



№1 (149)

Листопад
2019 р.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИКА ЕНЕРГОАУДИТ



Energy saving · Power engineering · Energy audit

Загальнодержавний науково-виробничий та інформаційний журнал

Редакційна колегія

Головний редактор:

Мехович С. А. д-р екон. наук, проф., Харків, Україна

Заступник головного редактора:

Лазуренко О. П. канд. техн. наук, проф., Харків, Україна

Члени редакційної колегії:

Безпрозваних Г. В. д-р техн. наук, проф., Харків, Україна,
Бекбасв А. Б. д-р техн. наук, проф., Алма-Ата, Казахстан,
Болюх В. Ф. д-р техн. наук, проф., Харків, Україна,
Ляшенко С. Н. д-р екон. наук, проф., Суми, Україна,
Клепиков В. Б. д-р техн. наук, проф., Харків, Україна,
Коциські Дьордь д-р екон. наук, проф., Мішкольц, Угорщина,
Мамаліс Анастасіє д-р техн. наук, проф., Афіни, Греція,
Мацевитий Ю. М. д-р техн. наук, проф., Харків, Україна,
Мінакова С. М. д-р екон. наук, проф., Харків, Україна,
Перерва П. Г. д-р екон. наук, проф., Харків, Україна,
Прокопенко О. В. д-р екон. наук, проф., Одеса, Україна,
Таранюк Л. М. д-р екон. наук, проф., Суми, Україна,
Томашевський Р. С. д-р техн. наук, доц., Харків, Україна,
Черенков О. Д. д-р техн. наук, проф., Харків, Україна,
Шевченко С. Ю. д-р техн. наук, проф., Харків, Україна,
Шутенко О. В. канд. техн. наук, проф., Харків, Україна.

Відповідальний секретар:

Крюкова Н. В. канд. техн. наук, доц., Харків, Україна.

Editorial board

Editor-in-Chief:

Mekhovich S. A. Dr. Sc. (Econ.), Prof. Kharkiv, Ukraine

Associate editor:

Lazurenko O. P. Ph. D. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine

Editorial board members:

Bezprozvannykh G. V. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Bekbayev A. B. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Alma-Ata, Kazakhstan,
Bolyukh V. F. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Iliashenko S. M. Dr. Sc. (Econ.), Prof., Sumy, Ukraine,
Klepikov V. B. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Kocziszky G. Dr. Sc. (Econ.), Prof., Miskolts, Hungary,
Mamalis A. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Athens, Greece,
Matsevityi Y. M. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Minakova S. M. Dr. Sc. (Econ.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Pererva P. G. Dr. Sc. (Econ.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Prokopenko O. V. Dr. Sc. (Econ.), Prof., Odesa, Ukraine,
Taraniuk L. M. Dr. Sc. (Econ.), Prof., Sumy, Ukraine,
Tomashevskiy R. S. Dr. Sc. (Tech.), As. Prof., Kharkiv, Ukraine,
Cherenkov A. D. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Shevchenko S. Y. Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine,
Shutenko O. V. Ph. D. (Tech.), As. Prof., Kharkiv, Ukraine.

Responsible secretary:

Krukova N. V. Ph. D., As. Prof., Kharkiv, Ukraine.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації Серія КВ № 16921-5691ПП від 15.07.2010 р.

Журнал засновано: постанова Кабінету Міністрів України від 17.11.1997 р. №1287

Засновники:

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Північно-східна енергетична компанія «СВЕКО»
Реєстраційне свідоцтво АОО № 171256 від 06.08.2004 р.

© Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2019

ISSN 2313-8890 (Online), ISSN 2218-1849 (Print)

ЗМІСТ

<i>Мехович С. А.</i> Звернення до авторів та читачів журналу	3
--	---

ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

<i>Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Борисенко Є. О., Краснояружський А. А.</i> Моделювання предаварійних та аварійних ситуацій на електростанціях на основі фрактально-кластерної теорії	4
<i>Мазур В. А., Михайлова Л. Н.</i> Аналіз параметрів генератора на основі електродинамічної хвильової системи.....	11
<i>Черенков А. Д., Косулина Н. Г.</i> Аналіз метода стабілізації частоти діодного генератора.....	18
<i>Бобух А. О., Переверзева А. М.</i> Розробка математичної моделі технології регенерації газів із розчнів виробництва кальцинованої соди.....	26
<i>Луданов К. І.</i> Ексергетичний аналіз концентрації прямого сонячного випромінювання	33
<i>Лимонов Л. Г., Соколовський Ю. Б.</i> Безредукторні вітроенергетичні установки	45

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

<i>Куріс Ю. В.</i> Температурні режими метаногенезу та технологічні схеми отримання біогазу	52
<i>Нефедов Ю. І.</i> Тиск гідравлічного удару – альтернатива напору води гідроелектростанцій.....	62

ЕКОНОМІКА, ОРГАНІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ

<i>Бабенко В. О., Перепелиця А. С., Сідоров М. В.</i> Кластерний підхід до оцінки рівня інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації.....	70
<i>Мехович С. А.</i> Аналіз кластерних форм взаємодії промислових підприємств.....	80

НКРЕ – ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ

Про основні показники роботи паливно-енергетичного комплексу.....	92
Подання матеріалів статей до журналу.....	104

TABLE OF CONTENTS

<i>Mekhovich S. A.</i> Appeal to authors and readers of the magazine.....	3
---	---

POWER ENGINEERING, ENERGY EFFICIENCY

<i>Budanov P. F., Brovko K. Yu., Borisenko Ye. O., Krasnoiaruzhskiy A. A.</i> Modeling of pre- and emergency situations at powerplants on the base of cluster fractal theory	4
<i>Mazur V. A., Mihailova L. N.</i> Analysis of generator parameters on the base of electrodynamic wave system	11
<i>Cherenkov A. D., Kosulina N. G.</i> Analysis of the diode generator frequency stabilization method	18
<i>Bobukh A. A., Pereverzeva A. M.</i> Development of the mathematical model of gases regeneration technology from calcium soda production solutions.....	26
<i>Ludanov K. I.</i> Exergy analysis of direct sun radiation concentration.....	33
<i>Limonov L. G., Sokolovsky J. B.</i> Gearless wind power plants.....	45

ENERGY SAVING

<i>Kuris Yu. V.</i> Temperature modes of methanogenesis and technological schemes for biogas production	52
<i>Nefedov J. I.</i> Hydraulic blow pressure – an alternative to water pressure in hydroelectric power stations	62

ECONOMY, ORGANIZATION AND MANAGEMENT

<i>Babenko V. O., Perepelytsia A. S., Sidorov M. V.</i> Cluster evaluation approach to informatization of countries under international globalization.....	70
<i>Mekhovich S. A.</i> Analysis of industrial enterprises interaction cluster forms.....	80

NERC - PROBLEMS AND SOLUTIONS

The main performance indicators of the fuel and energy complex	92
Submission of journal articles.....	104



ЗВЕРНЕННЯ ДО АВТОРІВ ТА ЧИТАЧІВ ЖУРНАЛУ

Вельмишановні автори!

Вельмишановні читачі журналу!

Засновники та редакційна колегія журналу «ЕЕЕ» бажає вам, вашим близьким, колегам і друзям здійснення усіх планів. Знаковою подією 2019 року став новий ринок електроенергії, який стартував 1 липня. Новий ринок - це, безумовно, дуже важливий крок як до більш високого рівня вимог, так і компетентності його членів.

Реформа оптового сегменту – найскладніша з усіх ринкових реформ. Новий ринок передбачає відокремлення діяльності з розподілу та постачання електроенергії. Це означає, що обленерго тепер не розподілятиме електричну енергію та не буде здійснювати її постачання споживачам. Постачання виділяють в окремий бізнес. Це відповідає європейським стандартам та створює умови для конкуренції.

Новий ринок поділено на три частини: ринок двосторонніх договорів, ринок "на добу наперед" та внутрішньодобовий ринок. Створено два майданчики: балансуючий ринок та ринок допоміжних послуг. На них системний оператор зможе купувати потужності для балансування енергосистеми. Споживачі зможуть змінювати постачальника, керуючись принципом економічної доцільності. Це тільки незначний перелік новин.

Відповідно до нових ринкових умов в енергетиці в цьому році дещо нового внесено до структури та змісту журналу, оновлено його сайт. Журнал представляє собою цілісну публікацію щодо самих актуальних питань енергоефективності, енергетики та енергоаудиту. На його сторінках читач знайде інформацію, яка відображує модерністські наукові погляди і значні досягнення у цій області. Видання регулярно буде висвітлювати нагальні проблеми та шляхи їх вирішення. На його сторінках ви знайдете аналіз стану та динаміку змін на енергетичному ринку України. Важливе місце буде відведено дискусіям щодо наслідків реформування енергоринку. Наші принципи – оперативність, компетентність, відповідальність, гарантія виконання зобов'язань. Наші переваги – сліпе рецензування, індексація у наукометричних базах, типографський друк, відправка у бібліотечні фонди, вільний доступ до архіву.

Зазнають незначних змін правила оформлення статей відповідно до нових вимог МОН України та міжнародних стандартів. З ними можна ознайомитися на сайті журналу. Вони також будуть дублюватися у номерах журналу. Журнал буде виходити, як і раніше, кожного місяця.

Раді будемо зустрітися з вами на сторінках журналу «ЕЕЕ»

З повагою,

**Головний редактор, доктор економічних наук, професор,
віце-президент Громадської організації
«Асоціація вчених за інноваційний розвиток України»**

Сергій Мехович

Буданов Павло Феофанович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації енергетичних процесів
Бровко Костянтин Юрійович, аспірант кафедри автоматизації енергетичних процесів
Борисенко Євгенія Олегівна, магістрантка кафедри автоматизації енергетичних процесів
Краснояржський Анатолій Анатолійович, магістрант кафедри автоматизації енергетичних процесів
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. Бул. Університетська 16, м. Харків, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАВАРІЙНИХ ТА АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ НА ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОЇ ТЕОРІЇ

Розглянуто основи формування кластер-кластерних агрегацій інформаційного простору про стан і зміну параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку атомної електростанції. Запропоновано підхід рішення задачі обробки інформації при зміні характеристик параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС в режимі реального часу, на основі виявлення локальних неоднорідностей кластер-кластерних агрегацій в об'ємі інформаційного простору. Запропоновано досліджувати аварійні ознаки параметрів через просторові ознаки сигналів, виділяючи найбільш інформативні з них, такі, що мають найбільшу зміну фрактальної розмірності від величини інформативності сигналу в просторі. Наведено фізичну модель фазового інформаційного простору. Показано рішення задачі розпізнавання інформаційних ознак аварійності параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку атомної електростанції на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей в об'ємі кластер-кластерних агрегацій з використанням елементів фрактально-кластерної теорії в просторі і режимі реального часу. Розглянуто специфічні властивості об'єму інформаційного простору, які відображають динаміку процесу зміни сигналів, що поступають, у середині ККА. Показано, що розпізнавання інформаційних ознак аварійності параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС можливо на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей в об'ємі кластер-кластерних агрегацій з використанням елементів фрактально-кластерної теорії в просторі і режимі реального часу.

Ключові слова: модель фазового інформаційного простору; локальна інформаційна неоднорідність; інформаційні ознаки простору; кластер-кластерна агрегація; об'єм інформаційного простору.

Буданов Павел Феофанович, канд. техн. наук, доцент кафедры втоматизации энергетических процессов
Бровко Константин Юрьевич, аспирант кафедры втоматизации энергетических процессов
Борисенко Евгения Олеговна, магистрантка кафедры втоматизации энергетических процессов
Краснояржский Анатолий Анатольевич, магистрант кафедры Автоматизации энергетических процессов
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. Ул. Университетская 16, г. Харьков, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАВАРІЙНЫХ И АВАРІЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОЙ-КЛАСТЕРНОЙ ТЕОРИИ

Рассмотрены основы формирования кластер-кластерных агрегаций информационного пространства о состоянии и изменении параметров технологического процесса электроэнергетического оборудования энергоблока атомной электростанции. Предложен подход решения задачи обработки информации при изменении характеристик параметров технологического процесса электроэнергетического оборудования энергоблока АЭС в режиме реального времени, на основе выявления локальных неоднородностей кластер-кластерных агрегаций в объеме информационного пространства. Предложено исследовать аварийные признаки параметров через пространственные признаки сигналов, выделяя наиболее информативные из них, имеющие наибольшее изменение фрактальной размерности от величины информативности сигнала в пространстве. Приведены физическую модель фазового информационного простору. Показано решение задачи распознавания информационных признаков аварийности параметров технологического процесса электроэнергетического оборудования энергоблока атомной электростанции на основе выявления локальных информационных неоднородностей в объеме кластер-кластерных агрегаций с использованием элементов фрактально-кластерной теории в пространстве и режиме реального времени. Рассмотрены специфические свойства объема информационного пространства, отражающие динамику процесса изменения сигналов, поступающих в середине ККА. Показано, что распознавание информационных признаков аварийности параметров технологического процесса электроэнергетического оборудования энергоблока АЭС возможно на основе выявления локальных информационных неоднородностей в объеме кластер-кластерных агрегаций с использованием элементов фрактально-кластерной теории в пространстве и режиме реального времени.

Ключевые слова: модель фазового інформаційного простору; локальна інформаційна неоднорідність; інформаційні признаки простору; кластер-кластерна агрегація; об'єм інформаційного простору.

Budanov Pavel Feofanovich, Ph.D., associate professor of department of Automation of energy processes

Brovko Konstantin Yurevich, graduate student of department of Automation of energy processes

Borysenko Yevgeniya Olegovna, candidate for a Master's degree of department of Automation of energy processes

Krasnoiaruzhskiy Anatoliy Anatolevich, candidate for a Master's degree of department of Automation of energy processes

Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkov, Ukraine. Universitetskaya str. 16, Kharkov, Ukraine

MODELING OF PRE- AND EMERGENCY SITUATIONS AT POWER-BASED CLUSTER FRACTAL THEORY

The basics of formation of cluster-cluster aggregations of the information space on the status and change of the technological process parameters of the power equipment of the nuclear power plant unit are considered. The approach of solving the problem of information processing when changing the characteristics of technological process parameters of NPP power plant equipment in the real-time mode is proposed, based on the detection of local heterogeneities of cluster-cluster aggregations in the volume of information space. It is proposed to investigate the alarm signs of the parameters through the spatial signs of the signals, highlighting the most informative ones, those that have the largest change in fractal dimension from the magnitude of the informative signal in space. The physical model of the phase information space is presented. The solution of the problem of recognition of information signs of accident of parameters of technological process of electric power equipment of a power unit of a nuclear power plant based on the detection of local information heterogeneities in the volume of cluster-cluster aggregations using elements of fractal-cluster theory in real time is shown. The specific properties of the volume of information space, which reflect the dynamics of the process of changing incoming signals in the middle of the KCA, are considered. It is shown that the recognition of information signs of the accident parameters of the technological process of NPP power plant equipment is possible based on the detection of local information heterogeneities in the volume of cluster-cluster aggregations using elements of fractal-cluster theory in space and real-time.

Keywords: model of the phase information space; local information heterogeneity; information signs space; cluster-cluster aggregation; the amount of information space.

Вступ

У роботах [1, 2, 3] авторами був розглянутий процес формування кластер-кластерних агрегацій (ККА). У роботі [4] показано, що технологічний процес є динамічною системою, що має складну геометричну кластеротвірну структуру (кластер – кластерні агрегації), та має фрактальні властивості. У роботі пропонується, для розробки динамічної моделі виявлення ознак аварійності технологічного процесу (ТП) електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС, розглядати об'єм інформаційного простору на основі інформаційних ознак локальних інформаційних неоднорідностей (ЛІН) сигналів в режимі реального часу.

Метою статті є моделювання процесу обробки інформації в режимі реального часу про зміну кількісних і якісних характеристик параметрів про стан технологічного процесу активної зони ядерного реактора на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей ознак сигналів.

Виклад основного матеріалу

1. Основи формування кластер-кластерних агрегацій інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС. Авторами пропонується розглядати інформаційний простір ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС у вигляді фізичної моделі, побудова якої базується на фрактально-кластерній теорії з одного боку, і теорії інформації з іншого боку. Один з варіантів фізичної моделі фазового інформаційного простору показаний на рис.1. Розглянемо формування об'єму фазового простору на основі елементів кластер-кластерної теорії (рис.1).

У початковому стані початковий об'єм інформації V_0 в фазовому просторі, тобто в початковий момент часу $t_0 = 0$, заповнений внутрішньою інформацією про нормовані значення параметрів сигналів, а з плином часу об'єм інформації V_1 починає змінюватися (зменшуватися або збільшуватися, тобто змінюється ступінь заповнення простору) і

залежить від інтенсивності вхідного потоку, середньої величини сигналу інформації в бітах і середнього часу тривалості інформаційного сигналу в фазовому просторі (визначається величиною часу повернення, на основі елементів теорії Пуанкаре).

В роботі авторами [1, 2, 3] вводяться наступні допущення і припущення. У момент часу $t_0=0$ початковий об'єм інформації V_{0i} у фазовому просторі дорівнює об'єму інформації про нормовані значення параметрів, які знаходяться в пам'яті даних (P) системи, а надалі при вступі на вхід системи інформації в інтервалі часу від t_0 до t відбувається порівняння поточних значень характеристик параметрів з нормованими значеннями і на підставі порівняння робиться висновок, що зміна (відхилення) величини інформаційного сигналу поступила в систему за інтервал часу від t_0 до t або відхилення зміни сигналу за вказаний інтервал часу перевищує величину часу повернення Пуанкаре, тобто в цьому випадку можна припустити про присутність ЛІН сигналу, а отже, наявність аварійних ознак в інформаційному просторі ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС.

Вхідний сигнал (кластер) при повному порівнянні з нормованими значеннями залишається в об'ємі інформаційного простору ККА $V_{ккп}$ з нормованими ознаками. При цьому відбувається повне заповнення об'єму інформаційного простору ККА і характеризується евклідовою розмірністю $d_3=3$.

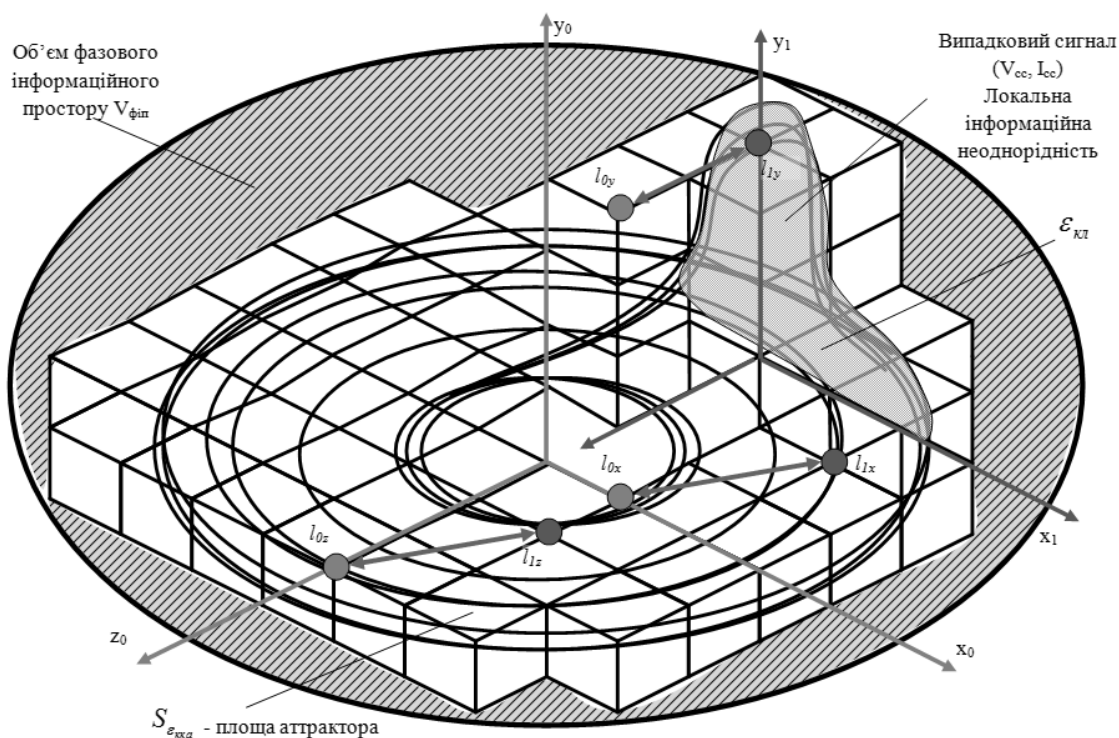


Рис. 1. Варіант фізичної моделі інформаційного простору

У разі неспівпадання вхідного сигналу з нормованими значеннями (розбіжностями), кластер не враховується в об'ємі інформаційного простору кластер-кластерної агрегації $V_{ккп}$ з нормованими ознаками, і формує об'єм інформаційного простору ККА з ознаками аварійності $V_{ккап}$.

При цьому відбувається часткове заповнення об'єму інформаційного простору ККА, а отже, спостерігається міра незаповненості інформаційного фазового простору, яка характеризується кількісною величиною – фрактальною розмірністю і відрізняється від евклідової, тобто $d_f < d_3$.

2. Зв'язок критерію інформативності з фрактальними властивостями інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС.

Розглянемо специфічні властивості об'єму інформаційного простору, які відображають динаміку процесу зміни сигналів, що поступають, у середині ККА.

Для розуміння фрактальних властивостей об'єму інформаційного простору, авторами, пропонується цей об'єм представити у вигляді системи, для аналізу інформативності ознак сигналів, яка дозволяє об'єктивно визначати сигнали з ознаками аварійності із заданого набору сигналів, що поступили, у фазовому просторі і в режимі реального часу.

Як відомо [5], простір інформаційних ознак оцінюється їх інформативністю, а основним критерієм інформативності признакового простору, визначається виразом (1):

$$I(\varepsilon) = \frac{\ell_{кл}}{\ell_{кка}}, \quad (1)$$

де $\ell_{кка}$ середня відстань між кластерами ККА $V_{ккпп}$ і $V_{ккап}$; $\ell_{кл}$ - середня відстань між кластерами всередині ККА $V_{ккап}$ (рис.2).

Вираз (1) служить критерієм інформативності, оскільки характеризує щільність розподілу кластерів в ККА з нормованими ознаками і ККА з ознаками аварійності (де кластер – об'єкт, а ККА - клас).

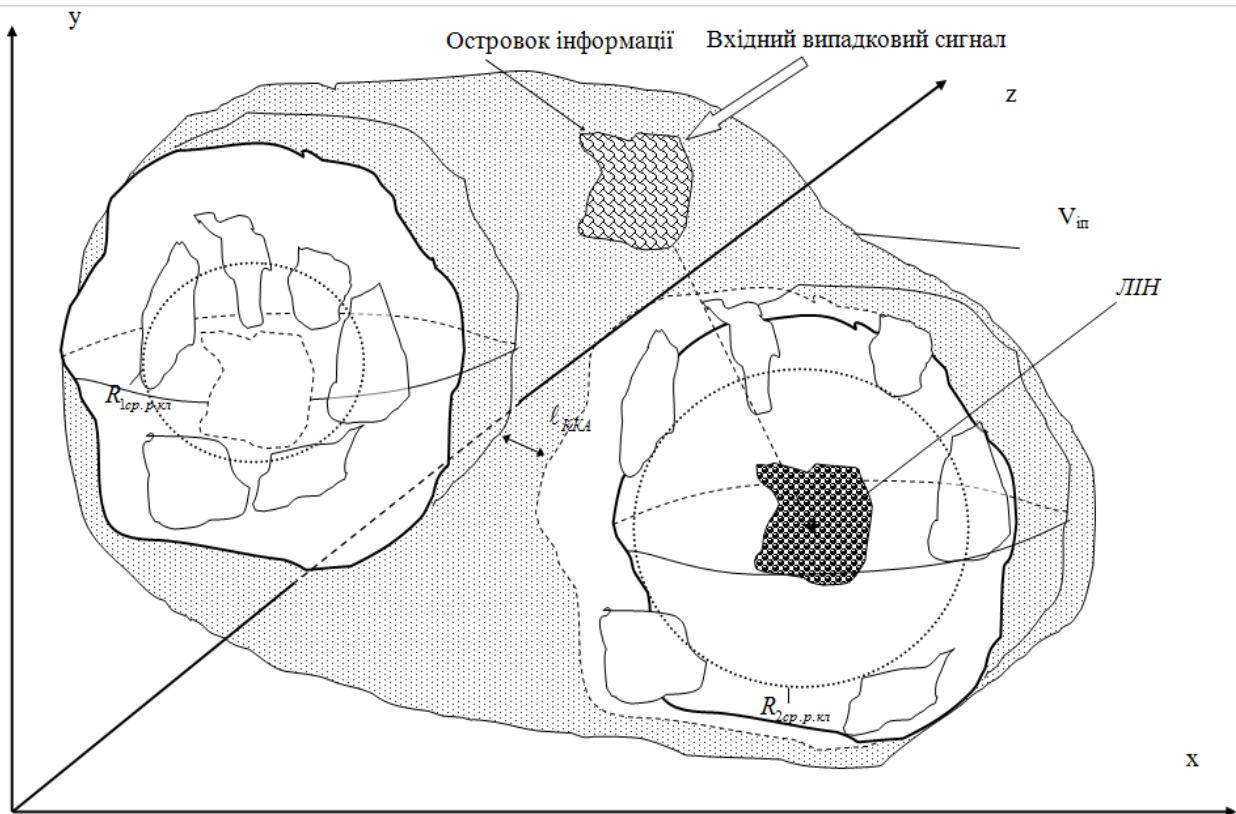


Рис. 2. Розташування кластерів кластер-кластерних агрегацій в ознаковому просторі

Крім того, з виразу (1) можна охарактеризувати віддаленість кластерів ККА $V_{ккпп}$ і $V_{ккап}$ в ознаковому просторі (рис.2).

Проте, як було показано в роботах [1,2,3], ККА з локальною інформаційною неоднорідністю мають фрактальні властивості, то геометричні відстані $\ell_{кка}^{геом}$ (середня відстань між кластерами різних ККА) і $\ell_{кл}^{геом}$ (середня відстань між кластерами всередині ККА) відрізняються від евклідових на $\Delta\ell$ і є фрактальними довжинами відповідно $\ell_{фка}$ та $\ell_{фка}$.

Звідки витікає, що ґрунтуючись на фрактальних властивостях ККА [2-7], необхідно

зв'язати зміну фрактальної розмірності d_f з середньою відстанню між кластерами різних ККА $\ell_{кл}$ та середньою відстанню між кластерами, всередині ККА $\ell_{кка}$, тобто $\ell_{фкл} = \ell_{кл} + \Delta\ell_{кл}$, а $\ell_{фкка} = \ell_{кка} + \Delta\ell_{кка}$, евклідова відстань ℓ_3 представлено через фрактальні довжини. Тобто, при повному заповненні об'єму інформаційного простору $\ell_{кка} = \ell_{фкка}$ та $\ell_{кл} = \ell_{фкл}$ (відсутність сигналів з ознаками аварійності).

Розглянемо випадок заповнення об'єму інформаційного простору при появі випадкового вхідного сигналу, який в ККА представлений у вигляді ЛПН, що утворює острівця інформації. Виходячи з вищесказаного, оцінку інформативності ознак сигналів проводитимемо на підставі виміру середніх евклідових відстаней ККА до і після появи острівця інформації (локальної інформаційної неоднорідності – ЛПН) в ККА.

При виявленні сигналу в ККА, якщо не відбувається зміна фрактальної розмірності, то сигнал вважається нормованим, якщо ж фрактальна розмірність змінюється і наближається до евклідової розмірності $d=3$, то сигнал несе ознаку аварійності.

Дослідження показує, що при вхідному сигналі в інформаційному просторі ККА можуть відбуватися два різні випадкові процеси: не відбувається зміна відстаней всередині ККА; відбувається зміна евклідових відстаней (ℓ_i) між кластерами на величину ($\Delta\ell_i$), так як, вхідний інформаційний сигнал утворює в ККА локальну інформаційну неоднорідність.

Це твердження, справедливо в інтервалах часу ($t_0 - t_1; t_1 - t_2; t_i - t_{i+1}$) для відповідних технологічних циклів ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС.

Необхідно також відмітити, що кількість ЛПН може бути в інформаційному просторі від однієї до декількох, проте їх кількість не впливає на визначення ознак аварійності параметрів ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС в режимі реального часу.

На підставі вищевикладеного перетворимо вираз (1) в наступний вид:

$$I(\varepsilon) = \frac{\ell_{фкл} + \Delta\ell_{кл}}{\ell_{фкка} + \Delta\ell_{кка}} \quad (2)$$

Проте, процес зміна довжин $\ell_{кка}$ та $\ell_{кл}$ відбувається динамічно в часі і просторі. Тому, інформативність простору інформаційних ознак, можна виразити через зміну фрактальної довжини в просторових координатах (x, y, z):

$$I(\varepsilon) = \frac{\ell_{фxyzкл} + \Delta\ell_{xyz}}{\ell_{фxyzкка} + \Delta\ell_{xyz}} \quad (3)$$

З формули (3) видно, що відношення відстані між ККА з нормованими значеннями (ККА_н) і ККА з ознаками аварійності (ККА_а) в ознаковому просторі до середньої відстані всередині ККА в ознаковому просторі можна уявити, як відношення зміни їх фрактальних розмірностей, тобто отримаємо вирази (4) та (5):

$$\ell_{фxyzкка} - \Delta\ell_{xyz} = d_3 - d_f = \Delta d_{фкка} \quad (4)$$

$$I(\varepsilon) = \frac{\Delta d_{фкка}}{\Delta d_{фкка}} \quad (5)$$

Крім того, необхідно виразити середні відстані між кластерами $\ell_{сркл}$ через середній радіус кореляції $R_{ср.р.кл}$ ККА з ознаками аварійності, тобто розглядаючи ККА з нормованими значеннями і ККА з ознаками аварійності маємо співвідношення (6), як

показано на рис.2.

$$R_{2cp.p.kl} > R_{1cp.p.kl} \quad (6)$$

Звідки, виходячи з виразів (4)-(6), отримуємо зв'язок зміни середнього значення радіусу кореляції від зміни фрактальної розмірності, тобто $R_{2cp.p.kl} - R_{1cp.p.kl} \approx d_3 - d_f$, звідки:

$$\Delta R_{cp} \approx \Delta d_f \quad (7)$$

З виразів (4)–(7) можна зробити висновок, що інформативність простору інформаційних ознак об'єму інформаційного простору ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС, залежить від міри заповнення ККА, що утворюють об'єм інформаційного простору, ознаками (нормованими або аварійними), тобто від динаміки зміни фрактальної розмірності в режимі реального часу. В роботі, авторами, для виявлення ознак аварійності параметрів ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС, в інформаційному просторі, представленому у вигляді ККА, що мають фрактальні властивості, пропонується використовувати фрактальний метод виявлення локальних неоднорідностей в сигналах.

Для всього випадкового сигналу оцінюються наступні діагностичні ознаки: середня евклідова відстань між кластерами залежності приросту від величини сигналу; середня фрактальна розмірність; середня зміна фрактальної розмірності (Δd_f); загальна кількість неоднорідностей ЛНН.

