектроПроект», Київ, Україна.*

*Савицький Сергій Михайлович, асистент, кафедра автоматики та управління в технічних системах, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: savitskiy.s@ukr.net.*

*Гапон Дмитро Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизації енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Тихоненко Станіслав Вікторович, директор, ООО «Элекон ЛТД», Вишневоє, Київська обл., Україна.*

*Громадський Юрій Степанович, директор, ООО «КиївПром-ЕлектроПроект», Київ, Україна.*

*Савицький Сергій Михайлович, асистент, кафедра автоматики и управления в технических системах, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.*

*Гапон Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизации энергосистем, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.*

*Tykhonenko Stanislav, LLC «Elecon LTD», Vishnevoe, Kyiv region, Ukraine.*

*Gromadsky Yuri, LLC «KyivPromElektroProekt», Kyiv, Ukraine.*

*Savitsky Sergey, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: savitskiy.s@ukr.net.*

*Gapon Dmitry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine*

УДК 662.995.018.8:662.925.002.76

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.66898

Осаул А. І.,  
Самсоненко І. М.,  
Волков Т. М.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ КАВІТАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ

Проведено порівняльний аналіз систем перетворення електричної енергії в механічну і механічну в теплову з реалізацією ефекту кавітації в потоці рідини, що транспортується в замкнутому контурі. Встановлено закономірності зміни температури теплоносія в залежності від його природи, інтенсивності кавітування, який визначається обертально-поступальним і обертальним рухом в кавітаторах двох типів — трубному і роторному.

**Ключові слова:** кавітація, тиск, вихор, обертання, знезараження, регенерація масел, ефективність, економія.

### 1. Вступ

Необхідність першочергової реалізації розвитку енергетики і невід'ємної її частини екологічної безпеки обумовлена сьогодні часом не тільки для України, але і для промислово розвинених країн, таких як Китай, США, Японія, Росія і більшості європейських держав.

Незважаючи на значні успіхи в області екологічної безпеки, досягнуті провідними розробниками виробництв, атомної енергії, нафтової та вугільної промисловості, все більше пріоритетними на сьогодні стають пошук і вирішення нетрадиційних і альтернативних технологій виробництва електричної енергії, тепла і ути-

лізації продуктів життєдіяльності людини. Порядку населення планети Земля від енергетичного «голоду» і екологічного зараження приділено посилену увагу, відображення якого знаходимо в нових розробках пристроїв і технологій [1–10].

У нетрадиційних технологіях прояв енергії кавітації розглядається в основному для виробництва тепла [5]. У той же час ряд досліджень присвячені питанню вирішення екологічних завдань [11]. З урахуванням встановленого ефекту подвійної дії енергії кавітації на рідині: зміни властивостей, хімічного складу при одночасному виділенні тепла необхідність удосконалення систем і технологій кавітування очевидна. Цьому напрямку