Всі ці ознаки необхідно враховувати при розробці динамічної моделі для виявлення ознак аварійності ТП електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС в режимі реального часу.

3. Зв'язок фрактальної розмірності з місткістю аттрактора. Фрактальна розмірність визначається, як показник в ступені при визначенні залежності заповнення кількістю інформації (у бітах) об'єму місткості фрактального аттрактора і визначається виразом (8):

$$N_{kl}(\varepsilon_{kka}) \cong \varepsilon^{-d_f} \quad (8)$$

$$\text{або } d_f = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \varepsilon},$$

де N_{kl} – кількість кластерів в області простору $\sum(\varepsilon_{kka})$ ККА: $d_f = d_3 - \Delta d_f$ звідки $d_3 - \Delta d_f = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \varepsilon}$ чи отримуємо вираз (9) для зміни фрактальної розмірності Δd_f у об'ємі ККА:

$$\Delta d_f = d_3 - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \quad (9)$$

З виразу (9) видно, що залежно від попадання інформаційного острівця (сигналу, див. рис. 2) в одну з двох ККА, утворюється деяка локальна інформаційна неоднорідність, яка характеризується зміною фрактальної розмірності Δd_f , а отже залежить від заповнення кількістю інформації (у бітах) об'єму місткості фрактального аттрактора.

Висновки

1. Запропонований підхід рішення задачі обробки інформації при зміні характеристик параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС в режимі реального часу, на основі виявлення локальних неоднорідностей кластер-

кластерних агрегацій в об'ємі інформаційного простору;

2. Запропоновано досліджувати аварійні ознаки параметрів через просторові ознаки сигналів, виділяючи найбільш інформативні з них, такі, що мають найбільшу зміну фрактальної розмірності від величини інформативності сигналу в просторі;

3. Розглянуті основи формування кластер-кластерних агрегацій інформаційного простору технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС;

4. Отримана фізична модель фазового інформаційного простору з використанням елементів фрактально-кластерної теорії

5. Показано, що розпізнавання інформаційних ознак аварійності параметрів технологічного процесу електроенергетичного обладнання енергоблоку АЕС можливо на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей в об'ємі кластер-кластерних агрегацій з використанням елементів фрактально-кластерної теорії в просторі і режимі реального часу.

Список використаної літератури

1. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Сахно М. Ю. Анализ современного состояния и перспективы развития автоматизированных систем по подготовке оперативного персонала АЭС. – Системы обработки информации, Харьков: ХУПС, № 9, 2012. С. 263–269.

2. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Синергетический подход к разработке модели принятия решения оперативным персоналом АЭС в нештатных ситуациях. - Системы обработки информации, Харьков: ХУПС, №1(108), 2013. С. 256–262.

3. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Метод кластерного анализа для обработки информационного пространства в автоматизированных тренажерах по подготовке оперативного персонала АЭС. - Системы обработки информации, Харьков: ХУПС, № 2 (109), 2013. С. 106–111.

4. Анищенко В. С., Астахов С. В. Возвраты Пуанкаре в системе с хаотическим нестранным аттрактором, Нелин. динам., 2012, т. 8, № 1. С. 29–41.

5. Грызлова Т. П., Балькина А. О. Система оценки информативности диагностических признаков и признаков пространств - Авиационно-космическая техника и технология – 2011. – № 9. – С. 148–154.

6. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. – 254 с.

7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: ИКИ, 2002. – 656 с.

References

1. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Sakhno M. Yu. Analysis of the current state and prospects for the development of automated systems for the training of operational personnel at nuclear power plants [Analiz sovremennogo sostoyaniya i perspektivy razvitiya avtomatizirovannykh sistem po podgotovke operativnogo personala AES]. - Information processing systems, Kharkov: HUPS, No. 9, 2012. P. 263–269.

2. Budanov P. F., Brovko K. Yu. A synergetic approach to the development of the decision-making model for operational personnel of nuclear power plants in emergency situations [Sinergeticheskiy podhod k razrabotke modeli prinyatiya resheniya operativnyim personalom AES v neshtatnykh situatsiyah]. - Information processing systems, Kharkov: HUPS, No. 1 (108), 2013. P. 256–262.

3. Budanov P. F., Brovko K. Yu. The method of cluster analysis for the processing of the information space in automated simulators for the training of operational personnel of nuclear power plants [Metod klasterного analiza dlya obrabotki informatsionnogo prostranstva v avtomatizirovannykh trenazherah po podgotovke operativnogo personala AES]. - Information processing systems, Kharkov: HUPS, No. 2 (109), 2013. P. 106–111.

4. Anishchenko V. S., Astakhov S. V. Returns of Poincarev to a system with a chaotic nonstrange attractor [Vozvratyi Puankarev sisteme s haoticheskim nestrannyim attraktorom], Nelin. Dinam., 2012, v. 8, No. 1, P. 29–41.

5. Gryzlova T. P., Balykina A. O. System for evaluating the informative value of diagnostic signs and feature spaces [Sistema otsenki informativnosti diagnosticheskikh priznakov i priznakovyih prostranstv]. –Aviation and space technology and technology – 2011. – No. 9. – P. 148–154.

6. Feder E. Fractals [Fraktalyi]. Moscow: Mir, 1991. – 254 p.

7. Mandelbrot B. Fractal geometry of nature [Fraktalnaya geometriya prirodyi]. Moscow: IKI, 2002.– 656 p.

Прийнята до друку 18.10.2019 р.

Мазур Віктор Анатольевич, асистент.

Михайлова Людмила Николаевна, доцент. Подольський державний аграрно-технічний університет, Хмельницька обл., г.Камянець–Подольський.

Україна, ул. Шевченко, 13, Хмельницька обл., г. Камянець–Подольський, Україна, 32300

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЛНОВОДНОЙ СИСТЕМЫ

Приведен анализ колебательной системы со скачкообразным расширением волновода в H -плоскости и определены её параметры для шестидиодного генератора с параллельным включением диодов в общей электродинамической системе. Определен спектр колебаний собственных частот в симметричном H расширении открытого резонатора волноводного типа и условий достижения максимальной выходной мощности при сложении нескольких импульсных ЛПД в резонаторе. Исследованы их энергетические и частотные характеристики. В качестве открытого резонатора волноводного типа рассмотрено симметричное расширение прямоугольного волновода в H - плоскости. Показано, что прямоугольные волноводы со скачкообразным расширением в H -плоскости являются наиболее простыми открытыми резонаторами и могут найти практическое применение в качестве сумматоров мощностей активных элементов в сантиметровом и миллиметровом диапазоне длин волн. Предложена схема параллельного включения полупроводниковых импульсных диодов в подобные электродинамические системы, что позволяет существенно увеличить плотность упаковки диодов и улучшить отвод тепла. Анализ пространственного распределения электрического поля «рабочего» колебания позволил получать ценную информацию о расположении пучностей поля, в местах которых помещаются полупроводниковые источники, а также о фазовом портрете поля H колебания, определяющим способ включения этих источников. На основе теоретических исследований получены уравнения для расчёта основных параметров волноводного сумматора мощности импульсного генератора.

Ключевые слова: волноводный резонатор; многодиодный генератор; общая электродинамическая систем; скачкообразное расширение волновода в H -плоскости.

Мазур Віктор Анатолійович, асистент.

Михайлова Людмила Миколаївна, доцент. Подільський державний аграрно-технічний університет, Хмельницька обл., м. Кам'янець–Подільський.

Україна, вул. Шевченко, 13, Хмельницька обл., м. Кам'янець–Подільський, Україна, 32300

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ХВИЛЕВОДНОЇ СИСТЕМИ

Наведено аналіз системи, що коливається, з стрибкоподібним розширенням хвилеводу в H -плоскості та визначено параметри для шостидіодного генератора з паралельним включенням діодів у загальнодоступних електродинамічних системах. Визначено спектр колективних власних частот у симетричних розширеннях відкритого резонатора хвилеводного типу та умов досягнення максимальної вихідної потужності при стилізації декількох імпульсних ЛПД в резонаторі. Досліджено їх енергетичні та частотні характеристики. У якості відкритого резонатора волноводного типу розглянуто симетричне розширення прямокутного хвилеводу в H -плоскості. Показано, що прямокутні хвилеводи зі стрибкоподібним розширенням в H -плоскості сумматорів є найбільш простішими відкритими резонаторами та можуть знайти практичне застосування у якості сумматорів потужностей активних елементів в сантиметровому і міліметровому діапазоні довжин хвиль. Запропонована схема паралельного включення напівпровідникових імпульсних діодів у подібних електродинамічних системах, що дозволяє значно збільшити щільність упаковки діодів і покращити відвід тепла. Наведено отриману інформацію про розташування пучків поля, в яких розміщені напівпровідникові джерела, а також про фазові портрети поля колеса, що визначають можливість включення цих джерел. На основі теоретичних досліджень отримані порівняння для розрахунку основних параметрів хвилеводного сумматора потужності імпульсного генератора.

Ключові слова: хвилепровідний резонатор; багатодіодний генератор; загальна електродинамічна система; стрибкоподібне розширення хвилеводу в H -площині.

Mazur Viktor Anatoliyevich, Assistant.

Mihailova Ludmila Nikolayevna, Assistant Professor. Kamyanets-Podolskiy Agrarian and Technical University, Kamyanets-Podolskiy.

Ukraine, Shevchenko st., 13, Kamyanets-Podolskiy, Ukraine, 32300

ANALYSIS OF GENERATOR PARAMETERS ON THE BASE OF ELECTRODYNAMIC WAVE SYSTEM

The analysis of the oscillating system with the waveguide expansion in the H-plane is given and its parameters are determined for a six-diode generator with parallel inclusion of diodes in the general electrodynamic system. The spectrum of oscillations of the natural frequencies in the symmetric expansion of the open waveguide type resonator and the conditions for reaching the maximum output power with the addition of several pulsed LPD in the resonator are determined. Their energy and frequency characteristics are investigated. The symmetric expansion of a rectangular waveguide in the - plane is considered as an open resonator of the waveguide type. Rectangular waveguides with hopping in the H-plane are the simplest open resonators and can find practical applications as power adders of active elements in the centimeter and millimeter wavelengths. The scheme of parallel inclusion of semiconductor pulse diodes in such electrodynamic systems is proposed, which allows to increase significantly the packing density of diodes and to improve heat dissipation. The analysis of the spatial distribution of the electric field of the "working" oscillation allowed to obtain valuable information on the location of the field hollows in the locations of semiconductor sources, as well as on the phase portrait of the oscillation field, which determines the way of inclusion of these sources. On the basis of theoretical studies, equations were obtained to calculate the basic parameters of a waveguide power generator of a pulse generator.

Keywords: waveguide resonator; diode generator; general electrodynamic system; intermittent expansion of the waveguide H-plane.

Введение

Состояние агропромышленного комплекса Украины за последнее десятилетие характеризуется сложившейся и продолжающейся углубляться тенденцией спада производства молока, мяса и шерсти не только за счет уменьшения поголовья, но и за счет их болезней [1].

В современных условиях для лечения животных используются антибиотики, гормоны и другие химические препараты. Антибиотики и другие медикаменты, попадая в организм человека через молоко и мясо коров, угнетают иммунитет, поражают печень и другие органы, что приводит к различным заболеваниям. Поэтому немедикаментозное лечение животных является актуальной задачей [2].

Разработка немедикаментозных методов лечения животных на основе использования радиоимпульсных электромагнитных колебаний связана с исследованиями по созданию высокостабильных источников, отвечающих высоким требованиям по спектру выходных сигналов, диапазону перестройки частоты и мощности выходного сигнала [3, 4]

Из литературных источников следует, что создание малогабаритных диодных генераторов, отвечающих требованиям по мощности излучения, возможно с помощью сумматоров мощности на основе высокодобротных резонаторов [5].

В настоящее время существуют работы [6, 7], в которых рассматриваются методы расчёта коаксиальных, закрытых прямоугольных и цилиндрических резонаторов, открытых бочкообразных резонаторов, но результаты этих исследований не могут быть использованы для создания генераторов на лавинно-пролётных диодах (ЛПД), которые требуют определения числа суммируемых диодов в общей электродинамической системе резонатора с работой каждого диода в режиме максимальной мощности.

Целью данной статьи является определение спектра колебаний собственных частот в симметричном H –расширении открытого резонатора волноводного типа и условий достижения максимальной выходной мощности при сложении нескольких импульсных ЛПД в резонаторе, а также исследование их энергетических и частотных характеристик.

Изложение основного материала

В качестве открытого резонатора волноводного типа будем рассматривать симметричное расширение прямоугольного волновода в H - плоскости. Такой резонатор является открытым, поскольку он нагружен на два полубесконечных волновода, в которые возможно излучение энергии. С электродинамической точки зрения, амплитуды собственных колебаний такого резонатора, зависящие от времени по гармоническому

закону $e^{-i\omega t}$ будут уменьшаться с увеличением времени, а собственные частоты являются комплексными числами с положительной мнимой частью.

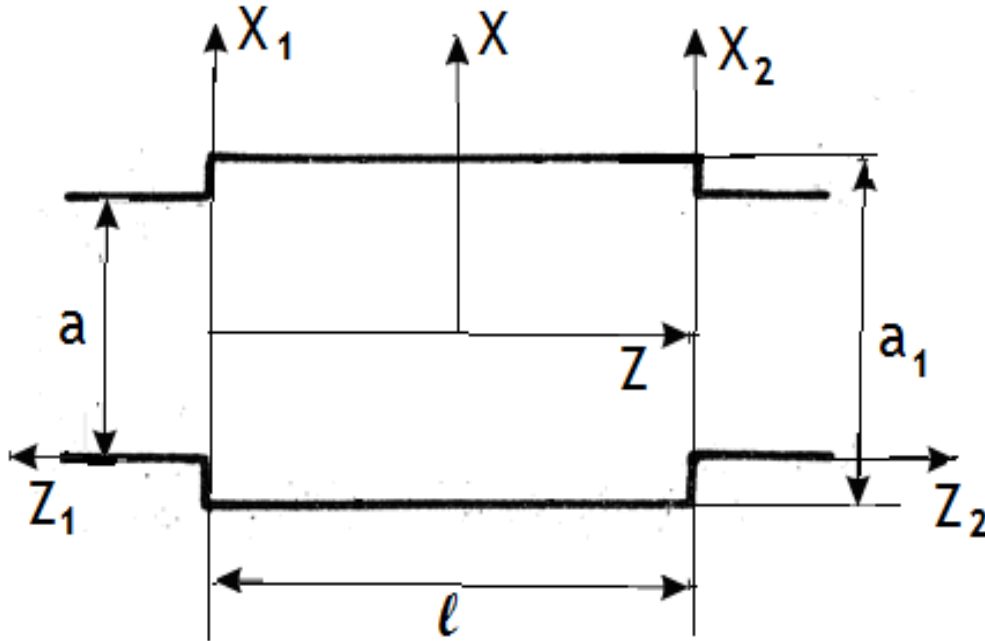


Рис. 1. Симметричное расширение прямоугольного волновода в *H*-плоскости

Электродинамическая постановка спектральной задачи о собственных частотах и колебаниях волноводного резонатора состоит в определении частоты $\omega = 2\pi f$, при которых существуют нетривиальные решения однородных уравнений Максвелла [8, 9]

$$\text{rot}\vec{E} = i\frac{\omega}{c}\vec{H}; \text{rot}\vec{H} = i\frac{\omega}{c}\vec{E}, \quad (1)$$

где $\text{rot}\vec{E}$ и $\text{rot}\vec{H}$ – удовлетворяющие граничным условиям на поверхности резонатора – равенство нулю тангенциальной составляющей напряженности электрического поля.

Напряженности электрических и магнитных полей таких колебаний имеют следующие компоненты не зависящие от координаты y :

$$\vec{E} = (0, E_y, 0), \quad \vec{H} = (H_x, 0, H_z). \quad (2)$$

В этом случае из (1) с учетом (2) имеем

$$\Delta E_y + K^2 E_y = 0, \quad (3)$$

$$H_x = -\frac{1}{iK} \frac{\partial E_y}{\partial z}, \quad H_z = \frac{1}{iK} \frac{\partial E_y}{\partial x}, \quad (4)$$

где $K = \frac{\omega}{c}$, (c – скорость света в вакууме).

Решение уравнения (3) будем искать методом частичных областей [10]. Для этого рассмотрим три области D_1 , D_2 и D :

$$\begin{aligned} D_1 &= \{(x_1, z_1): 0 \leq x_1 \leq a, z_1 \geq 0\}, \\ D_2 &= \{(x_2, z_2): 0 \leq x_2 \leq a, z_2 \geq 0\}, \\ D &= \left\{ (x, z): -\frac{a_1}{2} \leq x \leq \frac{a_1}{2}, -\frac{l}{2} \leq z \leq \frac{l}{2} \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из рис. 1 видно, что области D_1 и D_2 совпадают с полубесконечными волноводами, а область D - с открытым волноводным резонатором. В соответствии с методом частичных областей в каждой из областей D_1, D_2 и D решение уравнения (3) ищем в виде рядов по базисным функциям. Так в областях D_1 и D_2 решение представим в виде

$$\begin{aligned} E_y &= \sum_{n=1}^{\infty} R_n \sin \frac{\pi n}{a} x_1 e^{-i\Gamma_n z_1}, \quad (x_1, z_1) \in D_1, \\ E_y &= \sum_{n=1}^{\infty} T_n \sin \frac{\pi n}{a} x_2 e^{i\Gamma_n z_2}, \quad (x_2, z_2) \in D_2, \end{aligned} \quad (6)$$

а в области D

$$E_y = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi(x + a_1/2)}{a_1} (A_{1n} e^{i\Gamma_{1n} z} + A_{2n} e^{-i\Gamma_{1n} z}), \quad (x, z) \in D \quad (7)$$

где $\Gamma_{1n} = \sqrt{K^2 - \left(\frac{\pi \cdot n}{a_1}\right)^2}$.

Легко видеть, что функция (7) удовлетворяет уравнению (3). Для определения неизвестных величин R_n, T_n, A_{1n}, A_{2n} следует воспользоваться граничными условиями

$$E_y \Big|_{z=\pm l/2} = 0, \quad \text{при } \frac{a}{2} \leq x \leq \frac{a_1}{2}, \quad -\frac{a_1}{2} \leq x \leq -\frac{a}{2}, \quad (8)$$

и условиями сопряжения на общих границах областей D_1, D_2 и D . Условия сопряжения состоят в непрерывности тангенциальных компонент электрического и магнитного полей при переходе общих границ частичных областей. Используя (4) и (6), (7) получаем, что на общих границах полубесконечных волноводов и резонатора, т.е. $z = \pm l/2, -\frac{a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2}$, должны выполняться соотношения

$$\sum_{n=1}^{\infty} R_n \sin \frac{\pi n}{a} \left(x + \frac{a}{2}\right) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi n}{a_1} \left(x + \frac{a_1}{2}\right) (A_{1n} e^{-i\Gamma_{1n} l/2} + A_{2n} e^{i\Gamma_{1n} l/2}), \quad (9)$$

$$-\sum_{n=1}^{\infty} R_n \Gamma_n \sin \frac{\pi n}{a} \left(x + \frac{a}{2}\right) = \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma_{1n} \sin \frac{\pi n}{a_1} \left(x + \frac{a_1}{2}\right) (A_{1n} e^{-i\Gamma_{1n} l/2} + A_{2n} e^{i\Gamma_{1n} l/2}), \quad (10)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} T_n \sin \frac{\pi n}{a} \left(x + \frac{a}{2} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi n}{a_1} \left(x + \frac{a_1}{2} \right) (A_{1n} e^{i\Gamma_{1n} l / 2} + A_{2n} e^{-i\Gamma_{1n} l / 2}), \quad (11)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} T_n \Gamma_n \sin \frac{\pi n}{a} \left(x + \frac{a}{2} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma_{1n} \sin \frac{\pi n}{a_1} \left(x + \frac{a_1}{2} \right) (A_{1n} e^{i\Gamma_{1n} l / 2} - A_{2n} e^{-i\Gamma_{1n} l / 2}). \quad (12)$$

Кроме условий сопряжения следует потребовать выполнения граничных условий (8). Подставляя (7) в (8) имеем

$$\sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi n}{a_1} \left(x + \frac{a_1}{2} \right) (A_{1n} e^{-i\Gamma_{1n} l / 2} + A_{2n} e^{i\Gamma_{1n} l / 2}) = 0. \quad (13)$$

Эти равенства должны выполняться при $\frac{a}{2} < x < \frac{a_1}{2}$ и $-\frac{a_1}{2} < x < -\frac{a}{2}$.

В результате теоретических исследований были получены уравнения для расчёта основных параметров волноводного сумматора мощности импульсного генератора:

$$\begin{cases} 1 - 4 \sum_{p=1}^{\infty} \bar{A}_{p1} \bar{B}_{1p} \operatorname{Re} \left[\frac{i \sqrt{\kappa^2 - p^2 / 4\theta^2}}{\sqrt{\kappa^2 - 0,25}} \operatorname{ctg} \left(\sqrt{\kappa^2 - \frac{p^2}{4\theta^2}} \pi L \right) \right] = 0, \\ 1 - 4 \sum_{p=1}^{\infty} \bar{A}_{p1} \bar{B}_{1p} I_m \left[\frac{i \sqrt{\kappa^2 - p^2 / 4\theta^2}}{\sqrt{\kappa^2 - 0,25}} \operatorname{ctg} \left(\sqrt{\kappa^2 - \frac{p^2}{4\theta^2}} \pi L \right) \right] = 0, \end{cases} \quad (14)$$

где $\kappa^2 = \kappa'^2 \left(1 - \frac{i}{2Q} \right)^2$; $L = \frac{\ell}{a}$; $\theta = \frac{a_1}{a}$; $Q = \kappa' / 2\kappa''$;

$$\bar{A}_{p1} = \frac{i^{p+1}}{2\pi} \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi \cdot 1}{2\theta} - \frac{\pi \cdot p}{2} \right)}{(-1)^1 + (-1)^p} \frac{1}{1 - p\theta} - \frac{\sin \left(\frac{\pi \cdot 1}{2\theta} + \frac{\pi \cdot p}{2} \right)}{(1 - (-1)^{1+p})} \frac{1}{1 + p\theta} \right]; \quad (15)$$

$$\bar{B}_{1p} = \frac{i^{1+p}}{2\pi} \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi \cdot p\theta}{2} - \frac{\pi \cdot 1}{2} \right)}{(-1)^1 + (-1)^p} \frac{1}{p - \frac{1}{\theta}} - \frac{\sin \left(\frac{\pi \cdot p\theta}{2} + \frac{\pi \cdot 1}{2} \right)}{(1 - (-1)^{1+p})} \frac{1}{p + \frac{1}{\theta}} \right]$$

Системы уравнений (14) и (15) можно рассматривать относительно двух искомым параметров θ и L при заданных значениях нормированной частоты κ и добротности Q . Численное решение уравнений (14) и (15) проводилось методом Ньютона [10]. На рис.2 в

координатах θ, L представлены линии равных добротностей H_{203} - колебания, каждой точке которых отвечают определенные значения реальной части нормированной собственной частоты κ'_{23} . С помощью этих данных расчетов можно установить размеры волноводного резонатора, поддерживающего H_{203} - колебание с заданными добротностью Q и реальной частью частоты.

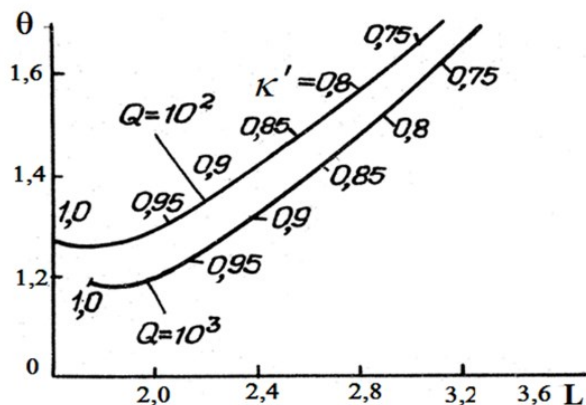


Рис.2. Зависимость $\theta(L)$ для H_{203} - колебания

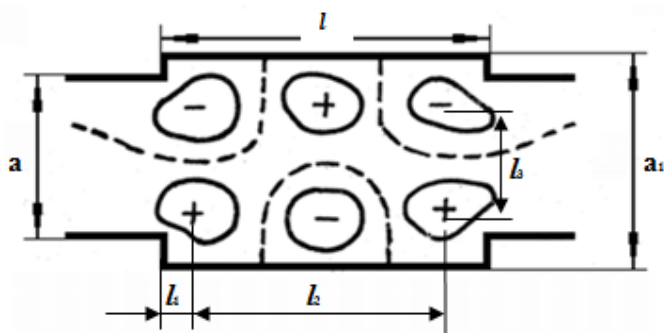


Рис. 3. Конструктивные параметры электродинамической системы шестидиодного генератора

В результате численного анализа полученных результатов были определены параметры электродинамической системы шести диодного генератора в миллиметровом диапазоне длин волн:

$$l = 23,68\text{мм}; a=7,4\text{мм}; a_1=12,36\text{мм}; b=1,7\text{мм}; l_1 = \frac{\lambda_0}{4} = 2,43\text{мм}; l_2 = \frac{\lambda_0}{2} = 4,86\text{мм};$$

$$\lambda_0 = 9,73\text{мм}; Q=10^3; f=31\text{ГГц}.$$

Выводы

Анализ пространственного распределения электрического поля «рабочего» колебания позволяет получать ценную информацию о расположении пучностей поля, в местах которых помещаются полупроводниковые источники, а также о фазовом портрете поля H_{203} - колебания, определяющим способ включения этих источников.

Список использованной литературы

1. Никитина В. Я. Ветеринарное акушерство, гинекология и биотехнология размножения [Текст] / В. Я. Никитина, М. Г. Миролюбов // М.: Колос. – 2000. – 370 с.
2. Антипов В. А. Эффективность и перспективы применения антибиотиков / В. А. Антипов // Ветеринария. – 1980. - №212. – С. 55 -57.
3. Михайлова Л. Н. Применение электромагнитного поля крайневысокой частоты для лечения животных / Л. Н. Михайлова// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. - №1. – С. 13-16.
4. Karu, T.I. Cellular effect of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide [Text] / T.I. Karu, L.V. Pyatibrat, N.I. Afanasyeva // Lasers in Surgery and Medicine. – 2005. - № 36(4). – P. 307-314. – Available at: \www/URL: doi:10.1002/Ism.20148m.
5. Михайлова Л. Н. Определение параметров электродинамической системы многодиодного генератора крайневысокоочастотного диапазона / Л. Н. Михайлова // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях. - 2011.-№54.-С.138-141.
6. Козак А.В. Анализ энергетических характеристик многодиодного генератора на лавинно-пролётных диодах[Текст]/ Козак А.В., А.В. Архипов // Вестник национального технического университета "ХПИ". Сборник научных работ. Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. - 2011- №48-С.105-110.
7. Касаткин Л. Твердотельные импульсные генераторы на ЛПД миллиметрового диапазона волн / Касаткин Л. // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ.- 1996.- Вып.2- С.41-47.
8. Рудь Л.А. Свободные колебания H – плоскостного волноводного T – тройника [Текст]/Л.А. Рудь // Радиотехника и электроника. – 1988. – 33, №10. – С.2034-2042.
9. Шестопапов В.П. Спектральная теория и возбуждение открытых структур[Текст]/ В.П. Шестопапов. – Киев: Наук. думка, 1987.- 288 с.
10. Канторович Л.В. Функциональный анализ[Текст]/ Л.В.Канторович, Г.П. Акимов. – М.: Наука, 1977. - 742 с.

References

1. Nikitina V.Y. Veterinary obstetrics, gynecology and reproductive biotechnology [Text] / V. Y. Nikitin, M.G. Mirolubov // M.: Kolos. – 2000. – 370 p.
2. Antipov V.A. Effectiveness and prospects for the use of antibiotics [] / V.A. Antipov // Veterinary Medicine. – 1980. – № 212. – P. 55 -57.
3. Mikhailova L.N. Application high frequency electromagnetic field in the treatment of animals [Text] / L.N. Mikhailova // Eastern European Journal of advanced technologies. - 2012. - №1. - P. 13-16.
4. Karu, T.I. Cellular effect of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide [Text] / T.I. Karu, L.V. Pyatibrat, N.I. Afanasyeva // Lasers in Surgery and Medicine. – 2005. - № 36(4). – P. 307-314. – Available at: \www/URL: doi:10.1002/Ism.20148m.
5. Mikhailova L.N. Calculation of parameters of the electrodynamic system of high frequency diode generator / L.N. Mikhailova // Journal of the National Technical University “KPI”. New solutions in modern technologies. – 2011. – №54. – P.138-141.
6. Kozak A.V. Analysis of energy characteristics of avalanche transit time diodes generator / A.V. Kozak, A.V. Arkhipov // Journal of National Technical University “KPI”. Collection of scientific works. Problems of improvement of electrical machinery and apparatus. –2011– №48 – P.105-110.
7. Kasatkin L. Solid pulse IMPATT millimeter wave generators. / L. Kasatkin // Electronic equipment. Series 1. Microwave Electronics – 1996. – Issue 2 – P.41-47.
8. L.A. Rud. Free oscillations of H -plane waveguide tee [Text] / L.A. Rud // Technology and Electronics. – 1988 – 33, №10. – P. 2034-2042.
9. V.P. Shestopalov. The spectral theory and excitation of open structures [Text] / V.P. Shestopalov. // Kiev, – Scientific Thought, 1987.- 288 p.
10. L. V. Kantorovich. Functional analysis [Text] / L. V. Kantorovich, G. P. Akimov. – M.: Nauka, 1977. – 742 p.

Прийнята до друку 22. 10. 2019 р.

Черенков Александр Данилович, д-р техн. наук, профессор.

Тел. (063) 416 54 08. E-mail: sm261245@gmail.com

Косулина Наталья Геннадьевна, д-р техн. наук, профессор. Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина.

Ул. Алчевских, 44, г. Харьков, Украина, 61002

АНАЛИЗ МЕТОДА СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА

В статье представлены результаты теоретического анализа параметров синхронизирующего диодного генератора, частота которого стабилизирована высокооборотным цилиндрическим резонатором проходного типа. В качестве источника синхронизирующего сигнала использован генератор на ЛПД, со стабилизирующим по частоте высокооборотным объемным резонатором проходного типа. Стабилизация частоты в генераторе на безкорпусном лавинно-пролётном диоде осуществляется высокооборотным цилиндрическим объемным резонатором проходного типа. В результате теоретического анализа в статье на основе эквивалентной схемы установлены параметры бескорпусного диода, определены величина связи высокооборотного цилиндрического резонатора с волноводной системой генератора и её конструктивные параметры. Доказано, что получение относительной неустойчивости частоты генератора в пределах 10^{-6} - 10^{-7} степени возможно с синхронизацией частоты сумматора мощности сигналом внешнего высокостабильного генератора, у которого для стабильности частоты используется цилиндрический резонатор проходного типа на волне типа TE_{011} с параметрами: $R=32\text{мм}$, $h=7,5\text{мм}$.

Ключевые слова: радиоимпульсный генератор; относительная неустойчивость частоты; диодные генераторы; стабилизирующий высокооборотный объемный резонатор проходного типа.

Черенков Олександр Данилович, д-р техн. наук, профессор. Тел. (063) 416 54 08.

E-mail: sm261245@gmail.com

Косулїна Наталїя Геннадїївна, д-р техн. наук, профессор.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, м. Харків, Україна, вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002

АНАЛІЗ МЕТОДА СТАБІЛІЗАЦІЇ ЧАСТОТИ ДІОДНОГО ГЕНЕРАТОРА

У статті представлені результати теоретичного аналізу параметрів синхронізуючого діодного генератора, частота якого стабілізована високооборотнім циліндричним резонатором прохідного типу. Як джерело синхронізуючого сигналу використаний генератор на ЛПД, із стабілізуючим по частоті високооборотнім об'ємним резонатором прохідного типу. Стабілізація частоти в генераторі на безкорпусній лавинно-пролітній діод здійснюється високооборотнім циліндричним об'ємним резонатором прохідного типу. В результаті теоретичного аналізу в статті на основі еквівалентної схеми встановлені параметри бескорпусного діода, визначені величина зв'язку високооборотного циліндричного резонатора з хвилеводною системою генератора і її конструктивні параметри. Доведено, що отримання відносної неустойчивості частоти генератора в межах 10^{-6} - 10^{-7} ступеня можливо з синхронізацією частоти суматора потужності сигналом зовнішнього високостабильного генератора, у якого для стабильності частоти використовується циліндричний резонатор прохідного типу на хвилі типу TE_{011} з параметрами: $R = 32\text{мм}$, $h = 7,5\text{мм}$.

Ключові слова: радіоімпульсний генератор; відносна неустойчивість частоти; діодні генератори; стабілізуючий високооборотний об'ємний резонатор прохідного типу.

Cherenkov Aleksandr Danilovich, D-r Sci. Eng., Prof.. Tel. (063) 416 54 08; E-mail: sm261245@gmail.com

Kosulina Nataliya Gennadiyevna, D-r Sci. Eng., Prof..

Kharkov national technical university of agriculture of the name of Peter Vasilenko, Kharkov, Ukraine, Alchevskikh st., 44, Kharkov, Ukraine, 61002

ANALYSIS OF THE DIODE GENERATOR FREQUENCY STABILIZATION METHOD

This article presents the results of a theoretical analysis of the parameters of a synchronizing diode oscillator, the frequency of which is stabilized by a high-quality cylindrical resonator of passage type. An LPD generator with a frequency-stabilizing high-Q pass-through cavity resonator in frequency was used as a source of a synchronizing signal. Frequency stabilization in a generator on a caseless avalanche-span diode is carried out by a high-quality cylindrical pass-through cavity resonator. As a result of a theoretical analysis, the parameters of the open-frame diode are established on the basis of an equivalent circuit, the coupling value of a high-quality cylindrical resonator with the waveguide system of the generator and its design parameters are determined. It is proved that obtaining relative frequency instability of the generator frequency within the range of 10^{-6} - 10^{-7} degrees is possible by synchronizing the frequency of the power adder with a signal from an external highly stable generator, for which

frequency-stability a cylindrical resonator of the through type on a wave of type TE₀₁₁ with parameters is used: $R = 32\text{mm}$, $h = 7.5\text{mm}$.

Keywords: *radiopulse generator; relative frequency instability; diode generators; stabilizing high-quality transmission type resonator.*

Введение

Научные и практические исследования последних лет показывают, что альтернативой химическому методу защиты растений от насекомых- вредителей может быть метод на основе экологически безопасной и эффективной импульсной электромагнитной технологии. Угнетение насекомых - вредителей растений радиоимпульсным ЭМИ связано не только с процессом высокой скорости нарастания температуры в объекте, но и с информационным действием ЭМП на мембраны клеток насекомых. Практические результаты показывают, что при определенных параметрах импульсного ЭМП (частота следования импульсов, скважность, мощность, частота заполнения импульсов, экспозиция) может происходить разрушение клеточных мембран и гибель насекомых [1]. Из литературного анализ следует, что применение информационных электромагнитных излучений в растениеводстве, для уничтожения вредных - насекомых, возможно с созданием импульсных диодных, высокостабильных по частоте, генераторов [2]. Решение данной задачи возможно на основе суммированием мощностей отдельных диодов в общей электродинамической системе, работающих на применении режима внешней синхронизации генератором, стабилизированного по частоте высокочастотным объемным резонатором проходного или отражающего типа [3]. Из литературных источников следует, что создание таких генераторов является сложной научно- технической задачей [4].

Проведенный анализ показал, что импульсное электромагнитное поле является наиболее эффективным средством для борьбы с вредителями-насекомыми растений [5]. Получение необходимых уровней мощности в диодных генераторах возможно на основе суммирования мощностей [6]. Требования по когерентности и стабильности амплитудно-фазовых параметров в сумматорах может быть реализовано в режиме внешней синхронизации (или пассивного усиления) высокостабильным по частоте непрерывным сигналом. В качестве источника высокостабильного сигнала может быть использован диодный генератор, стабилизированный по частоте высокочастотным объемным или диэлектрическим резонатором [7]. В работе [8] рассматривается использование в сумматоре мощности стабилизации частоты за счёт внешней синхронизации непрерывным сигналом, но расчёта параметров синхронизирующего генератора не приведены. Не приведен теоретический анализ параметров синхронизирующего генератора и в работе для лечения животных [9]. В работах [7] также недостаточно уделено внимание теории анализа синхронизирующего генератора, частота которого стабилизирована высокочастотным резонатором. Таким образом, исследования и разработка радиоимпульсных электронных систем с внешней синхронизацией частоты для уничтожения личинок насекомых- вредителей растений является, несомненно, актуальной задачей.

Цель статьи

Теоретический анализ параметров синхронизирующего диодного генератора, частота которого стабилизирована высокочастотным цилиндрическим резонатором проходного типа.

Изложение основного материала

В качестве источника синхронизирующего сигнала используем генератор на ЛПД, со стабилизирующим по частоте высокочастотным объемным резонатором проходного типа

(рис. 1). Стабилизирующий генератор выполнен в виде волноводно-штыревой конструкции сечением $11 \times 4 \text{ мм}^2$. Диод ЛПД крепится в волноводе с использованием металлического круглого стержня 2, ось которого параллельна вектору ЭП (в прямоугольном волноводе распространяется волна H_{10}). Для предотвращения возможных паразитных колебаний вне диапазона перестройки в цепь питания диода включена поглощающая нагрузка 3. В качестве внешнего стабилизирующего резонатора используется цилиндрический резонатор 5, работающий на TE_{011} типе колебаний и включенной по схеме «на проход». Связь резонатора с волноводной конструкцией осуществляется через отверстия связи 4.

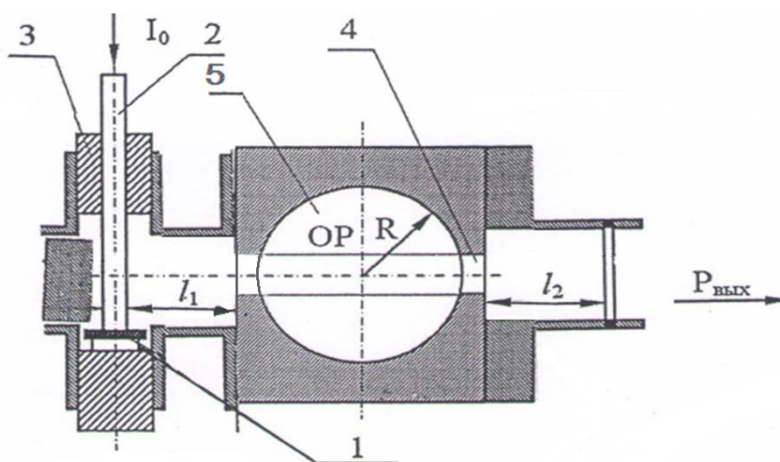


Рис.1. Эскиз конструкции генератора со стабилизирующим объемным резонатором

Перестройка частоты резонатора осуществляется бесконтактным поршнем. На рис. 2 приведена эквивалентная схема синхронизирующего ГЛПД.

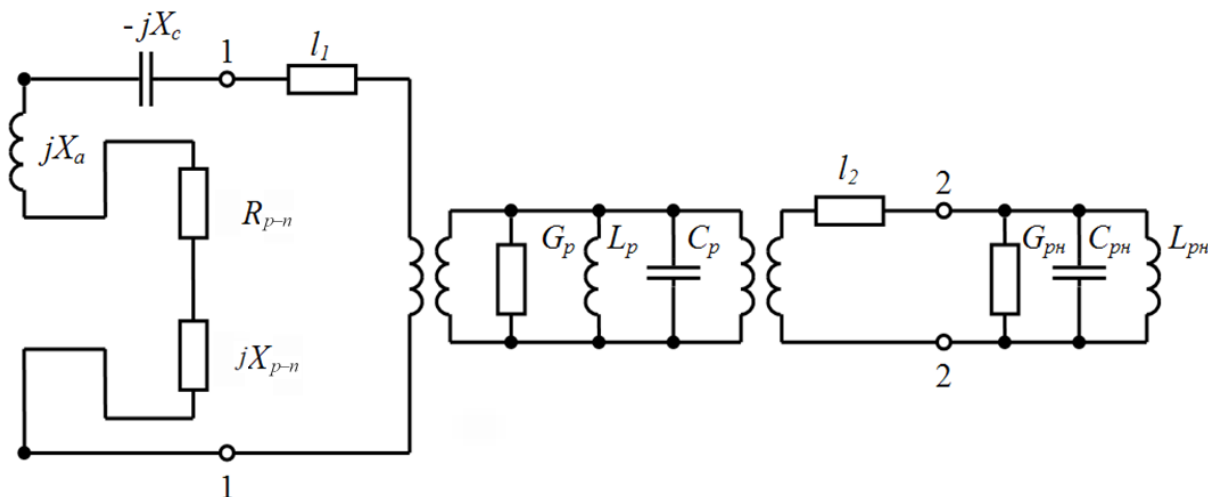


Рис.2. Эквивалентная схема генератора с внешним стабилизирующим резонатором

В эквивалентной схеме (рис. 2) металлический стержень для крепления диода заменён Т-образной эквивалентной схемой. Эквивалентные параметры стержня представлены реактивностями jX_a , и $-jX_c$, которые определяются размерами стержня и размерами волновода. ЛПД генератора представлен элементами R_{p-n} и X_{p-n} , величина которых определяется расчётным путём. Внешний стабилизирующий резонатор 1 характеризуется элементами L_p , C_p , G_p . Расстояние от оси токопроводящего штыря до плоскости отверстия связи учтено отрезком длиной линии l_1 . Перестройка частоты стабилизирующего

резонатора осуществляется бесконтактным поршнем. Сумматором мощности является резонансная многодиодная электродинамическая система, характеризующая элементами $L_{рн}$, $C_{рн}$, $G_{рн}$. В случае, когда все диоды включены в пучность ЭП суммирующего резонатора, то коэффициент трансформации можно считать равным единице. Расстояние от отверстия связи резонатора до плоскости нагрузки учтено отрезком длиной линии l_2 . Эквивалентные параметры стержня были определены из выражений [10]:

$$\frac{X_a}{Z_0} - \frac{X_c}{2Z_0} = \frac{a}{2\lambda_g} \left[S_0 - \left(\frac{\pi d}{2\lambda} \right)^2 - \frac{5}{8} \left(\frac{\pi d}{2\lambda} \right)^4 - 2 \left(\frac{\pi d}{2\lambda} \right)^4 \left(S_2 - 2S_0 \frac{\lambda^2}{\lambda_g^2} \right)^2 \right], \quad (1)$$

$$\frac{X_c}{Z_0} \approx \frac{a}{\lambda_g} \frac{\left(\frac{\pi d}{a} \right)^2}{1 + \frac{11}{24} \left(\frac{\pi d}{a} \right)^2}; \quad (2)$$

$$S_0 = \ln \frac{4a}{\pi d} - 2 + 2 \sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{n^2 - \left(\frac{2a}{\lambda} \right)^2}} - \frac{1}{n} \right]; \quad (3)$$

$$S_2 = \ln \frac{4a}{\pi d} - \frac{5}{2} + \frac{11}{3} \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2 - \left(\frac{\lambda}{a} \right)^2 \sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \left[\sqrt{n^2 - \left(\frac{2a}{\lambda} \right)^2} - n + \frac{2}{n} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^2 \right]; \quad (4)$$

$$Z_0 = \frac{b}{a} \frac{120\pi}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} - \text{характеристическое сопротивление волновода};$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}} - \text{длина волны в волноводе}; \quad \lambda = \frac{c}{f} - \text{длина волны в свободном}$$

пространстве; $\lambda_{кр} = 2a$; $a = 11\text{мм}$; $b = 4\text{мм}$; $d = 0,5\text{ мм}$; $\lambda = 15\text{мм}$; $Z_0 = 185\text{ Ом}$; $\lambda_g = 20,4\text{ мм}$; $X_a = 68,4\text{ Ом}$; $X_c = 1,85\text{ Ом}$. Для определения параметров стабилизирующего резонатора были использованы выражения [11]:

$$L_p = \frac{\mu_0 h}{4\pi}, \quad (5)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}\text{ Гн/см}$; h – высота резонатора.

$$C_p = \varepsilon_0 \frac{R^2}{(\mu_{ni})^2 h}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-14}\text{ ф/см}$; $\mu_{ni} = 3,832$ – корень функции Бесселя для волны H_{011} ; R - радиус цилиндрического резонатора.

$$Q_p = \frac{1}{\chi} \frac{R}{\left(1 + \frac{R}{h}\right)}, \quad (7)$$

где Q_p – добротность резонатора; $\chi = \sqrt{\frac{2}{\omega_0 \cdot \mu_0 \cdot \sigma}}$; $\sigma = 15,8 \cdot 10^6 \text{ 1/Ом} \cdot \text{м}$ – удельная проводимость латуни.

$$G = \frac{\omega_0 \cdot C_p}{Q_p}, \quad (8)$$

где G – сосредоточенная активная проводимость резонатора [11].

Проведенные расчёты показали, что для резонатора с размерами $R=32\text{мм}$, $h=7,5\text{мм}$, величина параметров резонатора равна: $C_p = 0,0845 \text{ пФ}$,

$$L_p = 7,5 \text{ нГн}, Q_p=5400, G_p=0,235 \cdot 10^{-5} \text{ См.}$$

Так как резонатор предназначен для стабилизации частоты генератора, то в рассматриваемом случае связь между резонатором и волноводной линией l_1 осуществляется щелью диаметром δ (рис.1) в бесконечно тонкой стенке. Элемент связи представляет собой шунтирующую индуктивность для волноводной системы генератора, относительная проводимость которой определяется выражением [12]:

$$\frac{B_u}{Y'_0} = \frac{\lambda}{\pi R} \cdot \frac{(4\pi \cdot R)^2}{\delta^2}, \quad (9)$$

где $Y'_0 = \frac{1}{Z_0} \cdot \frac{\lambda_g}{\lambda} \cdot \frac{a}{4\pi R}$; a - ширина волноводной системы; δ -диаметр элемента связи.

С учётом того, что при резонансе реактивная проводимость резонатора равна нулю, то величина активной проводимости резонатора G' на частоте ω_0 , пересчитанная на конец волноводной линии l_1 , будет определяться из уравнения [12]:

$$G' = G \cdot \frac{Q_p}{Q_{вн}}, \quad (10)$$

где $Q_{вн}$ - внешняя добротность резонатора.

Численный анализ определил, что для $\frac{Q_{вн}}{Q_p} = 0,5$ и $\delta = 2 \text{ мм}^2$, $B_\delta = 1,24 \text{ См}$,

$G' = 0,47 \cdot 10^{-5} \text{ См}$, а сопротивление нагрузки на конце линии l_1 будет равно:

$$\frac{1}{G' - jB_\delta} = \dot{a}_1 + jb_1 = (0,3 \cdot 10^{-5} + j0,81) \text{ Ом.}$$

При реализуемом на практике предположении о малости потерь в высокочастотной цепи определим сопротивление нагрузки волновода слева и справа от проходного резонатора. Слева со стороны резонатора сопротивление нагрузки волновода определяется выражением [12]:

$$Z_{дсл} = \frac{a_1(1 + tg\beta l_1) + j[b_1 + (Z_0 - \frac{b_1^2}{Z_0} - \frac{a_1^2}{Z_0})tg\beta l_1 - b_1 tg^2 \beta l_1]}{1 - (2b_1 / Z_0)tg\beta l_1 + (1 / Z_0^2)(b_1 + a_1)tg^2 \beta l_1}, \quad (11)$$

где $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}$.

На основании эквивалентной схемы (рис.3.4) сопротивление в плоскости диода будет определяться из уравнения:

$$Z_d = R_{p-n} + j(-X_{p-n} + X_a - X_c). \quad (12)$$

Справа со стороны резонатора нагрузка волновода определяется выражением:

$$Z_{ex2} = Z_0 \frac{\frac{Z_0}{Z_2} + j(\frac{Z_0^2}{Z_2} - 1) \cos \beta l_2 \cdot \sin \beta l_2}{\frac{Z_0^2}{Z_2^2} \cos^2 \beta l_2 + \sin \beta l_2} \quad (13)$$

где $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}$.

Поскольку нагрузкой волноводной линии с права от резонатора является электродинамическая система с шестью диодами, то нагрузка, создаваемая системой будет определяться выражением

$$Z_2 = -R'_d / 6, \quad (14)$$

где R'_d – активное сопротивление корпускулярного диода 3А762.

Приравнивая действительные и мнимые части (11-14), получаем систему двух уравнений относительно неизвестных l_1 и l_2 :

$$\frac{a_1(1 + tg\beta l_1)}{1 - (2b_1 / Z_0)tg\beta l_1 + 1 / Z_0^2 (b_1 + a_1)tg^2 \beta l_1} = -R_{p-n}; \quad (15)$$

$$\frac{b_1 + (Z_0 - \frac{b_1^2}{Z_0} - \frac{a_1^2}{Z_0})tg\beta l_1 - b_1 tg^2 \beta l_1}{1 - (2b_1 / Z_0)tg\beta l_1 + 1 / Z_0^2 (b_1 + a_1)tg^2 \beta l_1} = (-X_{p-n} + X_a - X_c); \quad (16)$$

$$Z_0 \frac{\frac{Z_0}{Z_2}}{\frac{Z_0^2}{Z_2^2} \cos^2 \beta l_2 + \sin \beta l_2} = a_1 \quad (17)$$

$$Z_0 \frac{\left(\frac{Z_0^2}{Z_2} - 1\right) \cos \beta l_2 \cdot \sin \beta l_2}{\frac{Z_0^2}{Z_2^2} \cos^2 \beta l_2 + \sin \beta l_2} = b_1 \quad (18)$$

В результате решений системы уравнений (15-18) были получены величины длин волноводных отрезков (рис.3.13) $l_1 = 0,4\text{см}$ и $l_2 = 13\text{мм}$.

Относительная нестабильность частоты генератора определялась из соотношения [4]

$$\frac{\omega_p - \omega_z}{\omega_z} = \frac{\Delta \omega}{\omega_z}, \quad (19)$$

где ω_z – частота генерации; ω_p – частота резонатора.

Частота генерации определялась из уравнения (16), приравнявая нулю реактивную составляющую генератора. Численный анализ определил величину частоты генератора в пределах $\omega_z = 125,6638 \cdot 10^9$ рад. Учитывая, что круговая резонансная частота резонатора равна $125,664 \cdot 10^9$ рад, относительная нестабильность частоты генератора составила $1,6 \cdot 10^{-6}$.

Выводы

Получение относительной нестабильности частоты генератора в пределах 10^{-6} - 10^{-7} степени возможно с синхронизацией частоты сумматора мощности сигналом внешнего высокостабильного генератора, у которого для стабильности частоты используется цилиндрический резонатор проходного типа на волне типа TE_{011} с параметрами: $R=32\text{мм}$, $h=7,5\text{мм}$, величина параметров резонатора равна: $C_p = 0,0845\text{пФ}$, $L_p = 7,5\text{нГн}$, $Q_p=5400$, $G_p=0,235 \cdot 10^{-5}\text{См}$; диаметр элемента связи резонатора с волноводной системой 2мм.

Список использованной литературы

1. Козак А.В. Анализ энергетических характеристик многодиодного генератора на лавинно-пролётных диодах[Текст] / Козак А. В., А. В. Архипов // Вестник национального технического университета "ХПИ". Сборник научных работ. Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. - 2011. - №48 - С.105-110.
2. Клейман А. С. Некоторые вопросы создания и применения широкодиапазонных КВЧ источников колебаний[Текст] / [Клейман Л. С., Кравченко П. А., Кучин Л. Ф. и др.] – Харьков: Украинский метрологический журнал, 1999. – № 2. – С. 20 – 23.
3. Касаткин Л. В. Стабилизация СВЧ-параметров стационарного синхронного режима импульсных генераторов на ЛПД. Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника[Текст]. -2001.- Том 44, №3.- С. 18-25.
4. Зырин С. С. Стабильность частоты и выходная мощность пролётного автогенератора с колебательной системой произвольного типа[Текст]/С.С.Зырин//Электронная техника,серия «Электроника СВЧ».-1970.-Вып.10.- С.30-42.
5. Дубик В. Н. Защита плодовых культур от насекомых-вредителей/В.Н. Дубик// Вестник Национального технического университета «ХПИ».-2011.-№12.-С.121-129.
6. Коцержинский Б.А. Импульсные генераторы миллиметрового диапазона волн на лавинно-пролетных диодах / Б.А. Коцержинский, В.П. Тараненко, В.А. Трапезон // Известия вузов СССР, 1982. – Т. XX, №10. – С.56-64.
7. Горбачев А.В., Касаткин Л.В. Каскадное суммирование мощностей ЛПД в режиме внешней синхронизации/ Касаткин Л.В. // Электронная техника. – 1982.- Вып.10.- С. 22-27.

8. Михайлова Л. Н. Определение параметров электродинамической системы многодиодного генератора крайневисокочастотного диапазона[Текст] / Л. Н. Михайлова // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях.- 2011.-№54.-С.138-141.
9. Михайлова Л. Н. Применение электромагнитного поля крайневисокой частоты для лечения животных[Текст] / Л. Н. Михайлова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2012. - №1/9(55). - С.13-16.
10. Коваленко В.Ф. Введение в электронику сверхвысоких частот/В.Ф. Кова-ленко.-М.:Сов. Радио,1955.-344с.
11. Крылов Н.Н. Теоретические основы радиотехники[Текст]/Н.Н. Крылов.-М.: «Морской транспорт»,1961.-416с.
12. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ[Текст]/И.В. Лебедев.-М.: «Высш. школа»,1970.-440с.

Referenses

1. Kozak A. V. Analysis of energy characteristics of avalanche transit time diodes generator [Text] / A. V. Kozak, A. V. Arkhipov // Journal of National Technical University "KPI". Collection of scientific works. Problems of improvement of electrical machinery and apparatus. –2011– № 48 – P. 105–110.
2. Kleiman A. S. Questions of creation and application of wide-range UHF oscillation sources [Text] / [Kleiman A. S., Kravchenko P. A., Kuchin L.F.] – Kharkiv: Ukrainian Journal of Metrology, 1999. – № 2. – P. 20–23.
3. Kasatkin L. Stabilization of microwave parameters of stationary synchronous mode of pulse generators in the LPD. Radio Electronics [text]. – 2001. – Т. 44, № 3. – P. 18–25.
4. Zyrin S. S. The frequency stability and output power of oscillator with an oscillating system of any type [Text] /S.S.Zyrin// Electronic devices, series of "Microwave Electronics" . – 1970. —Iss.10. – P. 30–42.
5. Dubik V. N. Protection of fruit plants from pests [Text] /V. N. Dubik // Jouranl of the National Technical University "KPI". – 2011. – № 12. – P. 121–129.
6. Kotserzhinsky B. A. Pulse millimeter wave generators on avalanche-transit diodes / B. A. Kotserzhinsky, V. P. Taranenko, V. A. Trapezon // News of the universities of the USSR, 1982. – Т. XX, №10. – P. 56–64.
7. Gorbachev A. V., Kasatkin L.V. Cascading power addition of LPD in external synchronization mode / A. V. Gorbachev, L. V. Kasatkin // Electronic equipment. –1982. – Iss.10. – P. 22–27.
8. Mikhailova L. N. Calculation of parameters of the electrodynamic system of ultra-high frequency diode generator [Text] / L. N. Mikhailova // Journal of the National Technical University "KPI". New solutions in modern technologies. – 2011. – №54. – P.138–141.
9. Mikhailova L. N. Application high frequency electromagnetic field in the treatment of animals [Text] / L. N. Mikhailova // Eastern European Journal of advanced technologies. – 2012. – №1. – P. 13–16.
10. Kovalenko V. F. Introduction to Electronics of ultra-high frequency / V. F. Kova lenko. – М., Sov. Radio, 1955. – 344 p.
11. Krylov N. N. Theoretical Fundamentals of Radiotechnics [Text] / N. N. Krylov. – М.: "Morskoy transport", 1961. – 416 p.
12. Lebedev I. V., Microwave Technics and Devices [Text] /Y. V. Lebedev. – М.: "Vush. Shkola", 1970. – 440 s.

Прийнята до друку 10.10. 2019 р.

Бобух Анатолій Олексійович, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net

Переверзева Алевтина Миколаївна, аспірант кафедри автоматизації технологічних систем і екологічного моніторингу.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. Вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002. Тел. +38-068-867-30-09. E - mail: pereverzieva_alya@ukr.net

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ ГАЗІВ ІЗ РОЗЧИНІВ ВИРОБНИЦТВА КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ

У статті розглянуті теоретичні підстави для розробки математичної моделі регенерації газів із розчинів виробництва кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС) та алгоритми математичної статистики для розробки цієї моделі за одним із методів регресійного аналізу. В результаті розрахунків отримано багатопараметричну математичну модель. Для перевірки гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі (стаціонарності процесу), при одній серії досліджень та 300 дослідженнями в ній, розраховане значення критерія Фішера (Fрозр.). Аналіз значень критерія Фішера показує, що умова Fрозр. > Fтабл. виконується, а тому отримана багатопараметрична математична модель адекватна експериментальним даним. Доведено, що взаємозв'язок поміж залежним та незалежними параметрами не є випадковим. Наведено розраховані значення t-критеріїв Стьюдента для параметрів розробленої математичної моделі. Аналіз отриманих розрахованих значень t-критеріїв Стьюдента для трьох параметрів математичної моделі показує, що всі вони більші за табличний t-критерій Стьюдента, а тому значимі в отриманій математичній моделі та характеризують ранжування відповідних параметрів за величиною їх впливу на цю модель в цілому. Отримана математична модель може бути використана для розробки комп'ютерно-інтегрованої технології регенерації газів із розчинів ВКС на базі сучасних мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню та підвищенню енергозбереження в цілому ВКС.

Ключові слова: математична модель; метод найменших квадратів; пасивний експеримент; комп'ютерно-інтегрована технологія; статистичний критерій злагоди.

Бобух Анатолій Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизации технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net

Переверзева Алевтина Николаевна, аспирант кафедры автоматизации технологических систем и экологического мониторинга.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. Ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002. Тел. +38-068-867-30-09. E - mail: pereverzieva_alya@ukr.net

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ ГАЗОВ ИЗ РАСТВОРОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

В статье рассмотрены теоретические основы регенерации газов из растворов производства кальцинированной соды аммиачным способом (ВКС) и алгоритмы математической статистики для разработки этой модели по одному из методов регрессионного анализа. В результате расчетов получено многопараметрическую математическую модель. Для проверки гипотезы об адекватности полученной математической модели (стационарности процесса), при одной серии исследований и 300 исследованиями в ней, рассчитано значение критерия Фишера (Fрозр.). Проведен анализ значений критерия Фишера, который показал, что условие Fрозр. > Fтабл. выполняется, поэтому полученная многопараметрическая математическая модель адекватна экспериментальным данным. Доказано, что взаимосвязь между зависимым и независимым параметрам не является случайной. Приведены рассчитанные значения t-критериев Стьюдента для параметров разработанной математической модели. Анализ полученных рассчитанных значений t-критериев Стьюдента для трех параметров математической модели показывает, что все они крупнее табличных значений t-критерия Стьюдента, а потому значимые в полученной математической модели и характеризуют ранжирование соответствующих параметров по величине их влияния на эту модель в целом. Обосновано, что полученная математическая модель может быть использована для разработки компьютерно-интегрированной технологии регенерации газов из растворов ВКС на базе современных микропроцессорных контроллеров, что будет способствовать эффективному функционированию и энергосбережению ВКС в целом.

Ключевые слова: математическая модель; метод наименьших квадратов; пассивный эксперимент; компьютерно-интегрированная технология; статистический критерий согласия.

Bobukh Anatoly Alekseevich, Ph.D., associate professor, professor of department of automation of the technological systems and ecological monitoring. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net

Pereverzieva Alevtyna Mykolayivna, post-graduate student of department of automation of the technological systems and ecological monitoring.

The National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine. Str. Kirpicheva, 2, Kharkov, Ukraine, 61002. Tel. + 38-068-867-30-09. E - mail: pereverzieva_alya@ukr.net

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE GASES REGENERATION TECHNOLOGY FROM CALCIUM SODA PRODUCTION SOLUTIONS

*The theoretical bases of gas regeneration from solutions of calcined soda production by ammonia (HCV) and algorithms of mathematical statistics for the development of model by one of the methods of regression analysis are considered in the article. As a result of the calculations, a multi-parameter mathematical model was obtained. To test the hypothesis about the adequacy of the obtained mathematical model (stationarity of the process), for one series of studies and 300 studies in it, the value of the Fisher criterion (Frazr.) Was calculated. The values of Fisher's criterion were analyzed, which showed that the condition $F_{\text{razr.}} > F_t$. Therefore, the obtained multivariable mathematical model is adequate to the experimental data. It is proved that the relationship between dependent and independent parameters is not accidental. The calculated values of Student's *t*-criteria for the parameters of the developed mathematical model are given. Analysis of the obtained calculated Student's *t*-test values for the three parameters of the mathematical model shows that they are all larger than the Student's *t*-test values, and therefore significant in the obtained mathematical model and characterize the ranking of the corresponding parameters by the magnitude of their influence on this model as a whole. It is substantiated that the obtained mathematical model can be used for the development of computer-integrated technology of gas regeneration from HCV solutions based on modern microprocessor controllers, which will contribute to the effective functioning and energy saving of HCV as a whole.*

Keywords: *mathematical model; least squares method; passive experiment; computer-integrated technology; statistical criterion of consent.*

Вступ

Для розробки комп'ютерно-інтегрованих технологій хімічних виробництв перешкодами є відсутність або недостовірність існуючих математичних моделей. Таким виробництвом є виробництво кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС). Хіміко-технологічні процеси виробництва відносяться до класу технологій, у яких технологічні процеси переробки сировини, яка знаходиться у неперервному контакті з апаратами різного технологічного призначення, змінюють свої хімічні склади [1, 2]. До складу ВКС входять основні та допоміжні технології, серед яких дуже важливе місце належить технологічним процесам технології регенерації газів із розчинів ВКС. Саме для цієї технології буде розроблена математична модель за методом найменших квадратів [3–7].

Мета роботи

Розглянуті теоретичні підстави розробки математичної моделі регенерації газів із розчинів виробництва кальцинованої соди за аміачним способом та алгоритми математичної статистики для розробки цієї моделі за одним із методів регресійного аналізу.

Основна частина

Основним призначенням технології регенерації газів із розчинів ВКС є практично повна регенерація аміаку та вуглекислого газу із фільтрової рідини і конденсатів, формування безперервного матеріального потоку парогазової суміші, що спрямовується на технологію насичення газами очищеного розсолу ВКС. Технологія регенерації газів із розчинів ВКС складається: з конденсатора-холодильника газу дистиляції (КХДС), теплообмінника дистиляції (ТДС), дистилера (ДС), змішувача (реактора з мішалкою) (ЗМ), випарників і пароструйного ежектора [1].

Для розробки математичних моделей необхідна обробка масива даних, отриманих при проведенні пасивного експерименту, при цьому використовуються методи регресійного аналізу: найменших квадратів, множинної регресії, кореляційного авналізу тощо. Серед них найбільш часто використовується метод найменших квадратів для отримання детермінованої математичної моделі.

При застосуванні методу найменших квадратів (МНК) використовуються прості багатопараметричні регресійні моделі, які описуються рівнянням [3–7]:

$$Y_j = \sum_{i=1}^k a_i X_i + b_j, \quad (1)$$

де Y_j – залежні (управляемі) параметри, $j = \overline{1, m}$, при цьому $m < k$;

X_i – незалежні (управляючі або збудуючі) параметри (фактори), $i = \overline{1, k}$;

a_i – коефіцієнти, відповідно до кожного вхідного (незалежного, управляючого, або збудуючого) параметра (фактора) X_i ;

b_j – постійні величини;

при цьому для знаходження залежного параметра Y_j , який найкращим чином відповідає емпіричним даним, сума квадратів відхилень емпіричних крапок від теоретичної лінії регресії повинна бути величиною мінімальною.

Для визначення значення параметра Y_j розраховуємо систему умовних рівнянь:

$$a_i (X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+k}) - (Y_j - b_j) = 0. \quad (2)$$

Для лінійних рівнянь отримуємо:

$$\bar{Y}_j = a_{1,i} \bar{X}_i + a_{1,i+1} \bar{X}_{i+1} + \dots + a_{1,k} \bar{X}_k + b_j. \quad (3)$$

Вимога мінімуму суми квадратів відхилень дає систему нормальних лінійних рівнянь:

$$[a_1^2] \bar{X}_i + [a_1, a_2] \bar{X}_{i+1} + \dots + [a_1, a_k] \bar{X}_k = [a_1 (Y - b)], \quad (4)$$

$$[a_1^2] = \sum_{i=1}^k a_{1,i}^2, \quad [a_1, a_2] = \sum_{i=1}^k a_{1,i} a_{2,i}, \quad [a_1 (Y - b)] = \sum_{i=1}^k a_{1,i} (Y_j - b_j). \quad (5)$$

Оскільки МНК є одним із найбільш вживаних методів для розробки математичних моделей за результатами пасивного експериментального дослідження роботи об'єкта управління, то вибір параметрів для подання в регресійні рівняння здійснюється на основі статистичних критеріїв злагоди Фішера (F) та t-критерія Стьюдента.

Статистичний критерій злагоди Фішера (F) застосовується для порівняння точності двох рядів вимірювання перевірки усталеного (тривалого) технологічного процесу. Він визначає: чи є отримані математичні моделі адекватними експериментальним даним, тобто, чи є взаємозв'язок поміж залежним та незалежними параметрами випадковим або ні.

Перевірка гіпотез про адекватність математичних моделей (стаціонарності процесу) по критерію Фішера (Fрозр.) визначається відношенням двох дисперсій:

$$F_{\text{розр.}} = \frac{\sigma_S^2}{\sigma_Y^2}, \quad (6)$$

$$\sigma_S^2 = \frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i); \quad (7)$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (Y_{ij} - \bar{Y}_j)}{i}; \quad (8)$$

$$Y_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n} \quad (9)$$

i – кількість серій дослідження, $i = \overline{1, n}$;

j – кількість досліджень в кожній серії, $j = \overline{1, m}$.

Розраховане за формулою (9) значення функції Фішера $F_{розр.}$ порівнюється із табличним $F_{табл}$ при кількості ступеней свободи (f), необхідних для знаходження значення критерії Фішера в статистичній таблиці, та номінальному рівні значимості $\alpha = 5\%$. При цьому обов'язково необхідне виконання умови, що $F_{розр.} > F_{табл}$.

Статистичний критерій злагоди Стьюдента (t -критерій) є законом розподілення несподіваних параметрів. Припустимо, що випадкові параметри u та v незалежні один від другого, окрім того u розподілений нормально, а v – χ^2 із k ступенями свободи. Тоді величина (t_v) дорівнює:

$$t_v = \frac{u}{\sqrt{\frac{v}{k}}}, \quad (10)$$

та має наступну щільність розподілення (11), яка відома як «закон Стьюдента»:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{k\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\left(\frac{k+1}{2}\right)}, \quad (11)$$

де $\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)$ та $\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)$ – функції Гамма, тобто:

$$\Gamma(k+1) = k\Gamma(k). \quad (12)$$

Із цієї властивості витікає, що якщо значення функції $\Gamma(k)$ відомі для усіх k поміж будь-якими слідуючими одно за другим цілими числами, то значення цієї функції ($\Gamma(k)$) для любого позитивного значення k може бути знайдено шляхом послідовного застосування (12).

Для сукупності x , розподіленої з відхиленням $\frac{\sigma_0^2}{n}$ від її середньої \bar{X} , маємо так званий t -критерій Стьюдента:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{X}}{\sigma_0} \sqrt{n} \quad (13)$$

Оскільки $(n-1) \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2}$ має розподілення по закону χ^2 із $(n-1)$ ступенями свободи, то з (10) отримуємо:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{x} - \bar{X}}{\sigma} \sqrt{n} \quad (14)$$

Таким чином, t-критерій Стюдента є відношення відхилення середньої \bar{x} даної сукупності, що має n значень, від істинного значення \bar{X} усієї сукупності, до стандартного відхилення $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Значення t-критерій Стюдента використовуються для визначення значимості кожного параметра (X) в отриманих математичних моделях та дозволяють виконувати ранжування відповідних параметрів за величиною їх впливу на ці моделі в цілому. Розраховані значення t-критеріїв Стюдента порівнюються з табличними при відповідній кількості ступеней свободи (f) та номінальному рівні значимості $\alpha = 5\%$.

Необхідно пам'ятати, що при використанні МНК треба оцінювати якість отриманих експериментальних даних. При цьому із розгляду необхідно вилучати значення параметрів для яких виконується відношення:

$$\zeta = \frac{X_i^{\max} - X_i^{\min}}{\Delta X} < 7, \quad (15)$$

де X_i^{\max} та X_i^{\min} – відповідно максимальне та мінімальне значення незалежного параметра в експериментальних даних:

$$\Delta X = \frac{a_x A_x}{50\sqrt{3}} \quad (16)$$

a_x – відносна похибка вимірювального приладу, що контролює параметри X_i ;

A_x – верхня межа вимірювання приладу.

Окрім того, при аналізі експериментальних даних розраховується середньоквадратичне відхилення результату вимірювання σ (17) та абсолютне значення відхилення поточного параметра від його середнього значення δ (18):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_i)^2}{N}}, \quad (17)$$

$$\delta = \bar{X}_i - X_i. \quad (18)$$

де X_i – поточне абсолютне значення значення параметра;

\bar{X}_i – середнє значення цього параметра;

N – кількість вимірів при експерименті.

При цьому експериментальні дані за правилом «трьох сігм», значення σ яких перевищує вираз $\sigma > 3\delta$, вилучаються із розгляду, а дані, котрі залишилися, будуть відповідати нормальному закону розподілення з ймовірністю не менше як 95 %.

За приведеною методикою та при застосуванні формул (3) – (18), при використанні комп'ютерних пакетів (зокрема MATLAB) для статистичної обробки даних, отриманих в ході пасивного експерименту за 300 дослідженнями (через 15 хвилин, за більше ніж 3,13 доби), розрахована багатопараметрична математична модель: залежність витрати фільтрової рідини Y (F) в КХДС, як ведучого потоку об'єкта дистиляції (управляемий параметр), (м³/год.), від кожного із трьох незалежних параметрів: X1 (T1) – температура рідини із КХДС в ТДС, (°C); X2 (F2) – витрата пари в ДС, (т/год.); X3 (F3) – витрата вапняного молока (гашеного вапняку) в ЗМ, (м³/год.), які були оброблені за МНК та отримані наступні середні значення цих автоматично контрольованих параметрів (табл. 1).

Таблиця 1

Середні значення контрольованих параметрів

F	T1	F2	F3
м3/год.	°C	т/год.	м3/год.
Y	X1	X2	X3
180,58	75,37	53,62	95,49

Багатопараметрична математична модель відповідно формули (3) за методом МНК:

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + b. \quad (19)$$

В результаті розрахунків отримали багатопараметричну математичну модель, яка має вигляд:

$$Y = 12,03 + 0,579 X_1 + 0,737 X_2 + 0,895 X_3 \quad (20)$$

Для перевірки гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі (стаціонарності процесу) (20), при одній серії досліджень та 300 дослідженнями в ній, розраховане значення критерія Фішера (Fрозр.) за формулою (8): Fрозр.=18,5, яке порівняли із табличним – Fтабл при відповідній кількості ступеней свободи (f): Fтабл. = 10,13.

Аналіз цих значень критерія Фішера показує, що умова Fрозр. > Fтабл. виконується, а тому отримана багатопараметрична математична модель (20) адекватна експериментальним даним. а взаємозв'язок поміж залежним та незалежними параметрами не є випадковим.

Розрахунок значень критерієв Стюдента для визначення значимості відповідних параметрів отриманої багатопараметричної математичної моделі (20), виконаний за формулою (14) із урахуванням формул (10–13). Розраховані значення t-критеріїв Стюдента для параметрів математичної моделі (19) представлені в табл. 2, в якій приведено також табличне значення t-критерія Стюдента при відповідній кількості ступеней свободи (f).

Аналіз отриманих розрахованих значень t-критеріїв Стюдента для трьох параметрів математичної моделі показує, що всі вони більші за табличний t-критерій Стюдента, а тому значимі в отриманій математичній моделі (23) та характеризують ранжування відповідних параметрів за величиною їх впливу на цю модель в цілому.

Таблиця 2

Розраховані значення t-критеріїв Стюдента для параметрів математичної моделі (20)

T1	F2	F3	t-критерій табличний
°C	т/год.	м3/год.	–
X1	X2	X3	–
5,28	2,79	2,41	2,35

Висновок

В результаті досліджень розглянуті теоретичні підстави розробки математичної моделі регенерації газів із розчинів ВКС та алгоритми математичної статистики для розробки цієї моделі за одним із методів регресійного аналізу. Показано, що одним із найбільш вживаних методів для розробки математичних моделей за результатами пасивного дослідження роботи цієї технології є метод найменших квадратів, а вибір параметрів для подання в регресійні рівняння здійснюється на основі статистичних критеріїв злагоди Фішера (F) та t-критерія Стюдента. Отримана математична модель може

бути використана для розробки комп'ютерно-інтегрованої технології регенерації газів із розчинів ВКС на базі сучасних мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню та підвищенню енергозбереження в цілому ВКС.

Список використаної літератури

1. Зайцев И. Д. Производство соды [Текст] / И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев. – М. : Химия. 1984. – 312 с.
2. Бобух А. А. Выбор и оптимизация критерия управления объектом абсорбции-десорбции производства кальцинированной соды [Текст] / А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, А. Н. Переверзева // Щоквартальний науково-практичний журнал «Інтегровані технології та енергозбереження». Видавничий центр НТУ «ХПІ». – 2015. № 4. – С. 72–81.
3. Бобух А. А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А. А. Бобух, Д. А. Ковалев; под общ. ред. А. А. Бобух. – Х. : ХНУГХ им. А.Н. Бекетова. – 2013. – 226 с.
4. Советов Б. Я. Математическое моделирование / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 2001. – 343 с.
5. Елисеева И. И. Статистика / И. И. Елисеева. – М. : ТК Велби, 2005. – 448 с.
6. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2006. – 816с.
7. Крушель Е. Г. Обработка экспериментальной информации. Лабораторный практикум [Текст]: учеб. пособие / Е. Г. Крушель, А. Э. Панфилов, И. В. Степанченко. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 55с.

References

1. Zaytsev I. D. (1984) Production of soda [Proizvodstvo sodyi] / I. D. Zaytsev, G. A. Tkach, N. D. Stoev. – М.: Khimiya, 312 p.
2. Bobukh A. A. (2015) Selection and optimization of the criterion for controlling the absorption-desorption object of the production of soda ash [Vyibor i optimizatsiya kriteriya upravleniya ob'ektom absorbtzii-desorbtsii proizvodstva kaltsinirovannoy sodyi] / A. A. Bobukh, A.M. Dzevochko A. N. Pereverzeva // Schokvartalnyi naukovopraktichnyi zhurnal «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya». Vidavnichiy tsentr NTU «HPI». – No 4, p.72-81.
3. Bobukh A. A. (2013) Computer-integrated system of automation of technological objects of control centralized heat-supply [Kompyuterno-integrirovannaya sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem] / A. A. Bobukh, D. A. Kovalev. HNUGH them. A.N. Beketova, Kharkiv, 226 p.
4. Sovetov B. Ya. (2001) Mathematical modeling [Matematicheskoe modelirovanie] / B. Ya. Sovetov, S. A. Yakovlev. М.: Vysshaya shkola, 343 p.
5. Yeliseyeva I. I. (2005) Statistics [Statistika]. /I. I. Yeliseyeva. М.:TK Velby, 448 p.
6. Kobzar A. I. (2006) Applied mathematical statistics. For engineers and scientists [Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov] / A. I.Kobzar. М.: FIZMALIT, 816 p.
7. Krushel E. G. (2014) Processing of experimental information. Laboratory Practice [Obrabotka eksperimentalnoy informatsii. Laboratornyiy praktikum] / ucheb. posobie / E. G. Krushel, A. E. Panfilov, I. V. Stepanchenko. Volgograd: IUNL VolgGTU, 55 p.

Прийнято до друку 15.10. 2019 р.

Луданов Константин Иванович, канд. техн. наук, старш. научн. сотр.

Институт возобновляемой энергетики НАНУ, г. Киев, Украина. Ул. Красноармейская, 20а, г. Киев, Украина

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРЯМОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В статье обосновано, что эксергетический метод термодинамического анализа наравне с энтропийным методом дает возможность определить места наиболее существенных термодинамических потерь в процессах преобразования энергии. Показано, что использование эксергетического анализа, дает возможность оценить термодинамические потери на каждом этапе схемы преобразования энергии и получить возможность их снижения. Доказано, что эксергетический анализ концентрации солнечного излучения в гелиоустановках с параболическими зеркалами, а также в оптических системах солнечных ТЭС башенного типа с горизонтальными полями плоских гелиостатов и ТЭС с горизонтальными параболическими зеркалами даст возможность повысить эффективность преобразования энергии в этих солнечных энергосистемах. Проведен эксергетический анализ концентрации солнечного излучения. Впервые солнечная радиация трактуется как лучистый тепловой поток, который характеризуется собственной температурой, а его эксергия определяется в рамках канонического цикла Карно. На основе новой трактовки температуры лучистого потока получено аналитическое выражение для радиационной температуры теплового излучения Солнца, причем как для прямого излучения, так и для диффузного. Найдена зависимость плотности прямой солнечной радиации от массы атмосферы. Приведенные формулы позволяют рассчитывать радиационную температуру солнечного излучения и плотность потока эксергии на поверхности Земли и в фокусе зеркала концентратора.

Ключевые слова: цикл Карно; эксергия лучистого потока; температура солнечной радиации; солнечные концентраторы; оптические потери; рассеивание; отражение; поглощение.

Луданов Костянтин Іванович, канд. техн. наук, старш. наук. співр.

Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, м. Київ, Україна. Вул. Червоноармійська, 20а, м. Київ, Україна

ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПРЯМОГО СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

В статті обґрунтовано, що эксергетичний метод термодинамічного аналізу аналогічного рівня з контрольним методом дасть можливість визначити місця найважливіших термодинамічних підрозділів у процесах перетворення енергії. Наведено результати експериментального аналізу, що дає можливість оцінити термодинамічні показники на кожному етапі схеми перетворення енергії та отримати можливість їх зменшення. Доведено, що эксергетичний аналіз концентрації сонячного випромінювання в геліоустановках із параболическими зеркалами, а також в оптичних системах сонячних ТЕС башенного типу з горизонтальними полями плоскими геліостатами і ТЕС з горизонтальними параболическими дзеркалами дають можливість підвищити ефективність перетворення енергії у цих сонячних енергосистемах. Проведено эксергетичний аналіз концентрації сонячного випромінювання. Вперше сонячна радіація трактується як лучистий тепловий потік, який характеризується власною температурою, а його эксергія визначається в рамках канонічного циклу Карно. На основі нової трактовки температури лучистого потоку отримано аналітичне вираження для радіаційної температури теплового випромінювання Сонця, як для прямого випромінювання, так і для дифузного. Визначено залежність плотностей прямої сонячної радіації від маси атмосфери. Наведені формули дозволяють розраховувати радіаційну температуру сонячного випромінювання і щільність потоку эксергії на поверхні Землі і в фокусі дзеркала концентратора.

Ключові слова: цикл Карно; эксергія променистого потоку; температура сонячної радіації; сонячні концентратори; оптичні втрати; розсіювання; віддзеркалення; поглинання.

Ludanov Konstantin Ivanovych, Candidate of Engineering, Senior Research Officer.

Institute of renewable energy NANU, Kiev, Ukraine. Krasnoarmeyskaya st., 20a, Kiev, Ukraine

EXERGY ANALYSIS OF DIRECT SUN RADIATION CONCENTRATION

In the article substantiates that the exergy method of thermodynamic analysis, along with the entropy method, makes it possible to determine the locations of the most significant thermodynamic losses in energy conversion processes. It is shown that the use of exergy analysis makes it possible to estimate the thermodynamic losses at each stage of the energy conversion scheme and to reduce them. It is proved that exergetic analysis of the concentration of solar radiation in solar installations with paraboloid mirrors, as well as in optical systems of tower solar thermal plants with horizontal fields of flat heliostats and thermal power plants with horizontal parabolic cylindrical mirrors will allow to increase the energy of these transformations. Exergy analysis of the concentration of solar radiation was performed. For the first time, solar radiation is treated as radiant heat flux, which is characterized by its own temperature, and its exergy is determined within the canonical Carnot cycle. On the basis of the new interpretation of the temperature of the radiant flux, an analytical expression was obtained for the radiation temperature of the

thermal radiation of the Sun, both for direct radiation and for diffuse. The dependence of the direct solar radiation density on the mass of the atmosphere is found. The above formulas allow to calculate the radiation temperature of solar radiation and the density of exergy flux on the Earth's surface and in the focus of the concentrator mirror.

Keywords: Carnot cycle; exergy of radiant flux; solar radiation temperature; solar concentrators; optical loss; dispersion; reflection; absorption.

Введение

Эксергетический метод [1] термодинамического анализа наравне с энтропийным методом [2] дает возможность определить места наиболее существенных термодинамических потерь в процессах преобразования энергии. Вспомним, например, что энергетический КПД парогенератора традиционных ТЭС очень близок к 100 %, тогда как его эксергетический КПД составляет всего лишь 50 %. Таким образом, использование таких «продвинутых» научных инструментов, как эксергетический анализ, дает возможность оценить термодинамические потери на каждом этапе схемы преобразования энергии и получить возможность их снижения. Поэтому эксергетический анализ концентрации солнечного излучения в гелиоустановках с параболическими зеркалами, а также в оптических системах солнечных ТЭС башенного типа с горизонтальными полями плоских гелиостатов и ТЭС с горизонтальными параболическими зеркалами даст возможность повысить эффективность преобразования энергии в этих солнечных энергосистемах.

В недавней статье А. К. Ильина [3] на основе большого обзора работ по эксергии солнечной радиации сделан вывод, что опубликованные данные в этой области пока еще немногочисленны и недостаточно определены. Две наиболее ранние работы по оценке эффективности ϵ теплового преобразования лучистой энергии Солнца были выполнены независимо Д.Спенсером и Р.Петелой в 1963 г. [4, 5]. Только Д.Спенсер определил ϵ как КПД преобразования энергии солнечного излучения, а Р.Петела определил ϵ как отношение эксергии солнечного излучения к солнечной постоянной ($\epsilon = ex/ES$). Обе эти работы были посвящены вопросу «конструирования» новых тепловых циклов для преобразования лучистой энергии в работу. Например, в цикле Р.Петелы солнечная радиация «сжимается поршнем в цилиндре». На основе анализа эффективности цикла он записал все полученные аналитические выражения в общем виде: в виде тройных интегралов, которые не были доведены им «до формулы», а тем более, «до числа». Единственная конкретная формула, которая получена в работе для КПД нового цикла:

$$\epsilon = 1 - 4T_0/(3TS) + (1/3) \cdot (T_0/TS)^4, \quad (1)$$

где T_0 – температура окружающей среды, а TS – температура излучателя.

Температуру излучателя (поверхности Солнца) он определяет из закона сохранения энергии, приравнявая теплоту, излученную Солнцем ($4\pi R^2 \sigma T^4$) теплоте, проходящей через поверхность сферы с радиусом земной орбиты LS , а именно: $4\pi RS^2 \sigma TS^4 = 4\pi LS^2 \cdot ES$, откуда получает $TS^4 = (ES/\sigma) \cdot (LS/RS)^2$ [6]. Подставляя значения «солнечной постоянной» $ES = 1360 \text{ Вт/м}^2$, а также $RS = 695,5 \text{ тыс. км}$ и $LS = 149,5 \text{ млн. км}$, можно получить значение TS .

Аналогичную формулу для ϵ получил Д.Спенсер:

$$\epsilon = 1 - 4T_0/(3TS) \quad (2)$$

Анализ обеих формул показывает, что они не имеют ничего общего с выражением КПД цикла Карно: $\eta_k = 1 - T_0/TS$. Таким образом, здесь можно сразу сказать, что работа Р.Петелы посвящена вовсе не эксергетическому анализу солнечного излучения, а оценке

эффективности «сконструированного» им нового цикла преобразования энергии теплового излучения.

КПД нового цикла принципиально отличается от выражения КПД цикла Карно иным коэффициентом (4/3) при отношении температур: окружающей среды T_0 (стока отработанной теплоты) к температуре T_S теплового источника (в данном случае солнечного диска).

Большинство последующих работ по оценке эффективности ε преобразования энергии солнечного излучения также посвящено «конструированию» новых термодинамических циклов [7].

Одной из последних работ с таким подходом является статья Калина Замфирэску и Ибрагима Динсера, США [8]. Они «сконструировали» совершенно новый фотонный цикл (так называемый «bottoming» cycle). Солнечное тепловое излучение в цикле «bottoming» cycle характеризует процесс испускания фотонов «поверхностью» Солнца.

Но поверхность Солнца понятие условное – ведь в данном случае излучает фотосфера (внешняя оболочка Солнца толщиной около 300 км), она имеет по толщине большой градиент температуры, которая резко падает к видимой «поверхности» фотосферы Солнца. Этим объясняется эффект «потемнения края» солнечного диска, а также то, что яркость излучения от центра диска (по Абботу) на 22 % выше, чем средняя яркость солнечного диска, а интенсивность излучения в центре на 50 % выше, чем на краю диска. По этой же причине спектр солнечного излучения существенно отличается от спектра теплового излучения «абсолютно черного тела» (АЧТ), определяемого формулой Планка.

Кроме того, возникает вопрос, почему в [4–8] не учитывается влияние на температуру T_S резкое (более чем на четверть) уменьшение плотности потока солнечного излучения после прохождения атмосферы. А.К. Ильин [3] предлагает (в соответствии с Д. Дэвинсом) вместо T_S использовать новую температуру T_a , которая рассчитывается по формуле:

$$T_a = 4\sqrt{[ES/(ac\sigma)]}, \quad (3)$$

где ES – плотность потока солнечного излучения на поверхности Земли, Вт/м².

ac – степень черноты системы «атмосфера – поверхность Земли», которая в работе [3] определяется для разных случаев совершенно произвольно, что приводит к явно противоречивым результатам.

Таким образом, ситуация в эксергетическом анализе солнечного излучения совершенно неопределенная. Во-первых, до сих пор для оценки эффективности преобразования солнечного излучения используются многочисленные «циклы». Во-вторых, не определен способ определения температуры солнечного излучения. И, в-третьих, не установлено, как на эксергию солнечного излучения влияют потери, вызванные поглощением света в атмосфере, его неидеальным отражением от зеркал и неточностью оптической схемы фокусирующего зеркального поля.

Постановка задачи

Известно, что максимальную эффективность преобразования теплоты в энергию дает только цикл Карно. Любой другой тепловой цикл дает меньшее значение КПД преобразования солнечной радиации, а соответственно, и меньшее значение эксергии солнечного излучения. На это, кстати, обращается внимание в статье Ильина [3]. Следовательно, для оценки эксергии потока солнечной радиации необходимо рассматривать преобразование ее энергии только в рамках канонического цикла Карно.

В настоящее время в термодинамике для определения эксергии теплового потока q используется обобщенное выражение [9], полученное на основе канонического цикла

Карно, которое включает две температуры: «большую» температуру цикла (температуру источника теплоты T_{max}) и «меньшую» (температуру стока отработанной теплоты T_{min} , т.е. в данном случае температуры окружающей среды), причем, если «большая» температура $T = const$, выражение эксергии имеет такой вид:

$$exq = q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) = q - T_0 \left(\frac{q}{T}\right) = q - T_0 \Delta S, \text{ где } \Delta S = \frac{q}{T} \quad (4)$$

В случае, если «большая» температура – переменная, ($T \neq const$), для эксергии имеет место другое выражение:

$$exq = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) dq = q - T_0 \int \frac{dq}{T} = q - T_0 \Delta S, \text{ где } \Delta S = \int \frac{dq}{T} \quad (5)$$

Анализ приведенных соотношений показывает, что для определения эксергии лучистого теплового потока q необходимо определить выражение «большой» температуры цикла Карно (температуры источника теплоты), поскольку «меньшей» температуры цикла (температура окружающей среды) обычно принимается для поверхности Земли близкой к 300 К.

Таким образом, основной задачей настоящего исследования является уточнение статуса тепловой радиации, а также вывод аналитического выражения для абсолютной температуры лучистого потока от Солнца (солнечной радиации) в зависимости от ее плотности и величины различных оптических потерь (в процессах его поглощения, рассеяния и отражения) при прохождении через атмосферу, отражения от зеркал в процессе фокусирования в оптических системах параболоидных солнечных концентраторов, а также солнечных ТЭС (СТЭС) с концентрацией солнечного излучения: СТЭС башенного типа и СТЭС с параболоцилиндрическими зеркалами.

Результаты исследований

Новая трактовка температуры потока фотонов теплового излучения. В термодинамике [9] принято, что собственное тепловое излучение изотермической поверхности замкнутой полости полностью заполняет ее тепловой радиацией, которая в состоянии термодинамического равновесия представляет собой радиацию абсолютно черного тела (АЧТ) со спектром Планка, и которая имеет равновесную температуру, совпадающую с абсолютной температурой поверхности этой полости в соответствии с известным законом Кирхгофа.

В таком случае температура излучения, испускаемая отверстием физической модели АЧТ, созданной для калибровки пирометров, строго говоря, не является термодинамической, а является кинетической [10]. Кинетическая температура характеризует все случаи, где отсутствует полное термодинамическое равновесие (т. е. неравновесные процессы и системы), хотя она в принципе может быть сколь угодно близкой к равновесной температуре при соблюдении ряда условий.

Но в пирометрии абсолютные температуры излучения (яркостная T_J и радиационная T_R) измеряемые бесконтактным способом однозначно относятся к излучающей поверхности, хотя в их математическое выражение, очевидно, входит яркость излучения B (спектральная или интегральная). А ведь и яркостная T_J и радиационная T_R температуры, измеряемые пирометром, вполне могут быть отнесены к самому тепловому излучению, испускаемому поверхностью. И их математическое выражение в этом случае будет связывать температуру поверхности с кинетической температурой излучения, которое оно испускает.

Известно, что астрономы давно трактуют излучение, заполняющее космическое пространство (так называемое «реликтовое» микроволновое излучение), как тепловое излучение с абсолютной температурой 2,7 К [11] и вообще не относят его к излучающей поверхности. Кроме того, известно, что солнечное излучение «долетает» до Земли не мгновенно, а за 8 минут. То есть, теплоноситель (поток фотонов) летит от Солнца до Земли в космическом пространстве 8 минут и все это время он существует сам по себе совершенно независимо от излучателя.

И, наконец, в процессе фокусирования прямого солнечного излучения системой зеркал (т. е. при изменении его направления на противоположное после отражения от зеркал в фокус) мы уже имеем дело не с излучением непосредственно от солнечного диска (который расположен перед зеркалом концентратора), а с отраженным излучением, поступающим в фокус от оптического (т.е. мнимого) изображения Солнца, расположенного позади отражающего зеркала.

Поэтому вполне логично здесь принять новую трактовку TSR – уже не как радиационной температуры солнечного диска, а как кинетической температуры собственно солнечной радиации. Поскольку приведенные выше аргументы вполне обоснованны, считаем далее солнечную радиацию лучистым потоком, который можно характеризовать новым параметром – кинетической температурой солнечной радиации TSR.

Определение температуры солнечного излучения на внешней границе земной атмосферы

Если использовать пирометрический подход к определению яркостной температуры ТЯ солнечного излучения, то она будет вообще различной для разных длин волн излучения, поскольку в общем случае поверхность Солнца (фотосфера) излучает селективно.

Яркостная температура теплового излучения по спектру Солнца [12]:

Таблица 1

λ, мкм	0,305	0,39	0,48	0,56	0,61	0,85	1,45	2,4
ТЯ, К	5560	5400	5960	5840	5870	5700	6360	5880

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что яркостная температура по спектру излучения Солнца сильно неравномерна: она колеблется в диапазоне от минимума 5400 К (для 0,39 мкм) до максимума 6360 К (для 1,45 мкм), т.е. разница составляет около тысячи градусов. Еще большая неравномерность яркостной температуры по спектру (причем уже не непрерывного, а дискретного) будет у солнечного излучения на поверхности Земли, т.е. после прохождения атмосферы. Поэтому в эксергетическом анализе солнечного излучения его параметры более рационально рассматривать в рамках радиационной (энергетической) температуры, для которой спектральный состав теплового излучения значения не имеет. Поэтому далее в статье спектральные характеристики излучения рассматриваться не будут.

Радиационная температура солнечного излучения

В 2008 г. в работе [13] был проведен вывод аналитического выражения радиационной температуры солнечного диска. Модифицируем этот вывод в терминах кинетической температуры солнечной радиации. По определению, приведенному в стандарте [14] интегральная яркость теплового излучения Солнца $B_s = dE/d\omega$, где E – плотность теплового излучения Солнца, Вт/м², ω – телесный угол, стерadian (стер.). Телесный угол, в растворе которого с Земли виден солнечный диск $\omega_s = 6,8 \cdot 10^{-5}$ стер. Поскольку угол ω очень мал, то здесь можно записать:

$$B_s = dE_{\perp}/d\omega \cong E_s/\omega_s. \quad (7)$$

С другой стороны по определению [14] интегральная яркость теплового излучения равна $\bar{B} = \sigma T^4/\pi$, где T – кинетическая температура. Подставляя в это выражение значение интегральной яркости излучения Солнца (7), получаем простое математическое выражение радиационной температуры солнечного излучения:

$$TSR = 4 \sqrt{[(\pi \bar{B}_s)/\sigma]} = 4 \sqrt{[(\pi ESO)/(\sigma \omega_s)]} \quad (8)$$

где ω – телесный угол, в растворе которого виден солнечный диск (стер.).

$\omega = \pi \cdot \sin^2(\varphi/2)$, здесь φ – плоский угол (град.) при вершине конуса, охватывающего соответствующий телесный угол ω , стер. Для условий заатмосферного космоса АМ0 принята стандартная солнечная постоянная $E_s = 1360$ Вт/м² [12].

Подставляя его в выражение (7), получаем значение яркости солнечного излучения над атмосферой $\bar{B}_s = E_s/\omega_s = 2 \cdot 10^7$ Вт/м²стер. А радиационная температура заатмосферного солнечного излучения в этом случае равна $TRS = 5770$ К, что очень близко к принятой в астрономии величине $5,5$ тыс. оС ($5500^{\circ} + 273^{\circ} = 5773$ К).

Анализ параметров солнечной радиации на поверхности Земли

Вычисление по формуле (8) температуры солнечной радиации TR после прохождения ею земной атмосферы показывает, что она снижается, поскольку значительная ее часть поглощается трехатомными молекулами (в основном газами: озоном и СО₂, а также паром Н₂О). А другая, тоже значительная часть, рассеивается на молекулах газов воздуха и частицах аэрозоля, образуя диффузную компоненту потока солнечной радиации.

В 1986 г. ТК №82 МЭК при ООН принял стандарт на спектр солнечной радиации у поверхности Земли: в нем суммарная плотность потока для АМ_{1,5} составляет 1000 Вт/м², а стандартная плотность прямого потока равна 850 Вт/м² для АМ_{1,5} и не менее 750 Вт/м² для АМ₃ [15].

Известно, что в потоке солнечной радиации для АМ_{1,5} разница между плотностью суммарного потока (1000 Вт/м²) и плотностью прямого потока (850 Вт/м²) представляет поток так называемого диффузного радиации, которая образовалась в результате рассеивания на трехатомных молекулах воздуха и на аэрозолях атмосферы. Диффузная радиация распространяется в рамках телесного угла, охватываемого конусом, ось которого совпадает с направлением прямого излучения, а угол при его вершине θ составляет около 10 град., [15, 16].

На основе формул, полученных выше, оценим температуры прямого и диффузного лучистых потоков для АМ_{1,5}, а также соответствующие потоки эксергии. Для плоского угла при вершине конуса $\theta = 10$ град. получаем $\omega_D = 2,386 \cdot 10^{-2}$ стер. Подставляя значение $E_D = 150$ Вт/м² и значение ω_D в формулу (8) получаем значение радиационной температуры диффузного лучистого потока $T_D = 768$ К (495 оС).

Оценим плотность потока эксергии в диффузном лучистом потоке плотностью 150 Вт/м² и температурой $T_D = 768$ К. По формуле (4) получаем, что значение плотности потока эксергии равно 91,4 Вт/м². В результате для прямого излучения плотностью 850 Вт/м² радиационная температура после прохождения атмосферы АМ_{1,5} по формуле (8) составляет 5130 К, а плотность потока эксергии 800,3 Вт/м², т.е. она практически на порядок выше, чем эксергия диффузного потока.

Учет эксергии диффузной солнечной радиации важен при оценке эксергетической эффективности солнечных коллекторов [17], поскольку в этих гелиотехнических устройствах абсорбер (гелиоприемник) поглощает не только прямую, но и диффузную составляющие лучистого потока.

В итоге получаем, что плотность суммарного потока эксергии солнечной радиации в данном случае (AM1,5) составляет 891,7 Вт/м², т.е. 89% от суммарного потока излучения (1000 Вт/м²).

Зависимость плотности прямой солнечной радиации от длины ее пути в атмосфере (массы атмосферы)

Известен ряд различных эмпирических формул [15], обобщающих данные по оптическому пропусканию атмосферой солнечного излучения:

$$\tau_1 = \exp(-c_1 m), \tau_2 = \exp(-c_2 \sqrt{m}), \tau_3 = 1 - c_3 \sqrt{m}, \text{ и др.}, \quad (9)$$

где m – воздушная масса, которую проходит прямое солнечное излучение в атмосфере до поверхности: $m = (p/p_0) \cdot \text{cosec}\Theta$, p и p₀ – давление воздуха на поверхности земли и на уровне моря, Θ – угол, определяющий высоту Солнца над горизонтом (град.).

Расчет параметров экспоненты (2) по трем точкам: для AM0 (τ = 1), AM1,5 (τ = 0,664) и AM3 (τ = 0,553) в случае, когда неизвестны эмпирическая постоянная (c) и показатель степени корня из m, дает точные значения для эмпирической постоянной c = 0,4106 и показателя степени при m (n = 0,34), последний очень близок к одной третьей (0,333).. Округляя полученные значения, получаем достаточно точную эмпирическую формулу, описывающую зависимость плотности прямой радиации от атмосферной массы AM(m):

$$ES(m)/ES(0) = \tau S(m) = \exp(-0,41 \cdot 3\sqrt{m}), \quad (10)$$

Полученная формула дает точные значения плотности прямого потока для AM0 (1360 Вт/м²) и для AM1,5 (850 Вт/м²), а для AM3 дает небольшую погрешность (0,4 %). По ней можно рассчитать зависимость пропускания τS и эксергии ES лучистого потока от массы атмосферы.

Данные расчета зависимости представлены в табл. 2.

Таблица 2

AM(m)	0	1	1,5	2	3	5
Θ, град.	–	90°	41° 49'	30°	19° 27'	11° 32'
τS(m), %	100	66,4	62,5	59,7	55,3	49,6
ES, Вт/м ²	1360	903	850	812	753	675

Как показано выше, изменение эксергии солнечной радиации обусловлено изменением плотности потока и радиационной температуры.

Если учесть, что после прохождения атмосферы уменьшилась плотность прямой солнечной радиации (из-за поглощения и рассеяния), то уменьшилась и ее радиационная температура в соответствии с формулой (8), а поскольку $ESM = ES_0 \cdot (\tau S)_m$, то она будет равна:

$$TSR = 4\sqrt{[(\pi \cdot ES_0 \cdot \tau S)/(\sigma \omega_s)]} = (TSR)_0 \cdot 4\sqrt{(\tau S)_m} \quad (11)$$

По формуле (11) можно рассчитать зависимость радиационной температуры TSR от массы атмосферы. А если принять, что T₀ = 300 К, то можно определить зависимость эксергии потока СИ от массы атмосферы.

Данные расчета сведем в табл. 3.

Потери эксергии в процессе фокусирования лучистого потока в элементах оптической схемы солнечных ТЭС (СТЭС)

На основе полученных выше результатов проведем анализ изменения плотности лучистого потока и его радиационной температуры в зеркальных концентрирующих системах СТЭС [18].

Таблица 3

AM(m)	0	1	1,5	2	3	5
ES, Вт/м ²	1360	903	850	812	753	675
TSR, К	5770	5350	5130	5070	4974	4840
exq, Вт/м ²	–	852,3	800,3	764,0	707,6	633,2

После отражения солнечного излучения от зеркал концентраторов его радиационная температура уменьшается за счет того, что коэффициент отражения металлического слоя зеркал меньше единицы (для алюминия RA1 = 0,9), а кроме того, за счет увеличения телесного угла изображения Солнца, которое вызвано неидеальностью зеркал (неточностью оптической схемы и шероховатостью отражающей поверхности):

$$TSR = 4 \cdot \sqrt{[RA1(\pi \cdot ES0 / (\sigma \cdot \omega^*))]} \tag{12}$$

где ω^* – расширенный ошибками телесный угол изображения солнечного диска, $\omega^* = \pi \cdot \sin^2(\varphi^*/2)$, $\varphi^* = \varphi + 2\delta$.

В лучшем случае для параболических зеркал с полированным отражающим слоем зеркал угол ошибки δ за счет шероховатости составляет около 20 % от углового размера Солнца φ . Но обычно для реальных СТЭС ошибка δ гораздо больше за счет неточности схемы фокусирования. Если для RA1 = 0,9 температура радиации при отражении уменьшается всего на 2,6 %, то в случае, если угловая ошибка δ составляет 50 % от угла φ , то температура TSR после прохождения оптической схемы зеркал уменьшится почти на треть (на 29,3 %). А с уменьшением температуры солнечной радиации, например, для AM1,5 (850 Вт/м²) от 5130 К до 3530 К после отражения излучения от зеркал концентратора (или поля гелиостатов) в направлении к фокусу, уменьшается и содержание эксергии в лучистом потоке (на 8,5 %). Таким образом, неточности оптической схемы СТЭС при фокусировании лучистого потока зеркалами приводят к большим термодинамическим потерям (потерям эксергии).

Кроме того, при падении пучка концентрированного солнечного излучения на поверхность гелиоприемника СТЭС также возникают существенные потери эксергии. Если пучок падает на гелиоприемную поверхность под углом ψ , то при этом снижается плотность лучистого потока $ES = ES0 \cdot \cos\psi$, что в свою очередь уменьшает температуру солнечной радиации TSR, а соответственно, и величину потока эксергии, воспринимаемую гелиоприемником.

Анализ концентрированного лучистого потока показывает, что в процессе фокусирования солнечного излучения на гелиоприемник СТЭС его плотность растет пропорционально степени концентрации $N \sim \Omega/\omega$, которая равна отношению двух телесных углов, соответствующих оптическому (т. е. мнимому) изображению Солнца ($\Omega = \sum\omega^*$) и его реальному изображению ω , а точнее: $N = (\sum\omega^* \cdot \cos\psi_i) / \omega$. Оптическое изображение Солнца образовано пучком лучей, отраженных зеркалами-гелиостатами. Его можно видеть из фокуса в растворе телесного угла Ω .

Но соотношение потока эксергии к потоку энергии при этом уменьшается за счет оптических потерь, вызванных неидеальностью фокусировки зеркал СТЭС и

неперпендикулярностью падения пучка на поверхность гелиоприемника, так как при этом уменьшается температура солнечной радиации, а соответственно, снижается и поток эксергии.

Оценка эксергетических потерь на СТЭС различного типа

Известно [18], что степень концентрации солнечного излучения в СТЭС с горизонтальными параболоцилиндрическими зеркалами невелика: $N = 60-80$, а температура теплоносителя, отводящего теплоту от линейного гелиоприемника едва достигает 400 оС. Степень концентрации солнечного излучения в больших СТЭС башенного типа с плоскими зеркалами-гелиостатами составляет $N = 800-1200$, при этом температура поверхности гелиоприемника в полдень достигает 700 оС, а теплоносителя в каналах гелиоприемника на башне СТЭС – 540 оС. Наибольшая степень концентрации достигается в модуле СТЭС с параболоидным зеркалом – в нем N около 2,5 тыс., а температура на поверхности гелиоприемника двигателя Стирлинга, установленного в его фокусе, – превышает 1000 оС.

Сравнение уровней температур солнечного излучения, падающего на поверхность зеркал СТЭС, (около 5 тыс. К) и уровня температур в гелиоприемниках СТЭС (максимум – 1000 оС) показывает, что именно на поверхности гелиоприемников СТЭС резко (более чем в 5 раз) снижается температура лучистого потока, а соответственно, из-за этих потерь «в разы» уменьшается плотность потока эксергии. Таким образом, именно в процессе поглощения концентрированного солнечного излучения рабочей поверхностью гелиоприемника СТЭС (через который прокачивается рабочее тело энергоустановки) имеют место основные термодинамические потери преобразования энергии на современных СТЭС.

Однако максимальная температура теплоносителя в гелиоприемниках больших СТЭС ограничивается не степенью концентрации, а возможностями современных типов ПТУ (паротурбинных установок), температурный предел которых ограничен прочностью лопаток паровых турбин (максимум 600 оС). Поэтому для повышения эффективности больших СТЭС необходимо переходить к использованию энергоустановок с более высокой «верхней» температурой цикла. Это можно осуществить при использовании термоэмиссионной «надстройки» в бинарном цикле с ПТУ [19] ($T_{max} = 1500$ оС) или же на основе нового способа прямого преобразования энергии в рамках электрохимического механизма [20, 21], который уже сегодня допускает преобразование теплоты в энергоустановке СТЭС при значении «верхней» температуры цикла $T_{max} = 1200^{\circ}\text{C}$.

Выводы

Впервые показано, что эксергия потока солнечной радиации должна определяться отнюдь не на основе «конструирования» новых фотонных циклов, ее необходимо трактовать как результат преобразования лучистого теплового канонического цикла Карно, для которого главную роль играют плотность падающего излучения (солнечной радиации) и термодинамическая температура лучистого теплового потока (потока фотонов).

В статье впервые солнечная радиация трактуется как лучистый тепловой поток, характеризующийся собственной кинетической температурой, которая не относится непосредственно к излучателю, т.е. к излучающей «поверхности» солнечного диска.

В данной работе получено точное аналитическое выражение радиационной температуры прямой и диффузной компонент солнечного излучения и найдено точное эмпирическое выражение экспоненциальной зависимости плотности прямого солнечного излучения от длины его пути в атмосфере (от «массы атмосферы» АМ).

Показано, что температура солнечной радиации снижается при уменьшении плотности потока излучения в процессе ее поглощения и рассеяния в земной атмосфере (в основном трехатомными молекулами: газом CO₂ и паром H₂O, а также аэрозолями).

Установлено, что отношение потока эксергии к энергии лучистого потока в процессе его концентрации в оптических системах СТЭС не зависит от степени концентрации, а определяется только оптическими потерями при фокусировании.

Повышение эффективности СТЭС за счет концентрации солнечного излучения обеспечивается исключительно за счет значительного (на несколько порядков) уменьшения теплопотерь от нагретой поверхности гелиоприемников, тогда как температура солнечной радиации в процессе ее фокусирования системой концентрирующих зеркал снижается.

Показано, что основной источник термодинамических потерь в СТЭС имеет место в гелиоприемнике, где прямое солнечное излучение с радиационной температурой около 5 тыс. К поглощается поверхностью абсорбера и передается теплоносителю с температурой в ~ 5 раз ниже.

Список использованной литературы

1. Петеля Р. Эксергия тепловой радиации / Сб. "Вопросы термодинамического анализа (эксергетический метод). Изд. "Мир" М.: 1965, С. 222–237.
2. Гохштейн Г. П. Энтропийный метод расчета энергетических потерь. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 111 с.
3. Ильин А. К. Оценка эксергии солнечной радиации // Судовые энергоустановки и машинно-двигательные комплексы. РФ, 2011. – С. 69–73.
4. Шаргут Я., Петеля Р. ЭКСЕРГИЯ. М.: «Энергия», 1968. 280 с.
5. Белл Л. Н., Гудков Н. Д. Предельная эффективность использования солнечной энергии: Аналитический обзор предлагаемых решений // Гелиотехника, ФАН УзССР, 1987, № 5, С. 7–13.
6. Крутов В. И. и др. Техническая термодинамика / Учебник для студентов ВУЗов, 3-е изд. – М.: «Высшая школа». – 1991. – 384 с.
7. Григорьев Б. А. Импульсный нагрев излучениями. Характеристики импульсного облучения и лучистого нагрева. М.: «Наука», 1974.
8. Чаругин В. М. Реликтовое излучение. – М.: «Знание», 1975. – 64 с.
9. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. М.: «Наука», 1972. – 288 с.
10. Луданов К. И., Лиходед С. И. Температура в фокусе солнечной печи // Тезисы докладов Международной конференции М&Е, ИПМ НАНУ, Кацивели. – 2008, С. 402–403.
11. ГОСТ 7601-78 (ДСТУ 2756-94) ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин. – М.: 1979.
12. Колтун М. М. Солнечные элементы. – М.: «Наука», 1987. – 192 с.
13. Зверева С. В. В мире солнечного света. – Л.: Гидрометеиздат, 1988, – 160 с.
14. Луданов К. И. Эксергетическая эффективность солнечных коллекторов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006, № 5 – С. 68–72.
15. Стребков Д. С., Тверьянович Э. В. Концентраторы солнечного излучения. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.
16. Кокорев Л. С., Харитонов В. В. Прямое преобразование энергии и термоядерные энергетические установки. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.
17. Луданов К. И. Способ преобразования высококонцентрированного солнечного излучения на СЭС башенного типа // Материалы международной конференции «Энергоэффективность-2014». Минск, 2014. – С. 66–67.
18. Шаргут Я., Петеля Р. ЭКСЕРГИЯ. М.: «Энергия», 1968. 280 с.
19. Белл Л. Н., Гудков Н. Д. Предельная эффективность использования солнечной энергии: Аналитический обзор предлагаемых решений // Гелиотехника, ФАН УзССР, 1987, № 5, С. 7–13.
20. Крутов В. И. и др. Техническая термодинамика / Учебник для студентов ВУЗов, 3-е изд. – М.: «Высшая школа». – 1991. – 384 с.
21. Григорьев Б. А. Импульсный нагрев излучениями. Характеристики импульсного облучения и лучистого нагрева. М.: «Наука», 1974.
22. Чаругин В. М. Реликтовое излучение. – М.: «Знание», 1975. – 64 с.

23. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. М.: «Наука», 1972. – 288 с.
24. Луданов К. И., Лиходед С. И. Температура в фокусе солнечной печи // Тезисы докладов Международной конференции МЭЕ, ИПМ НАНУ, Кацивели. – 2008, С. 402–403.
25. ГОСТ 7601-78 (ДСТУ 2756-94) ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин. – М.: 1979.
26. Колтун М. М. Солнечные элементы. – М.: «Наука», 1987. – 192 с.
27. Зверева С. В. В мире солнечного света. – Л.: Гидрометеиздат, 1988, – 160 с.
28. Луданов К. И. Эксергетическая эффективность солнечных коллекторов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006, № 5 – С. 68–72.
29. Стребков Д. С., Тверьянович Э. В. Концентраторы солнечного излучения. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.
30. Кокорев Л. С., Харитонов В. В. Прямое преобразование энергии и термоядерные энергетические установки. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.
31. Луданов К. И. Способ преобразования высококонцентрированного солнечного излучения на СЭС башенного типа // Материалы международной конференции «Энергоэффективность-2014». Минск, 2014. – С. 66–67.

Referenses

1. Petel R. Exergia of thermal radiation. Sb. Questions of thermodynamic analysis (exergy method). Ed. Mir M.: 1965, p. 222–237.
2. Gokhstein GP Entropy method for calculating energy losses. - M.; L.: Gosenergoizdat, 1963.– 111 p.
3. Ilyin A.K. Evaluation of solar radiation exergy. Ship power plants and engine-propulsion systems. RF, 2011. - p. 69–73.
4. Shargut J., Petela R. EXERGY. M.: Energia, 1968. 280 p.
5. Bell L.N., Gudkov ND. The marginal efficiency of solar energy use: An analytical review of the proposed solutions. Helicotechnology, FAN UzSSR, 1987, No. 5, P. 7–13.
6. Krutov V. I. et al. Technical Thermodynamics. Textbook for University Students, 3rd ed. - M.: High School. - 1991. - 384 s.
7. Grigoriev B. A. Pulsed heating by radiation. Characteristics of pulsed radiation and radiant heating. M.: Science, 1974.
8. Charugin V. M. Relic radiation. - M.: Knowledge, 1975. - 64 p.
9. Makarova E. A., Kharitonov A. V. The distribution of energy in the spectrum of the Sun and the solar constant. M.: Science, 1972. - 288 p.
10. Ludanov K. I., Likhoded S. I. The temperature in the focus of the solar furnace // Abstracts of the International Conference ME ИП, IPM NASU, Katsiveli. - 2008, pp. 402–403.
11. GOST 7601-78 (DSTU 2756-94) PHYSICAL OPTICS. Terms, letter designations and definitions of basic quantities. - M.: 1979.
12. Koltun M. M. Solar cells. - M.: "Science", 1987. - 192 p.
13. Zvereva S. V. In the world of sunlight. - L.: Gidrometeoizdat, 1988, - 160 p.
14. Ludanov KI. Exergetic efficiency of solar collectors. Ecotechnologies and resource saving. - 2006, № 5 - P. 68–72.
15. Strebkov D. S., Tver'yanovich E. V. Concentrators of solar radiation. - M.: GNU VIESH, 2007. - 316 p.
16. Kokorev L. S., Kharitonov V. V. Direct Energy Transformation and Thermonuclear Power Plants. - M.: Atomizdat, 1980. - 216 p.
17. Ludanov K. I. A method of converting highly concentrated solar radiation at a tower SES. Proceedings of the international conference "Energy Efficiency 2014". Minsk, 2014. - P. 66–67.
18. Shargut J., Petela R. EXERGY. M.: Energia, 1968. 280 p.
19. Bell L. N., Gudkov Нью D. The marginal efficiency of solar energy use: An analytical review of the proposed solutions. Helicotechnology, FAN UzSSR, 1987, No. 5, P. 7–13.
20. Krutov V. I. et al. Technical Thermodynamics. Textbook for University Students, 3rd ed. - M.: High School. - 1991. - 384 s.
21. Grigoriev B. A. Pulsed heating by radiation. Characteristics of pulsed radiation and radiant heating. M.: Science, 1974.
22. Charugin V. M. Relic radiation. - M.: Knowledge, 1975. - 64 p.
23. Makarova E. A., Kharitonov A. V. The distribution of energy in the spectrum of the Sun and the solar constant. M.: Science, 1972. - 288 p.

24. Ludanov K. I., Likhoded S. I. Temperature in the focus of the solar furnace. Abstracts of the International Conference ME, IPM NASU, Katsiveli. - 2008, pp. 402–403.
25. GOST 7601-78 (DSTU 2756-94) PHYSICAL OPTICS. Terms, letter designations and definitions of basic quantities. - М.: 1979.
26. Koltun, MM, Solar Elements. - М.: Science, 1987. - 192 p.
27. Zvereva S. V. In the world of sunlight. - L.: Gidrometeoizdat, 1988, - 160 p.
28. Ludanov K. I. Exergetic efficiency of solar collectors // Ecotechnologies and resource saving. - 2006, № 5 - P. 68–72.
29. Strebkov D. S., Tver'yanovich E.V. Concentrators of solar radiation. - М.: GNU VIESH, 2007. - 316 p.
30. Kokorev L. S., Kharitonov V. V. Direct Energy Transformation and Thermonuclear Power Plants. - М.: Atomizdat, 1980. - 216 p.
31. Ludanov K. I. A method of converting highly concentrated solar radiation at a tower SES. Proceedings of the International Conference "Energy Efficiency 2014". Minsk, 2014. - P. 66–67.

Прийнята до друку 15.10. 2019 р.

Лимонов Леонид Григорьевич, канд. техн. наук, научный консультант. Тел. +380503430181.

E-mail: lg11936@gmail.com

ООО НПО «Вертикаль», г. Харьков, Украина, Пр. Индустриальный, 10К

Соколовский Юлий Борисович, канд. техн. наук, член Научного Совета. Тел. +9720775640723.

E-mail: sokol1937y@gmail.com

Дом ученых, Хайфа, Израиль

БЕЗРЕДУКТОРНЫЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Применение ветроэнергетических установок имеет большой долгосрочный потенциал как высокоэффективный альтернативный источник дешевой энергии. Статья посвящена выполненным с участием авторов разработкам новых конструкций ветроэнергетических установок, которые повышают их энергетическую, экономическую и эксплуатационную эффективность. Разработки касаются конструкций, которые позволяют отказаться от использования редуктора для присоединения генератора, входящего в состав ветроэнергетической установки. Изложен принцип работы, в соответствии с которым в зависимости от величины напряжения генератора, то есть величины скорости ветротурбины, к тиристорному выпрямителю подключается одна из вторичных обмоток трансформатора при помощи включения соответствующей пары симисторов устройством выбора рабочей вторичной обмотки. Обосновано, что в качестве устройства выбора рабочей вторичной обмотки трансформатора может быть использовано любое аппаратное логическое или программно-логическое устройство, включающее в себя датчик напряжения генератора и пороговые элементы, которые будут производить включение соответствующей пары симисторов в зависимости от величины напряжения генератора. Обосновано, что приведенные разработки могут найти широкое применение при создании ВЭУ с ветротурбинами различной конструкции и назначения – с горизонтальной или вертикальной осью вращения, в состав которых входят генераторы для преобразования энергии ВП в электрическую. Доказано, что при создании ВЭУ промышленного или бытового назначения одной из основных задач представляется обеспечение приемлемого уровня экономической эффективности, реализуемое путем решения ряда технических задач.

Ключевые слова: ветроэнергетика; ветроэнергетическая установка; воздушный поток; трансформатор; вал; генератор.

Лімонов Леонід Григорович, канд. техн. наук, науковий консультант. Тел. +380503430181.

E-mail: lg11936@gmail.com

ООО НПО «Вертикаль», м. Харків, Україна, Пр. Індустріальний, 10К

Соколовський Юлій Борисович, канд. техн. наук, член Наукової Ради. Тел. +9720775640723.

E-mail: sokol1937y@gmail.com

Будинок вчених, Хайфа, Ізраїль

БЕЗРЕДУКТОРНІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

Використання вітроенергетичних установок має великий довгостроковий потенціал, як високоефективний альтернативне джерело дешевої енергії. У статті наведено авторські розробки нових конструкцій вітроенергетичних установок, які підвищують їх енергетичну, економічну та експлуатаційну ефективність. Розробки стосуються конструкцій, які дозволяють відмовитись від використання редукторів для приєднання генераторів, що знаходяться в установці вітроенергетичної установки. Викладено принцип роботи, відповідно до якого в залежності від величини напруги генератора, тобто величини швидкості вітротурбіни, до тиристорного випрямителя підключається одна з вторинних обмоток трансформатора за допомогою включення відповідної пари сімісторів пристроєм вибору робочої вторинної обмотки. Обґрунтовано, що в якості пристрою вибору робочої вторинної обмотки трансформатора може бути використано будь-який апаратний, логічний або програмно-логічний пристрій, що включає в себе датчик напруги генератора і порогові елементи, які будуть виробляти включення відповідної пари сімісторів в залежності від величини напруги генератора. Обґрунтовано, що наведені розробки можуть знайти широке застосування при створенні ВЕУ з вітротурбінами різної конструкції і призначення - з горизонтальною або вертикальною віссю обертання, до складу яких входять генератори для перетворення енергії ВП в електричну. Доведено, що при створенні ВЕУ промислового або побутового призначення однією з основних задач є забезпечення прийняттого рівня економічної ефективності, яке реалізується шляхом вирішення низки технічних завдань.

Ключові слова: вітроенергетика; вітроенергетична установка; повітряний потік; трансформатор; вал; генератор.

Limonov Leonid Grygorovych, Candidate of Engineering, Scientific Consultant. Tel. +380503430181
E-mail: lgl1936@gmail.com

NPO Vertikal Ltd., Kharkov, Ukraine, Ave. Industrialniy, 10K

Sokolovsky Julius Borisovich, Candidate of Engineering, member of the Scientific Council. Tel. +9720775640723
E-mail: sokol1937y@gmail.com

House of Scientists, Haifa, Israel

GEARLESS WIND POWER PLANTS

The use of wind farms has great long-term potential as a highly efficient alternative source of cheap energy. The article is devoted to the development of new designs of wind power plants with the participation of the authors, which increase their energy, economic and operational efficiency. The developments concern designs that allow the use of a gearbox to be disconnected to connect a generator included in a wind farm. The principle of operation according to which depending on the magnitude of the voltage of the generator, ie the magnitude of the wind turbine speed, is connected to the thyristor rectifier one of the secondary windings of the transformer by means of switching on the corresponding pair of triacs by the device of selecting the working secondary winding. It is substantiated that any hardware logic or software-logic device, including a generator voltage sensor and threshold elements, will be used as a device for selecting the secondary transformer winding of the transformer, which will activate the corresponding pair of triacs depending on the voltage value of the generator. It is substantiated that the above-mentioned developments can be widely used in the creation of wind turbines with wind turbines of various design and purpose - with a horizontal or vertical axis of rotation, which includes generators for converting the energy of VP into electrical. It has been proved that the creation of an industrial or domestic wind turbine is one of the main tasks of ensuring an acceptable level of economic efficiency, realized by solving a number of technical problems.

Keywords: wind power; wind power installation; air flow; transformer; shaft; generator.

Вступление

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) представляют собой один из эффективнейших альтернативных источников энергии. Угроза нехватки традиционных невозобновляемых источников энергии и рост зависимости от импортируемых видов топлива привели к активизации исследований, направленных на преобразование энергии воздушного потока (ВП) в пригодный для использования вид энергии [1-6]. Настоящая статья посвящена новым разработкам ВЭУ, применение которых позволяет отказаться от использования редукторов для привода электрических генераторов, входящих в состав силовой части ВЭУ.

Одна из задач, стоящих при разработке ВЭУ – получение электрической энергии с параметрами, пригодными для использования в промышленности или в бытовой технике при использовании низкоскоростных ВП. Применение специализированных низкооборотных электрических генераторов или повышающих редукторов в сочетании с электрическими генераторами стандартного исполнения снижает экономические показатели ВЭУ. Ниже приведены описания устройств, позволяющих получить требуемые промышленные параметры извлекаемой из ВП электроэнергии без применения специализированных электрических генераторов и понижающих редукторов, тем самым повышая технико-экономические показатели ВЭУ.

Изложение основного материала

ВЭУ с трехфазным генератором переменного тока [7] предназначена для стабилизации электрических параметров энергии, извлекаемой из энергии ВП переменной скорости, обеспечивая заряд аккумулятора в условиях широкого диапазона изменения скорости ВП. Устройство отличается повышенной эксплуатационной надежностью.

Схема этой ВЭУ представлена на Рис.1. Вал трехфазного генератора переменного тока G жестко присоединен к валу ветротурбины T . К генератору подключена первичная обмотка трехфазного многообмоточного трансформатора T_r , вторичные обмотки которого имеют различные коэффициенты трансформации. Первые концы вторичных обмоток трансформатора соединены между собой при помощи симисторов, которые включаются с

помощью управляющего устройства выбора рабочей вторичной обмотки в зависимости от величины напряжения генератора G. Вторые концы вторичных обмоток трансформатора Tr присоединены параллельно к трехфазному тиристорному выпрямителю, выпрямленное напряжение которого через сглаживающий фильтр F подключено к аккумулятору потребителя.

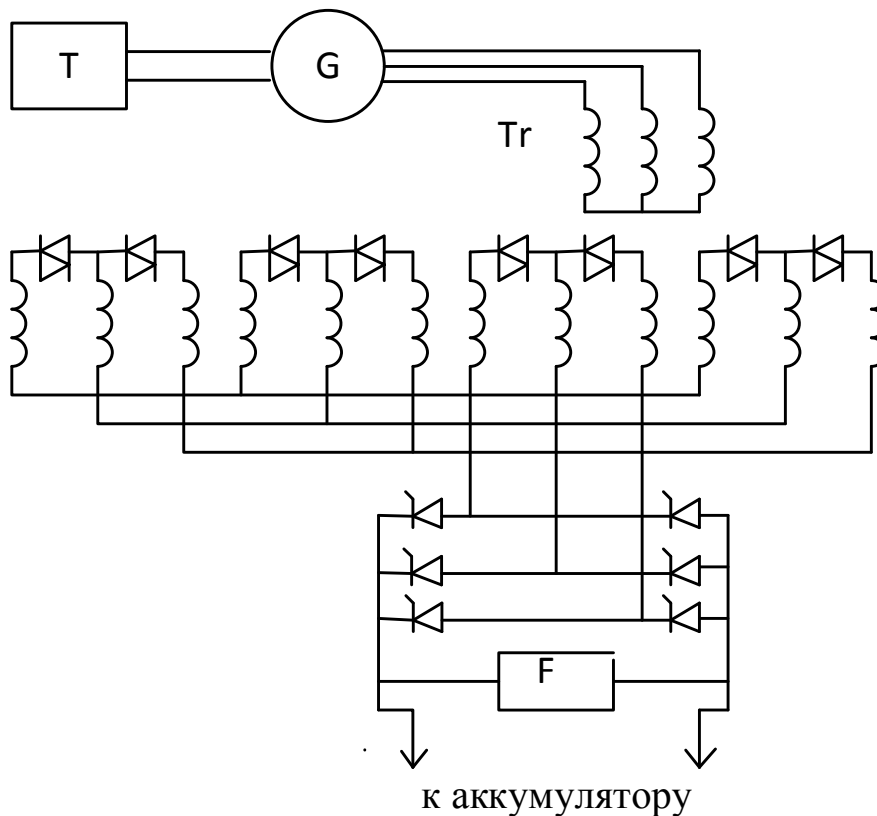


Рис.1. Схема ВЭУ с трехфазным генератором переменного тока

Работа схемы происходит следующим образом. В зависимости от величины напряжения генератора, то есть величины скорости ветротурбины, к тиристорному выпрямителю подключается одна из вторичных обмоток трансформатора при помощи включения соответствующей пары симисторов устройством выбора рабочей вторичной обмотки, в качестве устройства выбора рабочей вторичной обмотки трансформатора может быть использовано любое аппаратное логическое или программно-логическое устройство, включающее в себя датчик напряжения генератора и пороговые элементы, которые будут производить включение соответствующей пары симисторов в зависимости от величины напряжения генератора.

Каждая вторичная обмотка трансформатора работает в определенном диапазоне изменения скорости ВП и, соответственно, скорости ветротурбины. Параметры вторичных обмоток рассчитаны так, что при максимальном значении скорости ВП и ветротурбины в рабочем диапазоне выбранной вторичной обмотки и полностью «открытом» тиристорном преобразователе (минимально допустимый угол регулирования тиристоров) напряжение на выходе тиристорного преобразователя превышает напряжение аккумулятора. Заряд аккумулятора происходит путем снижения напряжения тиристорного преобразователя до требуемой величины (увеличением угла регулирования). При снижении скорости ветротурбины напряжение на выходе тиристорного преобразователя увеличивается, обеспечивая заряд аккумулятора, до тех пор, пока максимальное напряжение тиристорного

преобразователя не уменьшится до величины напряжения аккумулятора, и прекратится заряд последнего. В этот момент происходит отключение пары симисторов работавшей обмотки и включение пары симисторов следующей вторичной обмотки трансформатора. Подключенная вторичная обмотка трансформатора аналогично обеспечивает работу в соответствующем диапазоне скоростей вращения ветротурбины. Если в процессе работы произойдет увеличение скорости ветротурбины, то устройством выбора рабочей вторичной обмотки трансформатора будет произведено отключение работавшей и подключение к тиристорному преобразователю ранее работавшей вторичной обмотки трансформатора.

Количество вторичных обмоток трансформатора определяет общий диапазон полезно используемых скоростей ветротурбины, или, соответственно, диапазон полезного использования ВП.

Для иллюстрации возможностей рассмотренного устройства приведем пример расчета параметров устройства для случая использования четырех вторичных обмоток трансформатора.

Введем обозначения: U_G - напряжение генератора, U_d - напряжение тиристорного преобразователя, U_A - напряжение аккумулятора.

Первая вторичная обмотка трансформатора рассчитывается таким образом, чтобы при максимальном напряжении генератора и полностью «открытом» тиристорном преобразователе выпрямленное напряжение на его выходе было, например, в два раза больше номинального напряжения аккумулятора, то есть, $U_d = U_{dmax} = 2U_{Anom}$.

Очевидно, что при снижении скорости ветротурбины в два раза и, соответственно, снижении напряжения генератора до величины $U_G = 0,5U_{Gmax}$ напряжение на выходе тиристорного преобразователя снизится до величины $U_d = 0,5U_{dmax} = U_{Anom}$. Заряд аккумулятора прекратится, подключается вторая вторичная обмотка трансформатора.

Вторая обмотка рассчитывается так, чтобы при напряжении генератора $U_G = 0,5U_{Gmax}$ и полностью «открытом» тиристорном преобразователе выпрямленное напряжение на его выходе было также в два раза больше номинального напряжения аккумулятора $U_d = U_{dmax} = 2U_{Anom}$.

Тогда при снижении скорости ветротурбины еще в два раза и, соответственно, снижении напряжения генератора до величины $U_G = 0,25U_{Gmax}$ напряжение на выходе тиристорного преобразователя снизится до величины $U_d = 0,5U_{dmax} = U_{Anom}$. Заряд аккумулятора прекратится, подключается третья обмотка трансформатора.

Третья обмотка рассчитывается так, чтобы при напряжении генератора $U_G = 0,25U_{Gmax}$ и полностью «открытом» тиристорном преобразователе выпрямленное напряжение на его выходе было также в два раза больше номинального напряжения аккумулятора $U_d = U_{dmax} = 2U_{Anom}$.

Тогда при снижении скорости ветротурбины еще в два раза и, соответственно, снижении напряжения генератора до величины $U_G = 0,125U_{Gmax}$ напряжение на выходе тиристорного преобразователя снизится до величины $U_d = 0,5U_{dmax} = U_{Anom}$. Заряд аккумулятора прекратится, подключается четвертая обмотка трансформатора.

Четвертая обмотка рассчитывается так, чтобы при напряжении генератора $U_G = 0,125U_{Gmax}$ и полностью «открытом» тиристорном преобразователе выпрямленное напряжение на его выходе было также в два раза больше номинального напряжения аккумулятора $U_d = U_{dmax} = 2U_{Anom}$.

Следовательно при снижении скорости ветротурбины и, соответственно, снижении напряжения генератора до величины $U_G = 0,0625U_{Gmax}$ напряжение на выходе тиристорного преобразователя снизится до величины $U_d = 0,5U_{dmax} = U_{Anom}$. Заряд аккумулятора прекратится.

Таким образом, как видно из результатов приведенного расчета, рабочий диапазон изменения напряжения генератора, а, следовательно, и скорости ВП, при работе первой вторичной обмотки трансформатора будет от U_{Gmax} до $0,5U_{Gmax}$, при работе второй обмотки – от $0,5U_{Gmax}$ до $0,25U_{Gmax}$, при работе третьей обмотки – от $0,25U_{Gmax}$ до $0,125U_{Gmax}$, при работе четвертой обмотки – от $0,125U_{Gmax}$ до $0,0625U_{Gmax}$, а общий диапазон изменения полезно используемой скорости ВП при использовании трансформатора с 4-мя вторичными обмотками составит

$$\frac{U_{Gmax}}{0,0625U_{Gmax}} = 16:1$$

При использовании 5-ти вторичных обмоток трансформатора этот диапазон увеличится в два раза – 32:1.

Достоинства рассмотренного технического решения – упрощение механической части установки, возможность использования серийного электрического генератора со стандартными номинальными параметрами напряжения и скорости и расширенный диапазон скоростей полезно используемого ВП.

Безредукторная ВЭУ [8] предназначена для выработки электрической энергии, получаемой из энергии ВП при переменной скорости последнего. При изменении скорости ВП и, соответственно, скорости вращения ветротурбины и генератора в широких пределах обеспечивается повышение напряжения и стабилизация его на уровне зарядного напряжения блока аккумуляторов с последующей передачей получаемой энергии через сетевой инвертор в промышленную сеть.

Схема этой ВЭУ представлена на Рис.2.

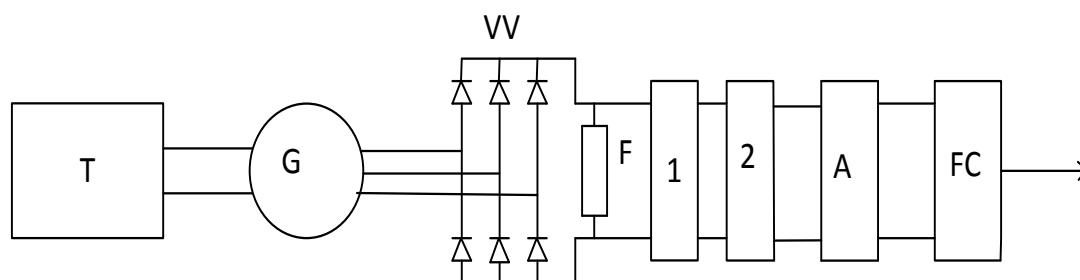


Рис.2. Безредукторная ВЭУ

Т – ветротурбина, G – трехфазный генератор, VV – трехфазный диодный выпрямитель, F – сглаживающий фильтр, 1 – первый импульсный бустерный стабилизатор напряжения, 2- второй импульсный бустерный стабилизатор напряжения, А – блок аккумуляторов, FC – сетевой автономный инвертор.

Работа схемы происходит следующим образом.

Во всем диапазоне изменения скорости ВП, а, значит скорости ветротурбины и напряжения генератора, подключенный к выпрямителю первый импульсный бустерный стабилизатор всегда обеспечивает стабилизацию напряжения на уровне части, например, 25% от уровня зарядного напряжения блока аккумуляторов, а подключенный к выходу первого бустерного стабилизатора напряжения второй импульсный бустерный стабилизатор в то же время обеспечивает увеличение и стабилизацию выпрямленного напряжения до уровня зарядного напряжения блока аккумуляторов. Это дает возможность получить на выходе автономного инвертора напряжение, соответствующее стандартному напряжению сети.

Учитывая, что диапазон возможного увеличения напряжения одним бустерным стабилизатором напряжения составляет 1:3÷1:5 [9], общий диапазон полезного

использования скорости ВП составит 1:9÷1:25, что и определяет основные полезные свойства рассматриваемой схемы ВЭУ.

Принципиальная схема импульсного бустерного стабилизатора приведена на Рис. 3.

На схеме обозначено: L - ненасыщающийся дроссель, K – силовой ключ, V – силовой отсекающий диод, C – управляющее устройство, F – сглаживающий фильтр напряжения бустерного стабилизатора, U_1 и U_2 – входное и выходное напряжения.

Работа схемы бустерного стабилизатора происходит в импульсном режиме следующим образом.

При замыкании силового ключа K управляющим устройством C ток от входного напряжения протекает через дроссель L, происходит запасание энергии в индуктивности дросселя. При размыкании силового ключа K управляющим устройством СУ запасенная дросселем D_r энергия с помощью ЭДС самоиндукции дросселя D_r передается на выход, увеличивая выходное напряжение, при этом отсекающий силовой диод D препятствует протеканию тока в обратном направлении. Таким образом обеспечивается заряд конденсаторов зарядного фильтра Ф и повышение напряжения на выходе.

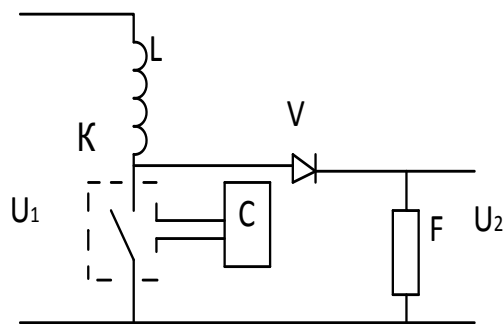


Рис.3. Импульсный бустерный стабилизатор напряжения

Преимущества предлагаемого устройства для ветроэнергетической установки - расширенный диапазон скорости полезно используемого ВП, упрощение кинематической схемы привода генератора ВЭУ, возможность применения серийного трехфазного генератора со стандартными параметрами, повышение эксплуатационной надежности установки.

Заключение

При создании ВЭУ промышленного или бытового назначения одной из основных задач представляется обеспечение приемлемого уровня экономической эффективности, реализуемое путем решения ряда технических задач.

Учитывая экономическую целесообразность и все более возрастающий интерес к ветроэнергетике, авторы считают, что рассмотренные в статье разработки могут найти широкое применение при создании ВЭУ с ветротурбинами различной конструкции и назначения – с горизонтальной или вертикальной осью вращения, в состав которых входят генераторы для преобразования энергии ВП в электрическую.

Список использованной литературы

1. Stichinski Z. A. Renewable energy sources. Theoretical foundations, technologies, technical characteristics, economics [Vozobnovliaemie istochniki energii. Teoreticheskie osnovi, tehnologii, tehnicheckie harakteristiki, ekonomika] / Z. A. Stichinski, N. I. Voropay, Otto-von-Guericke-Universitat, Magdeburg, 2010. - 203p.

2. Gordon V. V. Unconventional Renewables energy sources [Ntradicionie vozobnovliaemie istochniki energii] / V. V. Gubin, A. S. Matveev, Issn.Tomsk politechnical university. 2009. - 294 p.
3. Krivtsov V. S. Inexhaustible energy: Book 1. Wind power generators [Neischerpfemaia energiia: Kniga 1. Vetroenergogeneratori] / V. S. Krivtsov, A. M. Oleinikov, A. I. Iakovlev, Kharkov: "HAI" 2003. 203p.
4. Nonconventional and renewable energy sources (lecture course): stud. Allowance, Ntradicionie I vozobnovliaemie istochniki energii (kurs lekci) sost. V. A. Ageev. Saransk, 2014. – 184 p.
5. Wind power. Edited by D de Renzo [Vetroenergetika pod red D dt Renzo]. M: Energoatomizdat. 1982. – 271 p.
6. Sokolovski Y. B. Theoretical and technical basics of optimization of wind power plants [Teoreticheskie i tehnicheckie osnovi optimizacii vetrovih energeticheskikh ustanovok] / Y. B. Sokolovski, V. M. Rotkin, LuluPress, Inc. 2017. 112 p.
7. Limonov L. G. Wind power installation with a gearless drive electric generator [Vetroenergeticheskaia ustanovka s bezreduktornim privodom elektricheskogo generatora] / L. G. Limonov, Y. B. Sokolovski, Application for Patent Ukraine №201900792, 25.01.2019.
8. Limonov L. G. Non-gear wind power installation [Bezreduktornaia vetroenergeticheskaia ustanovka] / L. G. Limonov, Y. B. Sokolovski. Application for Patent Ukraine №201901300 08.02.2019.
9. Semenov B. Y. Power electronics for amateurs and professionals [Silivaia elektronika dlia lubiteley I profesionalov]. SOLON-R, M. 2001, 327 p.

References

1. Stichinski Z. A. Renewable energy sources. Theoretical foundations, technologies, technical characteristics, economics [Vozobnovliaemie istochniki energii. Teoreticheskie osnovi, tehnologii, tehnicheckie karakteristiki, ekonomika]. Z. A. Stichinski, N. I. Voropay, Otto-von-Guericke-Universitat, Magdeburg, 2010, 203 p.
2. Gordon V. V. Unconventional Renewables energy sources [Ntradicionie vozobnovliaemie istochniki energii]. V.V. Gubin, A. S. Matveev, Issn.Tomsk politechnical university. 2009. - 294 p.
3. Krivtsov V. S. Inexhaustible energy: Book 1. Wind power generators [Neischerpfemaia energiia: Kniga 1. Vetroenergogeneratori]. V. S. Krivtsov, A. M. Oleinikov, A. I. Iakovlev, Kharkov: "HAI" 2003, 203p.
4. Nonconventional and renewable energy sources (lecture course): stud. Allowance, Ntradicionie I vozobnovliaemie istochniki energii (kurs lekci) sost.. V. A. Ageev. Saransk, 2014, 184 p.
5. Wind power. Edited by D de Renzo [Vetroenergetika pod red D dt Renzo]. M: Energoatomizdat. 1982, 271 p.
6. Sokolovski Y. B. Theoretical and technical basics of optimization of wind power plants [Teoreticheskie i tehnicheckie osnovi optimizacii vetrovih energeticheskikh ustanovok]. Y.B. Sokolovski, V. M. Rotkin, LuluPress, Inc. 2017. 112 p.
7. Limonov L. G. Wind power installation with a gearless drive electric generator [Vetroenergeticheskaia ustanovka s bezreduktornim privodom elektricheskogo generatora]. L. G. Limonov, Y. B. Sokolovski, Application for Patent Ukraine №201900792, 25.01.2019.
8. Limonov L. G. Non-gear wind power installation [Bezreduktornaia vetroenergeticheskaia ustanovka]. L. G. Limonov, Y. B. Sokolovski. Application for Patent Ukraine №201901300 08.02.2019.
9. Semenov B. Y. Power electronics for amateurs and professionals [Silivaia elektronika dlia lubiteley I profesionalov]. SOLON-R, M. 2001, 327 p.

Прийнята до друку 21.10.2019 р.

Куріс Юрій Володимирович

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя, Україна, проспект Соборний, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006

ТЕМПЕРАТУРНІ РЕЖИМИ МЕТАНОГЕНЕЗУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

Розглянуто температурний режим зброджування органічних речовин та умови активної метаногенерації. На першому етапі анаеробного зброджування відбувається ферментативне гідролітичне розщеплювання органічних речовин широким спектром гідроліз-ферментів, що виділяються в середу анаеробними бактеріями і отримали назву бактерій – гідролітиків. Під дією гідролітиків високомолекулярні з'єднання (полісахариди, жири, білкові речовини) трансформуються в низькомолекулярні. Останні під дією кислотогенних бактерій (другий етап) перетворюються на летючі жирні кислоти, органічні кислоти, спирти, альдегіди, аміак, сірководень, двооксид вуглецю, водень і воду. Органічні кислоти, що утворилися, за винятком оцтової і мурашкової, під дією особливої групи бактерій – ацетогенів – перетворюються на оцтову і мурашину кислоти, водень і ін. В результаті перших трьох етапів – гідролітичного, кислотного і ацетогенного – в середовищі накопичується оцтова і мурашина кислоти, метиловий спирт, метиламін, водень, оксид і двооксид вуглецю, аміак, сірководень, оксид фосфору. Вказані з'єднання є основними субстратами для енергетичного обміну речовин особливої групи анаеробних бактерій, які вінчають складний процес розпаду біополімерів в анаеробних умовах. Встановлено, що деградація органічних речовин при метаногенезі здійснюється як багатоступінчатий процес, в якому вуглецеві зв'язки поступово руйнуються під дією різних груп мікроорганізмів. Метаноутворюючі бактерії пред'являють до умов свого існування значно вищі вимоги, ніж кислотоутворюючі - вони потребують абсолютно анаеробного середовища і вимагають тривалішого часу для відтворення. У якості критерія ефективності процесу запропоновано кількість додаткової товарної енергії, отриманої при обробці гною рівного об'єму з однаковими властивостями при різних температурних режимах – термофільному, мезофільному або психрофільному.

Ключові слова: метаногенез; ацетогени; органічні кислоти; гідроліз.

Куріс Юрій Владимирович

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина, проспект Соборный, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ МЕТАГЕНЕЗИСА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

Рассмотрены температурные режимы сбраживания органических веществ и условия активной метаногенерации. Показано, что на первом этапе анаэробного сбраживания происходит ферментативное гидролитическое расщепление органических веществ широким спектром гидролиз-ферментов, выделяемых в среду анаэробными бактериями, которые получили название бактерий - гидролитиков. Под действием гидролитиков высокомолекулярные соединения (полисахариды, жиры, белковые вещества) трансформируются в низкомолекулярные. Последние под действием кислотогенных бактерий (второй этап) превращаются в летучие жирные кислоты, органические кислоты, спирты, альдегиды, аммиак, сероводород, диоксид углерода, водород и воду. Образовавшиеся органические кислоты, за исключением уксусной и муравьиной, под действием особой группы бактерий - ацетогенов - превращаются в уксусную и муравьиную кислоты, водород и др. В результате первых трех этапов - гидролитического, кислотного и ацетогенного - в среде накапливается уксусная и муравьиная кислоты, метиловый спирт, метиламин, водород, оксид и диоксид углерода, аммиак, сероводород, оксид фосфора. Указанные соединения являются основными субстрактами для энергетического обмена веществ особой группы анаэробных бактерий, которые венчают сложный процесс распада биополимеров в анаэробных условиях. Установлено, что деградация органических веществ при метаногенезе осуществляется как многоступенчатый процесс, в котором углеродные связи постепенно разрушаются под действием различных групп микроорганизмов. Метанообразующие бактерии пред'являют к условиям своего существования значительно более высокие требования, чем кислотообразующие - они требуют абсолютно анаэробной среды и требуют длительного времени для воспроизводства. В качестве критерия эффективности процесса предложено количество дополнительной товарной энергии, полученной при обработке навоза равного объема с одинаковыми свойствами при различных температурных режимах - термофильном, мезофильном или психрофильном.

Ключевые слова: метаногенез; ацетогены; органические кислоты; гидролиз.

Kuris Yuriy Vladimirovich

Zaporozhia state engineering academy, Zaporozhe, Ukraine, av. Soborny, 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

TEMPERATURE MODES OF METHANOGENESIS AND TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR BIOGAS PRODUCTION

The temperature regimes of fermentation of organic substances and the conditions of active methane generation are considered. It was shown that at the first stage of anaerobic digestion, enzymatic hydrolytic decomposition of organic substances occurs by a wide range of hydrolysis enzymes secreted into the medium by anaerobic bacteria, which are called bacteria - hydrolytics. Under the influence of hydrolytics, high-molecular compounds (polysaccharides, fats, protein substances) are transformed into low-molecular ones. The latter, under the action of acidic bacteria (the second stage), turn into volatile fatty acids, organic acids, alcohols, aldehydes, ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, hydrogen and water. The resulting organic acids, with the exception of acetic and formic, under the action of a special group of bacteria - acetogens - turn into acetic and formic acids, hydrogen, etc. As a result of the first three stages - hydrolytic, acid and acetogenic - acetic and formic acid, methyl accumulate in the medium alcohol, methylamine, hydrogen, carbon monoxide and dioxide, ammonia, hydrogen sulfide, phosphorus oxide. These compounds are the main substrates for the energy metabolism of a special group of anaerobic bacteria, which crown the complex process of decomposition of biopolymers under anaerobic conditions. It was established that the degradation of organic substances during methanogenesis is carried out as a multi-stage process in which carbon bonds are gradually destroyed under the influence of various groups of microorganisms. Methane-forming bacteria impose significantly higher requirements on the conditions of their existence than acid-forming bacteria - they require an absolutely anaerobic environment and require a long time for reproduction. As a criterion for the efficiency of the process, the amount of additional marketable energy obtained during the processing of manure of equal volume with the same properties at different temperature conditions - thermophilic, mesophilic or psychrophilic is proposed.

Keywords: methanogenesis; acetogens; organic acids; hydrolysis.

Вступ

Згідно сучасним переконанням, анаеробне перетворення практично будь-якої складної органічної речовини на біогаз проходить через чотири послідовні стадії: стадія гідролізу складних біополімерних молекул (білків, ліпідів, полісахаридів і ін.) на простіші мономери: амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти і др.; стадія ферментації (бродиння) мономерів, що утворилися, до ще простіших речовин - нижчих кислот і спиртів, при цьому утворюються також вуглекислота і водень; ацетогенна стадія, на якій утворюються безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота; метаногенна стадія, яка веде до кінцевого продукту розщеплювання складних органічних речовин – метану.

Основний матеріал

На першому етапі анаеробного зброджування відбувається ферментативне гідролітичне розщеплювання органічних речовин широким спектром гідроліз-ферментів, що виділяються в середу анаеробними бактеріями і отримали назву бактерій – гідролітиків. Під дією гідролітиків високомолекулярні з'єднання (полісахариди, жири, білкові речовини) трансформуються в низькомолекулярні. Останні під дією кислотогенних бактерій (другий етап) перетворюються на летючі жирні кислоти, органічні кислоти, спирти, альдегіди, аміак, сірководень, двооксид вуглецю, водень і воду. Органічні кислоти, що утворилися, за винятком оцтової і мурашкової, під дією особливої групи бактерій – ацетогенів – перетворюються на оцтову і мурашину кислоти, водень і ін. В результаті перших трьох етапів – гідролітичного, кислотного і ацетогенного – в середовищі накопичується оцтова і мурашина кислоти, метиловий спирт, метиламін, водень, оксид і двооксид вуглецю, аміак, сірководень, оксид фосфору. Вказані з'єднання є основними субстратами для енергетичного обміну речовин особливої групи анаеробних бактерій, які вінчають складний процес розпаду біополімерів в анаеробних умовах [1], схемний (рис. 1).

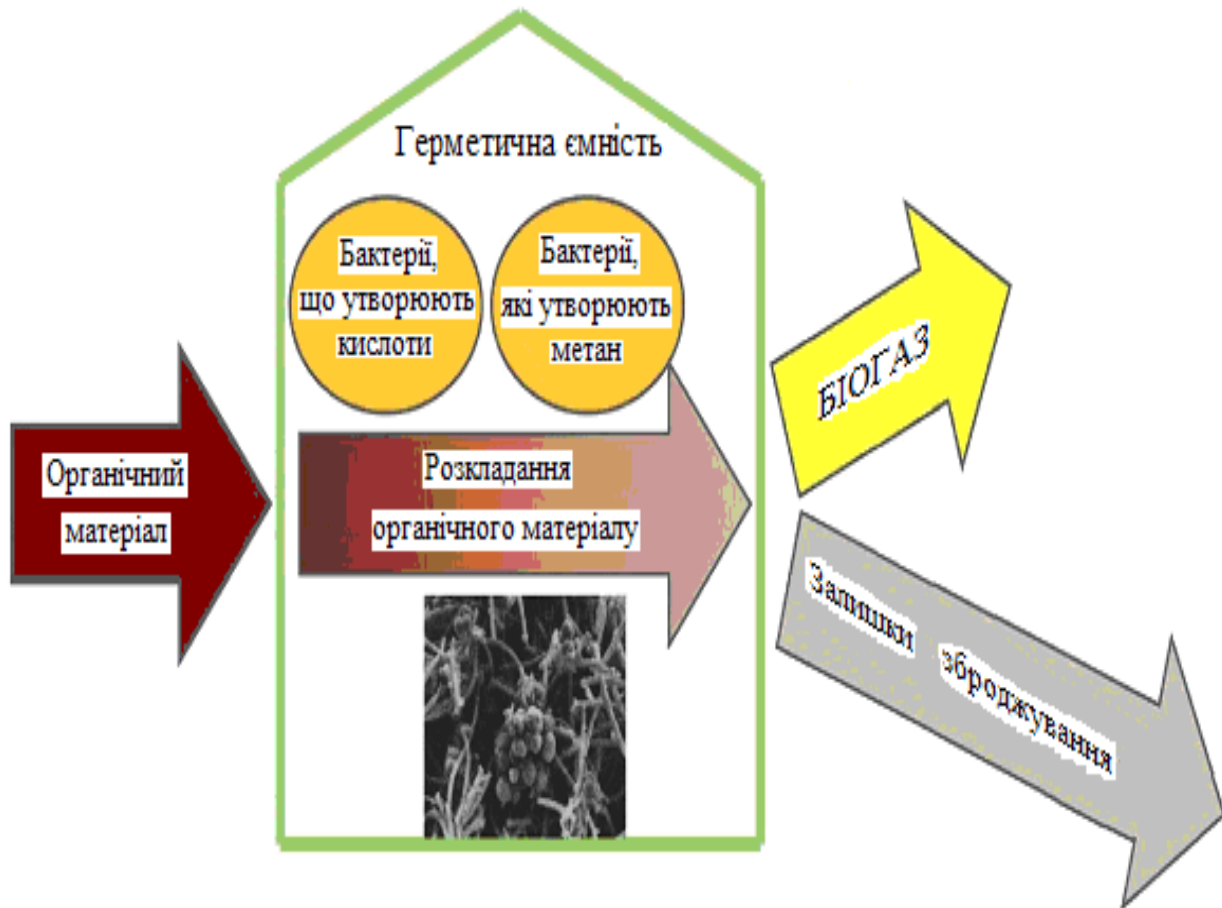


Рис. 1. Примітивна схема метаногенезу

Слід зазначити, що між стадіями гідролізу і бродіння немає чіткої межі, оскільки зазвичай мікроорганізми, що володіють гідролітичною активністю, використовують продукти гідролізу розщеплених ними з'єднань для свого зростання.

На рис. 2 представлена схема метаногенезу, яка відображає потоки вуглецю при деградації складних органічних речовин.

Ключовою реакцією, що визначає швидкість всього процесу, є реакція перетворення ацетату в метан при зброджуванні відходів, що містять полімери, лімітуючою є і стадія гідролізу.

Весь цей складний комплекс перетворень здійснює велика кількість мікроорганізмів, по деяких оцінках – до декількох сотень видів [2–11], серед яких переважають бактерії.

Кількісний і якісний склад мікрофлори сильно залежить від складу зброджуваних органічних речовин і умов, які створюються в навколишньому середовищі.

Проте, переважаючими групами мікроорганізмів є гідролітичні, бродильні, синтрофні і метанові, послідовно здійснюючі перераховані вище стадії анаеробного бродіння, при використанні різних субстратів деякі з них показані на рис. 3.

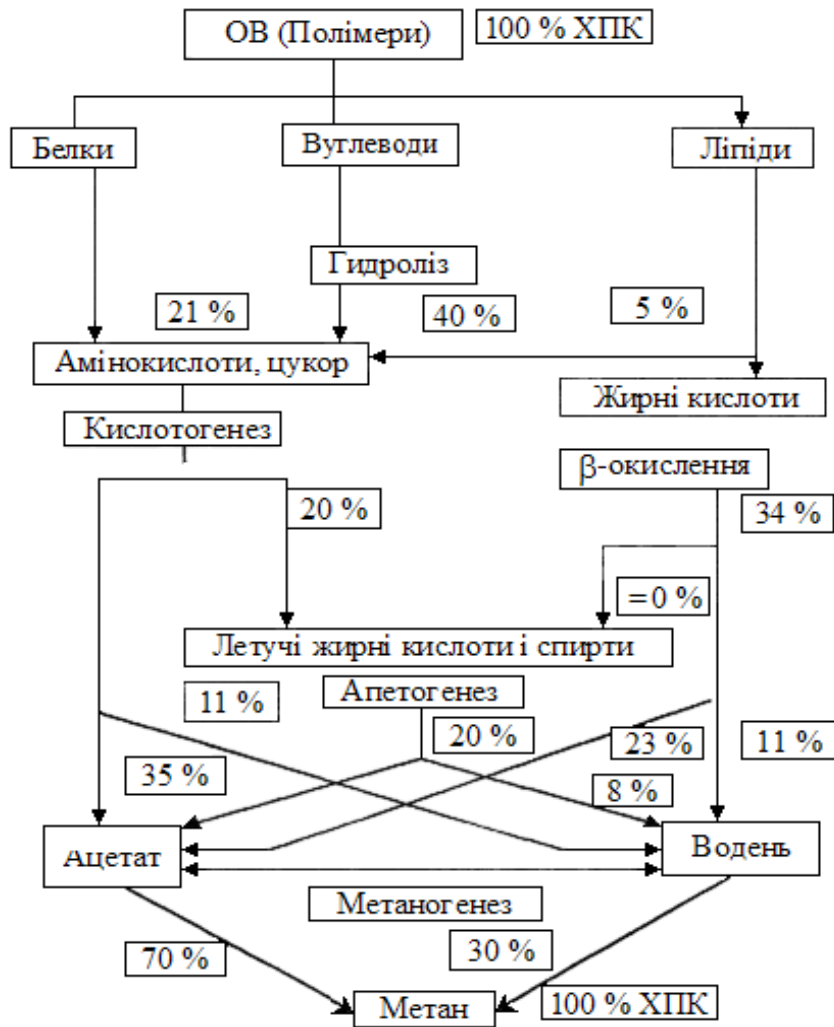


Рис. 2. Повна схема метаногенезу

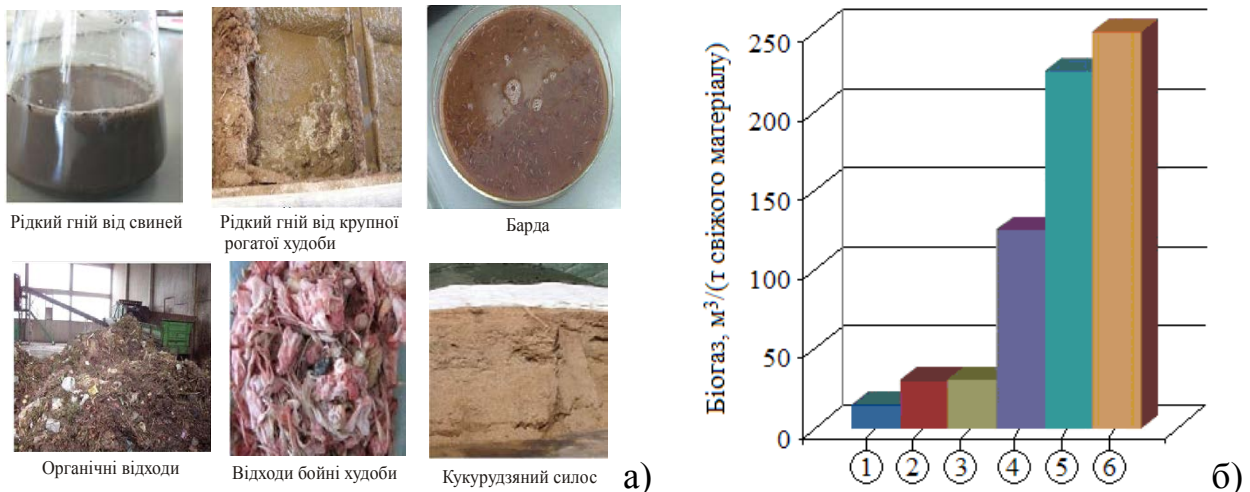


Рис. 3. Загальний вигляд відходів (а) та вихід біогазу з різних субстратів (б):
 1 – рідкий гній від свиней; 2 – рідкий гній від крупної рогатої худоби;
 3 –барда; 4 – органічні відходи; 5 – кукурудзяний силос;
 6 – відходи бойні худоби

Метаноутворюючі бактерії пред'являють до умов свого існування значно вищі вимоги, ніж кислотоутворюючі – вони потребують абсолютно анаеробного середовища і вимагають тривалішого часу для відтворення. Необхідні умови для активного утворення метану приводяться в таблиці 1.

Таблиця 1

Необхідні умови для активної метанової ферментації

Показники	Оптимальні значення	Граничні значення
Загальна лужність (по CaCO ₃)	1300...5000	1000...3000
Кислотність	6,9...7,2	6,4...7,8
Температура, °C	31...35	30...37
Виробництво метану, мЗ/кг	1,0...1,1	1,0...1,5

У метаногенному співтоваристві між групами мікроорганізмів існують тісні і складні взаємозв'язки, у тому числі і зворотні. Зважаючи на субстратну специфічність метаногенів, їх розвиток неможливий без трофічного зв'язку з бактеріями попередніх стадій. У свою чергу, метанові бактерії, використовуючи речовини, що продукуються первинними анаеробами, визначають швидкість реакцій, здійснюваних цими бактеріями. Діяльність співтовариства можна розглядати як єдине ціле, регуляція в якому має аналогії в багатоклітинних організмах.

На рис. 4 представлена запропонована Г. А. Заварзіним схема, що детально описує трофічні зв'язки між різними групами мікроорганізмів і їх взаємні регуляції при анаеробній деградації органічних речовин метановим біоценозом [10]. Первинні анаероби здійснюють розкладання органічних речовин до попередників метану: водню і вуглекислоти, ацетату, метанолу, метиламідів, форміату.

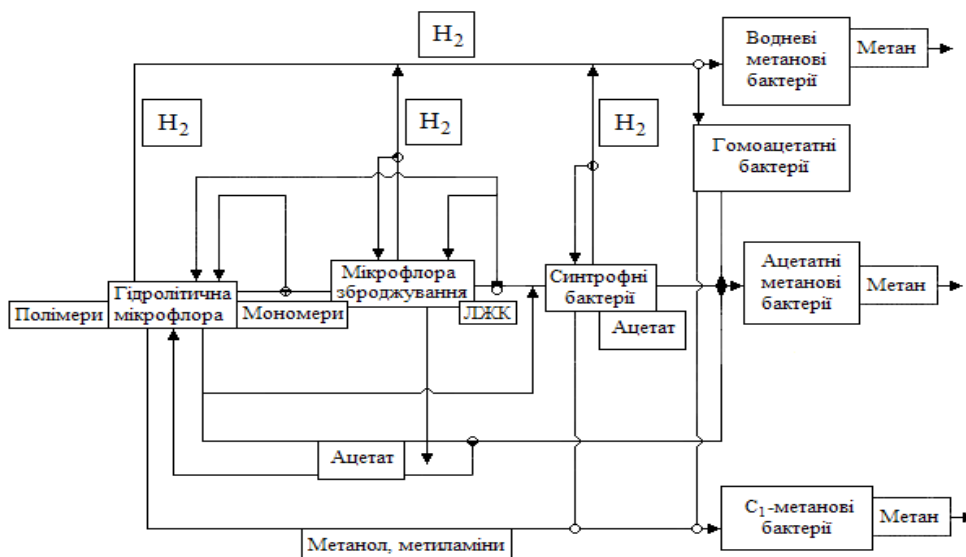


Рис. 4. Схема дії мікробного співтовариства (по Заварзіну)

Зважаючи на субстратну специфічність метаногенів, їх розвиток без трофічного зв'язку з бактеріями попередніх стадій неможливий. У свою чергу, метанові бактерії, використовуючи речовини, що продукуються первинними анаеробами, визначають можливість і швидкість реакцій, здійснюваних цими бактеріями. Центральним метаболітом, що здійснює регуляторну функцію в метаноутворюючому співтоваристві, є водень. За рахунок підтримки низького парціального тиску водню в системі стає можливим

його міжвидове перенесення, що міняє метаболізм первинних анаеробів у бік утворення безпосередніх попередників метану. Якщо водень з системи не видаляється, то утворюються більш відновлені продукти – летючі жирні кислоти і спирти. Метаболізм цих з'єднань здійснюється синтрофними бактеріями, для життєдіяльності яких скріплення водню, що утворюється метановими бактеріями, необхідне.

Перша фаза процесу анаеробного розкладання органічних сполук здійснюється гідролітичною і бродильною мікрофлорою. Основними природними полімерами є полісахариди, в першу чергу целюлоза, ксилан, крохмаль, пектин, а також білки, пептиди, нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди.

В цьому відношенні найбільш сприятливими є стоки, розчинені органічні речовини, що містять тільки. Якщо ж стоки містять зважені речовини, то їх гідроліз може стати лімітуючою стадією всього процесу анаеробної обробки [12].

Стосовно обробки гною і гнойових стоків, в яких завжди є зважені речовини, це означає, що у всіх випадках гідроліз є лімітуючою стадією.

Група ацетатвикористовуючих метаногенів є найбільш важливою для метаногенеза з органічних субстратів, оскільки при зброджуванні гною з ацетату, як проміжного продукту, утворюється більше 70 % метану. Розкладання ацетату з утворенням метану і вуглекислоти здатні здійснювати представники тільки двох пологів Метаносарцина і Метанотрікс. Метаносарцини схильні до вищих концентрацій ацетату і, як правило, виявляються в метантенках з високою швидкістю процесу, але не з глибоким зброджуванням субстрату. Метанотрікси мають велику спорідненість до ацетату і здатні використовувати його в концентраціях в 5 разів нижче, ніж метаносарцина. Ацетат, також як і водень, грає важливу регуляторну роль в співтоваристві.

Метаногенне співтовариство функціонує з найбільшою швидкістю при збалансованій чисельності бактерій в різних групах. Найбільша швидкість процесу досягається, коли чисельність метанових бактерій достатня для підтримки низької концентрації водню і ацетату. Швидкість росту метанових бактерій на порядки нижча, ніж первинних анаеробів. Особливо поволі ростуть ацетатвикористовуючі метанотрікси. У мезофільного метанотрікса час подвоєння 200...300 годин, у термофільного - приблизно в 5 разів менше. Зате первинні анаероби мають високу швидкість росту: чисельність гідролітиків подвоюється за 10...20 годин, а зброджувальників - за годину. Поволі ростуть синтрофні бактерії, їх час подвоєння оцінюється приблизно 100 годин.

Мікрофлора бродіння або необлігатні протонівідновлювальні бактерії споживають продукти гідролізу і мономірні з'єднання, присутні в початковому субстраті. Ця мікрофлора не здібна до гідролізу і використовує тільки низькомолекулярні речовини, часто присутні в малій концентрації. Продукти обміну у бактерій двох перших груп приблизно одні і ті ж: водень, вуглекислота, летючі жирні кислоти, спирти, ацетат. По утворюваних продуктах ця перша фаза бродіння, здійснювана первинними анаеробами, отримала назву кислотогенної або водневої.

Розкладання летючих жирних кислот і спиртів здійснюють синтрофні або протонівідновлювальні бактерії. Продуктами життєдіяльності синтрофних асоціацій є ацетат і метан, що утворюється з водню і вуглекислоти метановими бактеріями.

При проходженні зброджуваної маси по технологічній лінії відбувається розвиток необхідної мікрофлори. У мікрофлорі гною міститься необхідний набір мікроорганізмів для розвитку метаногенеза.

Метаногенні співтовариства природних екосистем розвивалися і склалися в процесі еволюції, і пристосування до змінних умов відбувається за тривалі проміжки часу. У штучних спорудах для анаеробної обробки відходів також відбувається розвиток метаногенного співтовариства, яке врешті-решт стає спеціалізованим для даного субстрату і фізико-хімічних умов середовища.

Тому основною вимогою до технологічних схем і конструктивних вирішень біогазових установок повинна бути їх здатність забезпечити збалансований розвиток метаногенного співтовариства. Стосовно анаеробної обробки гною, що має широкі межі зміни фізико-механічних властивостей і складу, це може бути досягнуто при застосуванні наступних схем і конструктивних вирішень реакторів.

При обробці підстилкового або напіврідкого гною з вологістю менше 90 %, проходження стадії гідролізу має першорядне значення. Для її здійснення заздалегідь розбавляють гній водою або рідкою фракцією збродженого гною.

Основною передумовою безперешкодного протікання процесу бродіння органічних відходів з високим вмістом сухої речовини є повне занурення твердих частинок в рідину. Ця рідина може бути використана як гнійова рідота, рідка фракція збродженого гною або вода з добавкою закваски.

Найбільш ефективно збродження підстилкового гною досягається при застосуванні схеми з рециркуляцією рідини, що отримується після розділення збродженого гною на фракції [13].

Технологічний процес здійснюється таким чином. Спочатку запуску біогазової установки твердий гній завантажують в метантенк і розбавляють водою до вологості 90...91 %, при якій виходить найбільше газовиділення. Надалі воду не додають.

Під час бродіння, суха органічна речовина розпадаючись, перетворюється в біогаз; при цьому відбувається поступове зниження кількості сухої речовини і, отже, підвищується вологість зброджуваного гною. У подальшому після додавання твердого гною у необхідній кількості і розподілу його рівномірно за всім обсягом метанотенка, вологість зброджуваного гною знижується до первинної.

Для збродження рідкого гною з метою поліпшення умов проходження стадій гідролізу, доцільно застосовувати попередній нагрів гною (рис. 5).

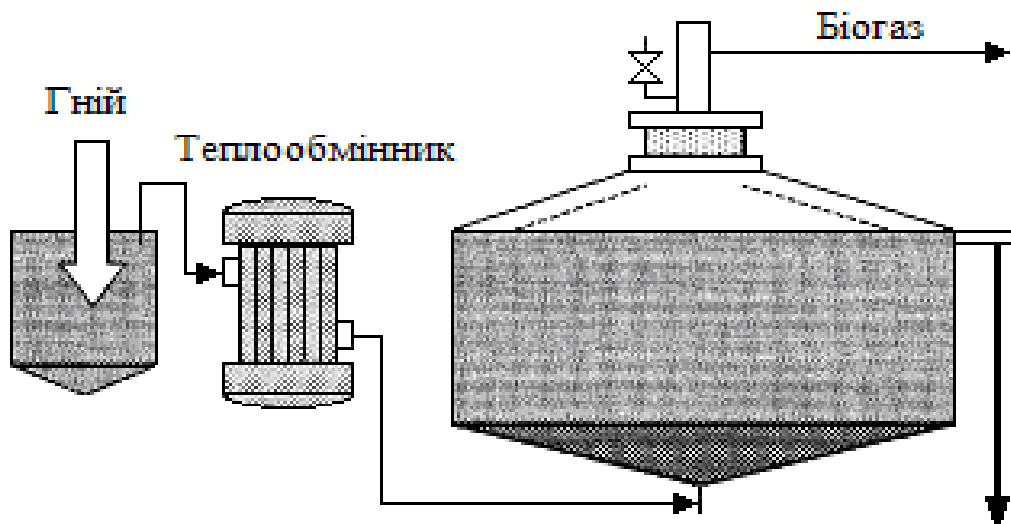


Рис. 5. Схема виробництва біогазу з попереднім нагрівом

Згідно схеми, гній заздалегідь нагрівається в установці для контактного нагріву до температури вибраного режиму зброджування витримується в проміжній ємкості і тільки тоді подається в метантенк. Цим методом здійснюється потрібна підготовка гною до зброджування і виключається можливість негативної дії на життєдіяльність метаноутворюючих бактерій, оскільки температура гною, що поступає, приймається рівній температурі гною в метантенці [14]. В цьому випадку застосування попереднього нагріву дозволяє забезпечити ефективне проведення гідролізу початкового гною і підготувати його

для використання синтрофними і метаногенними бактеріями. В результаті досягається значне підвищення інтенсивності бродіння і, отже, виходу біогазу.

При зброджуванні напіврідкого і рідкого гною останню обставину має першорядне значення, оскільки компенсувати втрати активної біомаси можна завжди шляхом збільшення тривалості обробки. У такому гної є достатня концентрація органічних речовин для розвитку нових синтрофних і ацетатвикористовуючих бактерій.

Проте для зброджування гнойових стоків і продуктів їх обробки (фугату, мулу, опадів відстійників), у складі яких є незначна кількість органічних речовин, необхідні реактори, що використовують принцип утримання активної біомаси (анаеробні біофільтри або контактні реактори з рециркуляцією осаду). У цих реакторах збалансований розвиток метаногенного співтовариства забезпечується за рахунок різних насадок, що утримують біомасу або пристроїв для її рециклу (рис. 6) [15, 16].

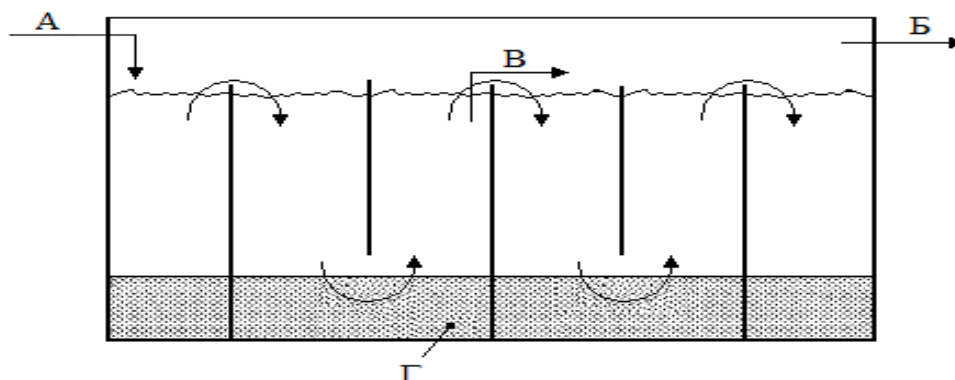


Рис. 6. Схема анаеробного біофільтру: А – початковий гнойовий стік; Б – біогаз; В – очищений стік; Г – завантажувальний матеріал

Як такі матеріали можуть бути використані склотканина, флізелін, капронове волокно або різні наповнювачі, такі як пластмасові ґрати, сітки або керамзит. Проте питання застосування найбільш ефективного матеріалу до цих пір не досліджене.

Анаеробний біофільтр представляє по суті справи анаеробний реактор послідовного витіснення з перегородками, в якому поміщені пристрої для утримання біомаси. Освітлений стік, проходячи послідовно через 4 секції, в яких розташовані носії, зброджується, внаслідок чого виходить біогаз і очищений від органіки стік. Це також одне з перспективних рішень для отримання біогазу в технологіях очищення гнойових стоків, яке до цих пір не досліджене [15, 16].

Застосування розглянутих вище технологій для отримання біогазу з гною різного вигляду і складу дозволяє забезпечити оптимальний зміст летючих жирних кислот (50...500 мг/л), необхідний для активної збалансованої життєдіяльності мікробного співтовариства в реакторах при певних температурних режимах. Технологічне устаткування для здійснення такої технології наведено на рис. 7.

У практиці анаеробної обробки гною зазвичай застосовують два режими метаногенезу: мезофільний при 35...40 °С і термофільний при 50...55 °С. У цих межах знаходиться температурний оптимум розвитку більшості представників основних груп мезофільних і термофільних анаеробних бактерій, що беруть участь в розкладанні складних органічних речовин з утворенням метану в рубці жуйних, шлунково-кишковому тракті моногастрічних тварин, метанотенках, мулах прісноводних водоймищ, ґрунті.

При зброджуванні свіжого гною КРС спонтанною мікрофлорою виявляються два чіткі максимуми утворення метану при 37...40 °С і 50...52 °С. Активні термофільна і мезофільна мікробні асоціації з гною КРС можуть бути отримані достатньо легко при дотриманні строгого анаеробіозупри постійній температурі в умовах періодичного процесу,

коли порція свіжого субстрата подається після того, як спостерігається помітне зниження швидкості утворення метану.

Для мезофільного співтовариства з гною КРС оптимальною є температура 39...40 °С, при цьому швидкість утворення метану на 20...30 % вища, ніж при 35 °С. Це підтверджується навіть при дослідженні проб збродженої маси з метанотенков, що постійно працюють при температурі 35 °С.

Тому вибір температурного режиму збродження не слід пов'язувати з умовами активної метаногенерації. Він може бути зроблений на основі порівняння технічних показників виробництва біогазу (продуктивності і витрат теплової енергії на забезпечення процесу).

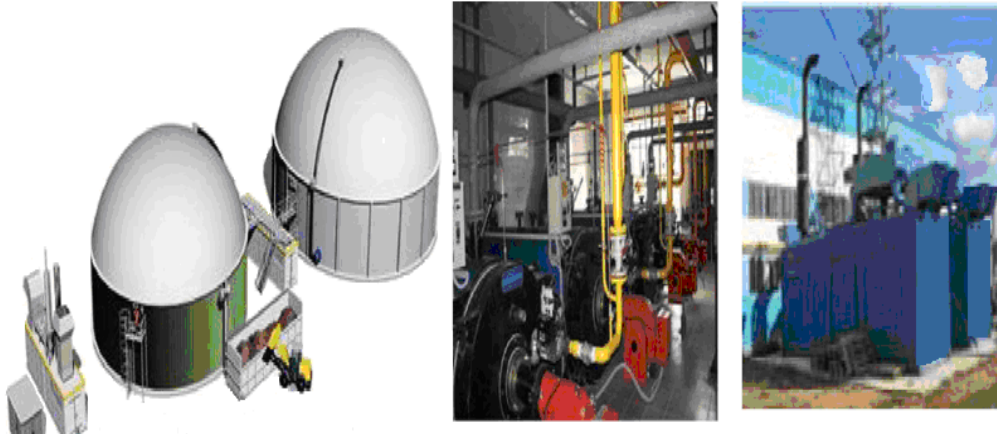


Рис. 7. Технологічне устаткування

Як такий критерій може бути кількість додаткової товарної енергії, отриманої при обробці гною рівного об'єму з однаковими властивостями при різних температурних режимах, – термофільном, мезофільном або психрофільном.

Висновок

Як таким, критерієм може бути кількість додаткової товарної енергії, отриманої при обробці гною рівного об'єму з однаковими властивостями при різних температурних режимах – термофільному, мезофільному або психрофільному.

Список використаної літератури

1. Майстренко О. Ю. Біогазові установки та методи їх розрахунку: Міжнародна конференція «Наука і Інновації 2009» / О. Ю. Майстренко, Ю. В. Куріс, О. В. Ряснова // Poland. – 2009. – С. 6–14.
2. Майстренко, О. Ю. Розробка математичної моделі процесів розвитку мікроорганізмів в рамках біоенергетики біомаси / О. Ю. Майстренко, Ю. В. Куріс, Ю. С. Калінцева // Фаховий журнал “Новини Енергетики”. Київ, – № 2. – 2010. – С. 32–39.
3. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование // М.: РХД, 2004. – 288 с.
4. Габайдуллин М. Р., Сиразетдинов Б. Р., Сиразетдинов Т. К. Динамическая модель развития микроорганизмов в закрытом контейнере // Сборник тезисов международной конференции "Моделирование и оптимизация сложных систем". – Киев, 2001. – Т1. – С. 112–114
5. Гвиннер Э. Годовые ритмы: общая перспектива // Биологические ритмы, т. 1, 1984, М.: Мир, С. 44–54.
6. Денисова Ю.К., Недорезов Л.В. Об одной модификационной модели Ферхюльста динамики численности изолированной популяции // Биоразнообразие и динамика экосистем Северной Евразии: информационные технологии и моделирование (УИТА'2001) –Новосибирск, 2001.
7. Шевелуха В. С., Калашникова Е. А., Воронин Е. С. и др. Сельскохозяйственная биотехнология: Учебн / Под редак. В. С. Шевелухи – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2003. – 469 с.
8. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки: Монографія / Вінниц. нац. техн. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с.

9. Курис Ю. В. Систематизация существующих биогазовых установок и пути повышение выработки биоэнергетического топлива в анаэробном реакторе / Ю. В. Курис, А. Ю. Майстренко, С. И. Ткаченко // Профессиональный журнал "Промышленная электроэнергетика". Киев, – № 6. – 2009. – С. 15–21.
10. David J., Steward D., Badger M., Boque M. J. Crops and energy Production. – In: Anaerobic digestion 1981. Proc. 2nd Intern, symp. anaerobic digestion. Travemünde, 6–11 Sept., 1981, Amsterdam etc., 1982. – 429 p.
11. Design and Construction of Biogas Digesters in Rural Areas of China. The Sth UNDP-FAO-China International Biogas Training Course, April 1986, hengdu, Sichuan Province.
12. Grundew I. Anaerobic digestion of farm wastes. Current stade of evelopment in UK agriculture. – Livestock Waste. Renewable Resource, 1980, vol. 2, p. 126–128.
13. Баадер В., Доне Е., Брайндерфер М. Биогаз: теория и практика. (Пер. с нем. и предисловие М.И.Серебрякого). М. Колос, 1982. – 148 с.
14. Куріс Ю. В. Підвищення теплотехнічних та технологічних показників спалювання біогазу в теплогенеруючому обладнанні: Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук, НУХТ, Київ, 2007. – 130 с.
15. Schulz, T. J.; Barnes, D. The stratified facultative lagoon for the treatment and storage of high strength agricultural wastewaters. 1988. Centre for Wastewater Treatment, School of Civil Engineering, The University of New South Wales, Po Box 1, Kensington, N.S.W. 2033 Australia, (unpublished).
16. Гюнтер Л. И., Гольдфраб Л. Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 28 с.

References

1. Maystrenko O. Yu. Biogas plants and methods for their calculation: International conference "Nauka I Inowacja 2009". O. Yu Maystrenko, Yu. V. Kuris, O. V. Rjasnova. Poland. - 2009. - pp. 6-14.
2. Maistrenko, O. Yu. Development of mathematical model of microorganism development processes in the framework of biomass bioenergy. O.Yu. Maystrenko, Yu.V. Kuris, Yu.S. Kalintseva. Professional Journal "Energy News". Kyiv, - No. 2. - 2010. - P. 32-39.
3. Volterra V. Mathematical theory of struggle for existence. Moscow: RHD, 2004. - 288 p.
4. Gabaydullin M. R., Sireztdinov B. R., Sirazetdinov TK Dynamic model of development of microorganisms in a closed container. Collection of abstracts of the international conference "Simulation and optimization of complex systems". - Kiev, 2001. - T1. - P. 112-114
5. Gwinner E. Annual rhythms: a general perspective. Biological rhythms, Vol. 1, 1984, Moscow: Mir, S. 44-54.
6. Denisova Yu.K., Nedorezov L.V. On one modification model of Ferhülst dynamics of the population of an isolated population. Biodiversity and dynamics of the ecosystems of Northern Eurasia: information technologies and modeling (UITA'2001) - Novosibirsk, 2001.
7. Shevelukha B. C., Kalashnikova EA, Voronin E. S., et al. Agricultural biotechnology: Textbook. ed. B. C. Shevelukhii - 2nd ed., Pererab. and add - M.: Vyssh. Shk., 2003. - 469 p.
8. Tkachenko S.Y., Stepanov D.V. Heat exchange and hydrodynamic processes in the elements of energy supply of biogas plant: Monograph. Vinnitsa. nats tech un - Vinnytsya: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2004. - 132 с.
9. Kuris Yu. V. Systematization of existing biogas plants and ways to increase bioenergy fuel production in an anaerobic reactor. Yu. V. Kuris, A. Yu. Maystrenko, S.I. Tkachenko. Professional journal "Industrial electric power industry". Kiev, - No. 6. - 2009. - P. 15-21.
10. David J., Steward D., Badger M., Boque M. J. Crops and Energy Production. - In: Anaerobic digestion 1981. Proc. 2nd intern, symp. anaerobic digestion Travemünde, September 6-11, 1981, Amsterdam etc., 1982. - 429p.
11. Design and Construction of Biogas Digesters in Rural Areas of China. The Sth UNDP-FAO-China International Biogas Training Course, April 1986, Hengdu, Sichuan Province.
12. Grundew I. Anaerobic digestion of farm waste. Current stade of development in UK agriculture. - Livestock Waste Renewable Resource, 1980, vol. 2, p. 126-128
13. Baader V., Don Ye., Breinderfer M. Biogas: Theory and Practice. (Peres with him and the foreword of MI Serebryaky). M. Kolos, 1982. - 148 pp.
14. Kuris Yu. V. Improvement of heat engineering and technological indicators of biogas combustion in heat generating equipment: Thesis for obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences, NUKHT, Kyiv, 2007. - 130 p.
15. Schulz, T. J., Barnes, D. The stratified facultative lagoon for the treatment and storage of high-strength agricultural wastewaters. 1988. Center for Wastewater Treatment, School of Civil Engineering, University of New South Wales, Po Box 1, Kensington, N.S.W. 2033 Australia (unpublished).
16. Gunther L.I., Goldtrab L. L. Metantenka. - Moscow: Stroyizdat, 1991. - 28 p.

Прийната до друку 16.10. 2019 р.

Нефедов Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент. Тел. +38-057-705-35-39.

E-mail: yuriy_nefedov@mail.ru

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина. Пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166

ДАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА – АЛЬТЕРНАТИВА НАПОРА ВОДЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье показано, что увеличение давления потока воды в гидросистеме после гидравлического удара (гидроудара) можно использовать для вращения гидротурбины электростанции так же, как и при повышении для этого напора воды в плотинных гидроэлектростанциях. Показаны возможности применения гидроаккумуляторов для стабилизации давления и расхода воды после гидроудара. Рассматриваются основные закономерности протекания полного и не полного гидроудара. Раскрыты преимущества гидроударных электростанций по сравнению с плотинными гидроэлектростанциями и со всеми иными электростанциями такой же мощности. К неоспоримым преимуществам относятся прежде всего отсутствие необходимости потребления энергии от внешних источников, низкие затраты на проектирование, изготовление и эксплуатацию. В качестве источника возобновляемой энергии используются силы инерции постоянного объема циркулирующей воды. Малые габариты гидроударных электростанций позволяют использовать их непосредственно в месте потребления электроэнергии, поэтому исключаются потери при её транспортировке. Гидроударные электростанции не влияют на изменения окружающей среды, не загрязняют воду, воздух и почву. За счет регулирования работы клапанов можно существенно повысить выходную мощность электростанции, используя быстродействующие современные электромагнитные клапаны или клапаны с электроприводом, включение и отключение которых осуществляется по заданной программе. Исследуется возможность использования разработанной гидроударной установки для вращения ковшовой гидротурбины и производства электроэнергии. Широкое внедрение гидроударных электростанций повышенной мощности позволит навсегда избавиться от использования дорогостоящих энергоносителей и сохранить в чистоте среду обитания человека.

Ключевые слова: гидроудар; гидротурбина; гидроаккумулятор; гидроэлектростанция.

Нефедов Юрій Іванович, канд. техн. наук, доцент, Тел. +38-057-705-35-39.

E-mail: yuriy_nefedov@mail.ru

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна. Пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166

ТИСК ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ – АЛЬТЕРНАТИВА НАПОРУ ВОДИ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

У статті показано, що збільшення тиску потоку води в гідросистемі після гідравлічного удару (гідроудару) можна використовувати для обертання гідротурбіни електростанції так само, як і при підвищенні для цього напору води в гребельних гідроелектростанціях. Показано можливості застосування гідроаккумуляторів для стабілізації тиску і витрати води після гідроудару. Розглядаються основні закономірності перебігу повного і неповного гідроудару. Розкрито переваги гідроударних електростанцій в порівнянні з греблею гідроелектростанції і з усіма іншими електростанціями такої ж потужності. До незаперечних переваг відносяться перш за все відсутність необхідності споживання енергії від зовнішніх джерел, низькі витрати на проектування, виготовлення та експлуатацію. Як джерело відновлюваної енергії використовуються сили інерції постійного об'єму циркулюючої води. Малі габарити гідроударних електростанцій дозволяють використовувати їх безпосередньо в місці споживання електроенергії, тому виключаються втрати при її транспортуванні. Гідроударні електростанції не впливають на зміни навколишнього середовища, не забруднюють воду, повітря і ґрунт. За рахунок регулювання роботи клапанів можна істотно підвищити вихідну потужність електростанції, використовуючи швидкодіючі сучасні електромагнітні клапани або клапани з електроприводом, вмикання або вимикання яких здійснюється за заданою програмою. Досліджується можливість використання розробленої гідроударної установки для обертання ковшової гідротурбіни і виробництва електроенергії. Широке впровадження гідроударних електростанцій підвищеної потужності дозволить назавжди позбутися від використання дорогих енергоносіїв та зберегти в чистоті середовище проживання людини.

Ключові слова: гідроудар; гідротурбіна; гідроаккумулятор; гідроелектростанція.

Nefedov Yuriy Ivanovich, Candidate of Engineering, Associate Professor. Tel. +38-057-705-35-39.
E-mail: yuriy_nefedov@mail.ru
Kharkov National University of Radio electronics. Kharkov, Ukraine. Ave. Nauky, 14, Kharkov, Ukraine, 61166

HYDRAULIC BLOW PRESSURE – AN ALTERNATIVE TO WATER PRESSURE IN HYDROELECTRIC POWER STATIONS

The article shows that an increase in the pressure of the water flow in the hydraulic system after a hydraulic shock (water hammer) can be used to rotate the hydroturbine of a power plant in the same way as when the water pressure is increased in dam hydroelectric plants. The possibilities of using accumulators to stabilize the pressure and flow rate of water after a water hammer are shown. The basic laws of the course of complete and incomplete hydroblow are considered. The advantages of hydraulic shock power plants in comparison with dam hydroelectric power stations and with all other power plants of the same capacity are disclosed. Indisputable advantages include, first of all, the absence of the need for energy consumption from external sources, low costs for design, manufacture and operation. The inertia forces of a constant volume of circulating water are used as a source of renewable energy. The small dimensions of hydroshock power plants make it possible to use them directly in the place of electricity consumption, therefore losses during its transportation are excluded. Water hammer power plants do not affect environmental changes, do not pollute water, air and soil. By regulating the operation of the valves, it is possible to significantly increase the power output of the power plant using modern high-speed solenoid valves or electric valves, which are turned on and off according to a given program. The possibility of using the developed hydraulic shock installation to rotate a bucket hydraulic turbine and generate electricity is being investigated. The widespread introduction of high-impact hydroelectric power plants will permanently get rid of the use of expensive energy sources and keep the human environment clean.

Keywords: hydraulic blow; hydraulic turbine; hydraulic accumulator; hydroelectric power station.

Введение

Гидравлический удар (гидроудар) был впервые исследован в начале 20 века Н. Е. Жуковским как явление, связанное с сильным повышением давления при быстром торможении или ускорении потока жидкости, в результате чего возможен разрыв гидросистемы. Если движущийся поток жидкости уменьшает скорость своего движения перед сужением гидросистемы, например, в результате прохождения узкого сечения открытого отбойного клапана гидротарана, то, согласно уравнению Бернули, в узком сечении клапана статическое давление жидкости уменьшается и, наоборот, перед ним статическое давление увеличивается. В результате такого перепада давлений отбойный клапан закрывается и возникает гидроудар с образованием ударной волны высокого давления, распространяющейся в жидкости со скоростью звука (для воды $C = 1400$ м/с) с амплитудой давления

$$p = \rho vC, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости;
 v – максимальная скорость потока.

Даже при сравнительно небольшой скорости потока воды $v=1$ м/с, амплитуда давления составляет ~ 14 атм. И лишь незначительная его часть (до 20 %) используется в гидротаранных установках для подъёма воды. Разработанные современные технологии позволяют не только использовать бóльшую часть энергии давления гидроудара для выполнения полезной работы, но и значительно увеличить давление гидроудара [1, 2, 3]. Энергия в гидроударных системах вырабатывается при быстрых изменениях скорости течения воды, вызванных её торможением или ускорением, т. е. за счёт инерции потока. Инерционные изменения состояния жидкости мало изучены, но уже давно используются в гидро – и тепло энергетических системах: в гидротаранах (насосах), в роторно-импульсных аппаратах, применяемых для обработки продуктов и полезных ископаемых в пищевой и фармацевтической промышленности [4], в горно-добывающей промышленности, в ударно-импульсных механизмах используемых в фонтанах и для полива растений, где струи воды переносятся на расстояния более 50 м, в гидроударных электростанциях [1, 2, 3], в

кавитационных теплогенераторах [5] и пр. По принципу отбора энергии все гидроударные системы можно разделить на 2 основные группы: гидроударные системы, в которых имеет место полный гидроудар и дискретно-импульсные, где осуществляется неполный гидроудар. Рассмотрим особенности отбора энергии в каждой из этих групп.

Отбор энергии при полном гидроударе

При быстром торможении потока жидкости, когда время торможения t_1 (время перекрытия потока) меньше длительности фазы гидроудара τ , в месте торможения возникает полный гидроудар с образованием ударной волны, распространяющейся со скоростью звука C и амплитудой давления, определяемой по формуле Жуковского (1). Рассмотрим особенности протекания полного и не полного гидроудара на примере работы гидроударной электростанции небольшой мощности [1]. Блок-схема гидроударной электростанции в разрезе приведена на рис. 1, где изображены: водопроводная труба с краном 1, напорный бак 2, напорная труба 3 высотой $h=2$ м, пусковой кран 4, обратный клапан 5 с противовесом 6, питающая труба 7, отбойный клапан 8 с противовесом 9, нагнетательный клапан 10 с противовесом 11, водовод 12, манометр 13, гидроаккумулятор 14, клапан рабочего давления 15, труба рабочего давления с соплом на конце 16, гидрогенератор 17, состоящий из гидротурбины и электрогенератора, распределительный электрощит 18, вертикальная труба 19, труба отвода отработанной воды 20, электронасос 21, напорный трубопровод 22, соединительные электрические проводники 23. Напорный бак 2 через водопроводную трубу 1 наполняется водой и пусковой кран 4 открывается. Вода через открытый обратный клапан 5 поступает в питающую трубу 7 и далее через узкое сечение открытого отбойного клапана 8 вытекает, создавая полный гидроудар, при котором отбойный клапан 8 закрывается. Образующаяся ударная волна высоким давлением закрывает обратный клапан 5 и открывает нагнетательный клапан 10, через который вода поступает в водовод 12 и высоким давлением закрывает нагнетательный клапан 10.

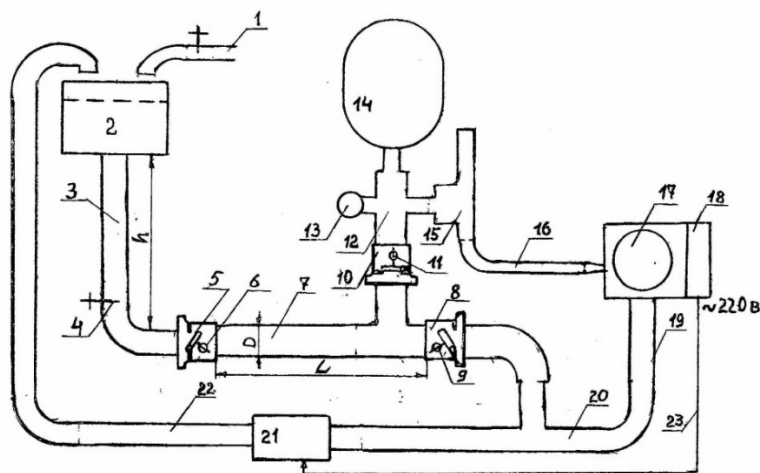


Рис. 1. Блок-схема гидроударной электростанции

В питающей трубе 7 создается разрежение, в результате чего отбойный 8 и обратный 5 клапаны открываются, как показано на рис. 1. Как будет показано далее, кратковременная задержка потока воды у закрытого отбойного клапана 5 позволяет увеличить скорость потока после открытия. Если создать скорость потока, например, $v=6$ м/с, то амплитуда давления ударной волны (1) составит 84 атм. Такого давления вполне достаточно для

вращения турбин гидроударных электростанций и для нагрева воды в системах отопления [1, 2, 5, 6]. Однако для вращения гидротурбины электростанции необходимо использовать поток воды с постоянными давлением p (напором H) и расходом Q . Поэтому амплитуду давления ударной волны (1) и расход надо преобразовать в постоянные (стабилизированные) значения, действующие на протяжении всего периода работы гидроударной установки. Положительная полуволна фазы давления ударной волны близка по форме к гармонической, а отрицательная - соответствует фазе разряжения. Не учитывая фазы разряжения и возможные небольшие гидравлические потери давления в водоводе 12 и гидроаккумуляторе 14, можно считать, что действующее стабилизированное давление положительного полупериода ударной волны будет примерно в 3 раза меньше амплитудного значения и составит для скорости потока $v=6$ м/с 28 атм, что соответствует напору $H = 280$ м. Простые расчёты [6] позволяют определить напор воды гидроударной электростанции, соответствующий напору плотинной электростанции при одинаковом расходе воды:

$$H = (v \cdot C) / 3g, \quad (2)$$

где $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения.

Даже при небольшом расходе воды ($\sim 0,05$ м³/с) и напоре 280 м гидроагрегаты с ковшовой турбиной Пелтона вырабатывают до 100 квт электрической мощности [6]. Повышая расход воды Q и напор H , можно получить выходную электрическую мощность гидроударной электростанции 4 Мвт и больше [2].

Отбор энергии при неполном гидроударе

Если время перекрытия заслонки трубопровода или клапана τ_1 (время торможения потока) превышает длительность фазы полного гидроудара τ , происходит неполный гидроудар, используемый в ударно-импульсных механизмах различного назначения и получивший название дискретно-импульсный ввод энергии (ДИВЭ) [2].

Рассмотрим основные гидравлические процессы, имеющие место при не полном гидроударе, на примере работы обратного клапана, установленного на входе питающей трубы 7 гидроударной электростанции [1,2,3,5]. В конце питающей трубы 7 у открытого отбойного клапана происходит торможение потока воды, полный гидроудар с образованием ударной волны, движущейся со скоростью C навстречу потоку и закрывающей обратный клапан. При быстром перекрытии потока на выходе обратного клапана 5 возникает эффект полного гидравлического удара с большой амплитудой давления (1) и длительностью фазы удара [4]:

$$\tau = (2L)/C, \quad (3)$$

где L – длина питающей трубы. Так, для $L = 3$ м, длительность фазы удара $\tau = 4,2$ мс.

Однако, если время торможения потока τ_1 превышает длительность фазы удара τ (3), происходит неполный гидравлический удар, после которого амплитуда давления ударной волны возрастёт на величину Δp и станет равной

$$\Delta p = \{\rho(v_{\max} - v_{\min})L\} / \tau_1, \quad (4)$$

где v_{\max} – скорость потока в начале торможения, а v_{\min} – в конце торможения [4].

Торможение потока воды у обратного клапана 5 начинается в момент воздействия на него отражённой от конца питающей трубы 7 ударной волны полного гидроудара. Двигаясь в направлении противоположном течению потока, ударная волна на пути $L = 3$ м теряет скорость примерно в два раза. Поэтому скорость потока в начале торможения v_{\max} так же снизится в два раза. Если время торможения потока τ_1 велико и превышает длительность

фазы гидроудара τ , то конечную скорость потока v_{\min} можно принять равной нулю. Тогда амплитуда ударной волны после не полного гидроудара (4) будет большой и может привести к нарушению работы гидроударной электростанции.

Увеличение скорости потока воды

Назначение обратного клапана 5 перекрыть поток воды на короткое время её прохода в водовод 12 и увеличить скорость потока v_0 в момент открытия обратного клапана. Роль демпфера, уменьшающего амплитуду (4) неполного гидроудара, выполняет нагнетательный клапан 10, который должен находиться в открытом состоянии большее время τ_2 , чем время торможения τ_1 обратного клапана 5. Если нагнетательный клапан 10 открывается в момент закрытия обратного клапана 5, а $\tau_2 > \tau_1$ и время торможения τ_1 не велико, то скорость потока v_{\min} не успеет значительно уменьшиться по сравнению с v_{\max} , так как увеличивается проходная площадь сечения выходящего из питающей трубы 7 потока за счёт открытого нагнетательного клапана 10. В этом случае в соотношении (5) разность скоростей, а следовательно и амплитуда неполного гидроудара будут незначительны. Если обратный 5 и нагнетательный 10 клапаны соединены жёсткой связью и срабатывают одновременно [1], то в момент закрытия обратного клапана, нагнетательный клапан полностью открывается и поэтому скорости в начале и в конце торможения потока у обратного клапана будут одинаковыми, а амплитуда неполного удара (4) будет равна нулю. Однако в этом случае вся вода за короткое время τ_1 не успеет переместиться в водовод 12. Если же нагнетательный клапан 10 откроется сразу после полного гидроудара в конце питающей трубы 7, но раньше, чем закроется обратный клапан 5, и $\tau_2 > \tau_1$, то скорость потока воды v_{\max} на выходе обратного клапана в момент его открытия значительно уменьшится, что приведёт к уменьшению и амплитуды давления ударной волны (4) в момент его закрытия. При этом бóльший объём воды покинет питающую трубу 7 через нагнетательный клапан 10.

Скорость потока воды v_0 на выходе обратного клапана 5 в момент его открытия будет зависеть от разности (перепада) давлений на его входе $p_{\text{вх}}$ и выходе $p_{\text{вых}}$:

$$\Delta p_0 = |p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}|. \quad (5)$$

Наибольший интерес представляет случай, когда разность давлений Δp_0 на концах обратного клапана, а следовательно и v_0 , принимают наибольшие значения. Если высота напорной трубы 3 составляет 2 м, то при закрытом обратном клапане на его входе устанавливается избыточное давление $p_{\text{вх}} = 0,2$ атм. Обратный клапан должен открываться в момент времени прохождения на его выходе фазы разряжения, возникающей после фазы полного гидроудара в питающей трубе 7. Если это давление составляет $p_{\text{вых}} = -0,8$ атм, то общий перепад давлений (5) составит $\Delta p_0 = 1$ атм. Уменьшение давления до $-0,8$ атм допустимо, так как оно более чем на порядок превышает давление насыщенного пара в широком диапазоне изменения рабочих температур, при котором возникает кавитация жидкости. Перепаду давления на концах обратного клапана 5 в 1 атм соответствует увеличение напора на его входе до величины $h = 10$ м, что приведёт к ускорению потока воды после его открытия до максимальной скорости $v_0 = 14$ м/с. Учитывая реальные гидравлические потери на трение в питающей трубе 7, скорость потока у отбойного клапана 8 составит примерно 10 м/с [1, 3]. При такой скорости потока v_0 амплитуда давления ударной волны (1) после полного гидроудара составит $p = 135$ атм или $135 \cdot 10^5$ Па. Меньшему значению разряжения на выходе ударного клапана 5 будут соответствовать меньшие значения скорости потока v_0 и амплитуды давления p (1). Так, например, если $p_{\text{вых}} = -0,4$ атм, то перепад давлений на входе и выходе обратного клапана 5 (5) составит 0,6 атм, скорость $v_0 = 6$ м/с, а $p = 84$ атм. Такой амплитуде ударной волны будет соответствовать стабилизированное давление воды на выходе гидроударной установки 28 атм, что

эквивалентно напору гидроэлектростанции $H=280$ м. При данном напоре и небольшом расходе воды $Q = 0,05$ м³/с электрическая мощность гидроагрегатов с ковшовой турбиной Пелтона составляет 100 кВт [6].

Необходимое время торможения потока t_1 для формирования нужной скорости v_0 должно включать длительность фазы полного гидроудара (3) и длительность части фазы разряжения.

Нужное время остановки потока технически можно реализовать, используя для этого, обратный клапан с противовесом, например ДУ 100 [7], противовес которого установлен на внешнем рычаге, параллельном центральной оси клапана и скреплённом с заслонкой клапана. Перемещая противовес вдоль рычага и закрепляя его на определённом расстоянии от заслонки клапана 5, можно изменять момент силы, действующий на заслонку, увеличивая или уменьшая тем самым время задержки потока входе обратного клапана. Аналогичным образом можно регулировать время срабатывания отбойного 8 и нагнетательного 10 клапанов. Обратный 5 и нагнетательный 10 клапаны работают по регламенту – на закрытие обратным потоком воды. Отбойный клапан устанавливается открытой заслонкой против потока, как показано на рис. 1. Это позволяет быстро закрывать его повышенным давлением тормозящегося у заслонки потока, создавая полный гидроудар. Для регулирования времени срабатывания отбойного клапана и сокращения времени полного гидроудара, надо уменьшать ширину проходной (открытой) части клапана ограничением свободного хода рычага.

Стабилизация давления и расхода воды

Вращение ковшовой турбины электростанции осуществляется потоком постоянного давления и напора воды. Стабилизацию потока (давления и расхода воды) на протяжении всего цикла работы в гидроударной электростанции выполняет гидроаккумулятор 14 и водовод 12. В пневмогидравлических аккумуляторах с мембранным разделением газовой и жидкостной камер накопление энергии и возвращение её в систему осуществляется за счёт энергии сжатого газа (азота или воздуха). Наиболее пригодными для стабилизации потока воды являются мембранные гидроаккумуляторы, которые, имея небольшие размеры, используются там, где необходима быстрая отдача запасённой энергии [3,8]. Зарядное давление газа в их газовой камере может достигать 100 атм и более, а давление жидкости сжимает газ ещё большим давлением. Под высоким давлением ударной волны упругая мембрана гидроаккумулятора 14 прогибается и сжимает газ до объёма V_1 , повышая его давление до значения p_1 . При этом объём жидкости в гидроаккумуляторе 14 увеличивается, а её давление уменьшается. Газ высоким давлением прогибает мембрану в направлении жидкости и увеличивает её давление, после чего давление газа уменьшается до величины p_2 , а его объём увеличивается до значения V_2 . Процесс изменения состояния газа является адиабатным и описывается уравнением [3]:

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n, \quad (6)$$

где $n = 1,4$ для азота.

Из уравнения (6) имеем

$$p_2 = p_1 (V_1 / V_2)^n. \quad (7)$$

При повышении давления p_1 , когда газ сжимается, отношение V_1 / V_2 уменьшается, а произведение $p_1 (V_1 / V_2)^n$ может оставаться неизменным, т. е. в соотношении (7) $p_2 = \text{const}$ при определённом соотношении между V_1 , V_2 , и p_1 . Вследствие не сжимаемости жидкости и расход воды Q также будут оставаться постоянным. Необходимым условием стабилизации давления и расхода воды является также выбор правильного соотношения между объёмами газа и жидкости в стабилизирующей системе. Объём воды можно изменить, меняя объём

водовода 12. Чтобы бóльшая часть воды из питающей трубы 7 в каждом периоде работы гидроударной электростанции использовалась для вращения турбины, общий объём водовода 12 и жидкостной камеры гидроаккумулятора 14 должен занимать объём, равный объёму воды в питающей трубе 7. А чтобы бóльшая часть воды поступала из питающей трубы в этот объём, необходимо закрывать нагнетательный клапан 10 в конце фазы полного гидроудара. Клапан рабочего давления 15 выполняет функции регулируемого пружинного предохранительного клапана и открывается, когда давление на его входе станет равным стабильному давлению жидкости на выходе гидроаккумулятора 14. Зарядное (начальное) давление газа в газовой камере гидроаккумулятора 14 должно быть меньше, чем наибольшее давление воды в жидкостной камере и меньше рабочего давления, при котором открывается клапан 15. Регулирование давления в водоводе 12 осуществляется путём изменений расположения противовесов на внешних рычагах клапанов 5, 8, 10 по показаниям манометра 13. Для стабилизации потока можно использовать вместо обычного гидроаккумулятора 14 гидроаккумулятор с разделёнными входом и выходом [1,8]. В этом случае отпадает необходимость использования клапана рабочего давления 15, так как его роль выполняет упругая мембрана, разделяющая газовую и жидкостную камеры гидроаккумулятора. Высоким установочным давлением газа мембрана растягивается и перекрывает проход воды из входного отверстия в выходное до тех пор, пока давление жидкости не превысит давление газа. Такие гидроаккумуляторы менее инерционны, чем обычные с общим входом-выходом, и, поэтому, в последнее время чаще применяются для стабилизации давления и расхода воды [8].

Система циркуляции воды

Отработанная вода, вытекающая из отбойного клапана 8 и турбины гидрогенератора 17, поступает в трубу отвода отработанной воды 20, откуда при помощи электронасоса 21 через напорный трубопровод 22 подаётся в напорный бак 2, где и завершается циркуляция воды в гидроударной электростанции. Производительность электронасоса должна обеспечить перекачивание за один период работы не менее 0,8 объёма воды, заполняющей питающую трубу 7. Для трубы диаметром 0,12 м и длиной 3 м производительность должна составлять не менее 60 м³/час при длительности периода работы электростанции T=1,5 с. Такой объём воды за час может перекачать электронасос с мощностью электродвигателя не менее 6 квт, что составляет всего 6% от полной электрической мощности, вырабатываемой гидроударной электростанцией. Поэтому для электропитания насоса не требуется внешних источников электроэнергии – оно осуществляется непосредственно от распределительного электрощита 18, расположенного на выходе гидрогенератора 17.

Гидрогенератор электростанции

Гидрогенератор (гидроагрегат) 17 электростанции должен работать при больших напорах и малых расходах воды. Этим условиям удовлетворяют гидроагрегаты с ковшовыми турбинами Пелтона или Турго. Гидроагрегаты производят в Великобритании, Чехии и России. Выбор агрегата осуществляется по специальным графикам производящих фирм, в которых указаны главные параметры: необходимая электрическая мощность и соответствующие ей напор и расход воды для турбины. Из-за высокой стоимости гидроагрегатов, ковшовые турбины небольшой мощности не редко изготавливают по имеющимся в интернете разработкам самостоятельно, а в качестве электрогенератора используют асинхронный электродвигатель соответствующей мощности.

Заключение

Проведенные исследования [1, 2, 3, 6] позволяют сделать выводы о преимуществах гидроударных электростанций по сравнению с плотинными гидроэлектростанциями и со

всеми иными электростанциями такой же мощности. К неоспоримым преимуществам относятся прежде всего отсутствие необходимости потребления энергии от внешних источников, низкие затраты на проектирование, изготовление и эксплуатацию. В качестве источника возобновляемой энергии используются силы инерции постоянного объёма циркулирующей воды. Малые габариты гидроударных электростанций позволяют использовать их непосредственно в месте потребления электроэнергии, поэтому исключаются потери при её транспортировке. Гидроударные электростанции не влияют на изменения окружающей среды. К существующим недостаткам следует отнести малый расход воды, используемой для вращения гидротурбины и, как следствие, сравнительно небольшие электрические мощности разработанных гидроударных электростанций (до 4 Мвт), а так же сложность регулирования работы клапанов. Однако, если увеличить диаметр питающей трубы 7 и использовать в качестве отбойного клапана 8 клапан осевого типа, который работает от изменения давления в трубопроводе большого диаметра при гидроударе (модель RZD-SR-R) [9], можно значительно повысить расход воды и выходную электрическую мощность гидроударной электростанции. Регулирование работы клапанов можно существенно упростить, повысив при этом выходную мощность электростанции, используя быстродействующие современные электромагнитные клапаны или клапаны с электроприводом, включение и отключение которых осуществляется по заданной программе.

Широкое внедрение гидроударных электростанций повышенной мощности позволит навсегда избавиться от использования дорогостоящих энергоносителей и сохранить в чистоте среду обитания человека.

Список используемой литературы

1. Патент UA 101445 F03B 13/12, опубл. 10.09.2015, бюл. № 17.
2. Патент UA 106602 F03B 13/12, опубл. 25.04.2016, бюл. № 8.
3. Патент UA 98216 F03B 13/12, опубл. 27.04.2015.
4. Долинский А.А., Иваницкий Г.К., Ободович А.Н. Использование механизмов ДИВЭ при роторно-пульсационной обработке гетерогенных сред. В ж. «Пром. теплотехника», 2008, т. 30, № 4, с. 5-13.
5. Патент UA 109190 F24D 17/00, F24H 1/00, опубл. 10.08.2016, бюл. № 15.
6. Нефедов Ю.И. О перспективах гидроударной энергетики. В ж. «Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит», 2015, № 12, с. 20-25.
7. Обратный клапан с противовесом фланцевый Ду 100 – Ду 1400. Паспорт. Техническое описание. (<http://lott.com.ua/cat/204/>).
8. CoorsTek Pulsation Stabilizers: Model Code Nomenclature. Amazing Solutions.
9. Клапан осевого типа для защиты от гидроудара. СП «Моквелд Маркетинг» - Украина. (E mokveld.marketing@mokveld.com).

References

1. Patent UA 101445 F03B 13/12, publ. 10.09.2015, bul. № 17.
2. Patent UA 106602 F03B 13/12, publ. 25.04.2016, bul. № 8.
3. Patent UA 98216 F03B 13/12, publ. 27.04.2015.
4. Dolinskiy A.A., Ivanitskiy G.K., Obodovich A.N. Use of the DPEI mechanisms for rotor-pulse processing of the heterogeneous agent. [Ispolzovanie mehanizmov DIVE pri rotorno-pulsacionnoy obrabotke geterogennih sred]./ Industrial Heat Engineering, 2008, t. 30, № 4, p. 5-13.
5. Patent UA 109190 F24D 17/00, F24H 1/00, publ. 10.08.2016, bul. № 15
6. Nefedov J.I. On the Perspectives of Hydroblow Energetics [O perspektivah hidroudarnoy energetiki]. Energy saving · Power engineering · Energy audit, 2015, № 12. – Kh. - P. 20-25.
7. The Back Pressure Valve with Balance Flanged. [Obrotniy klapан s protivovesom flanceviy], Du 100 – Du 1400. Ticket. Technical Manual. (<http://lott.com.ua/cat/204/>).
8. CoorsTek Pulsation Stabilizers: Model Code Nomenclature. Amazing Solutions.
9. The Axial Valve for Defence from Hydraulic Blow. [Klapan ocevogo tipa dlia zaschiti ot giroudara], SP «Mokvald Marceting» - Ukraine. (mokveld.marketing@mokveld.com).

Прийнята до друку 27. 10. 2019 р.

Бабенко Віталіна Олексіївна, д-р екон. наук, канд. техн. наук, доц., проф. каф. економічної теорії,
Перепелиця Анна Сергіївна, стар. викл. каф. туристичного бізнесу,
Сідоров Михайло Вадимович, аспірант каф. міжнародних економічних відносин,
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, майдан Свободи 4, к. 3-76, Харків, Україна

КЛАСТЕРНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ РІВНЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ КРАЇН СВІТУ В УМОВАХ МІЖНАРОДНОЇ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ

Стаття присвячена кластерному підходу до оцінки рівня інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації. Викладено результати дослідження методів багатовимірного аналізу із застосуванням кластерного аналізу до оцінки рівня інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації. Проведено оцінювання рівня розвитку інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації на основі кластерного підходу та здійснено кількісний аналіз середніх значень ознак-характеристик рівня розвитку інформатизації по кожному з отриманих кластерів країн світу. Основний зміст дослідження становить гіпотеза про існування специфіки розвитку інформатизації в межах груп країн світу в умовах міжнародної глобалізації. В роботі було застосовано методичний підхід оцінювання рівня розвитку інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації із застосуванням кластерного аналізу та проведено кількісний аналіз середніх значень ознак-характеристик по кожному з отриманих кластерів країн світу. Обґрунтовано, що для успішного розвитку та функціонування інформаційної економіки, необхідно ефективно управління інформаційними ресурсами, що має на увазі активізацію процесів інформатизації. Реалізація поставленої задачі передбачає аналіз та прогнозування розвитку процесу автоматизації з урахуванням соціально-економічного стану країн світу в умовах міжнародної глобалізації. Розв'язання цієї проблеми вимагає застосування відповідного методичного інструментарію, який запропоновано у статті.

Ключові слова: інформатизація; кластерний аналіз; міжнародна глобалізація; індекс мережевої готовності; дендрограма кластерів; інформаційно-комунікаційні технології.

Бабенко Виталина Алексеевна, д-р. экон. наук, канд. техн. наук, доц., проф. каф. экономической теории,
Перепелица Анна Сергеевна, ст. преподаватель. каф. туристического бизнеса,
Сидоров Михаил Вадимович, аспирант каф. международных экономических отношений,
Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, площадь Свободы 4, к. 3-78, Харьков, Украина

КЛАСТЕРНИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ СТРАН МИРА В УСЛОВИЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Статья посвящена кластерному подходу к оценке уровня информатизации стран мира в условиях международной глобализации. Изложены результаты исследования методов многомерного анализа с применением кластерного анализа к оценке уровня информатизации стран мира в условиях международной глобализации. Проведена оценка уровня развития информатизации стран мира в условиях международной глобализации на основе кластерного подхода и предпринятого количественный анализ средних значений признаков-характеристик уровня развития информатизации по каждому из полученных кластеров стран мира. Основное содержание исследования составляет гипотеза о существовании специфичности развития информатизации в пределах групп стран мира в условиях международной глобализации. В работе предложен методический подход оценки уровня развития информатизации стран мира в условиях международной глобализации с применением кластерного анализа и проведен количественный анализ средних значений признаков-характеристик по каждому из полученных кластеров стран мира. Обосновано, что для успешного развития и функционирования информационной экономики, необходимо эффективное управление информационными ресурсами, что подразумевает активизацию процессов информатизации. Реализация поставленной задачи предполагает анализ и прогнозирование развития процесса автоматизации с учетом социально-экономического положения стран мира в условиях международной глобализации. Решение этой проблемы требует применения соответствующего методического инструментария, предложенный в статье.

Ключевые слова: информатизация; кластерный анализ; международная глобализация; индекс сетевой готовности; дендрограмма кластеров; информационно-коммуникационные технологии.

Babenko Vitalina Olexiivna, Doctor of Economic Sciences, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Economic Theory Department,

Perepelytsia Anna Sergiyivna, Senior Lecturer V. N. Karazin Kharkiv National University,

Sidorov Mykhailo Vadimovich, graduate student of International Economic Relations Department, V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine

CLUSTER EVALUATION APPROACH TO INFORMATIZATION OF COUNTRIES UNDER INTERNATIONAL GLOBALIZATION

The article is devoted to a cluster approach to assessing the level of informatization of the countries of the world in the context of international globalization. The results of the study of multivariate analysis methods using cluster analysis to assess the level of computerization of the countries of the world in the context of international globalization are presented. An assessment is made of the level of development of informatization of the countries of the world in the context of international globalization on the basis of a cluster approach and the quantitative analysis undertaken of the average values of signs-characteristics of the level of development of informatization for each of the obtained clusters of countries of the world. The main content of the study is the hypothesis of the existence of specifics of the development of informatization within groups of countries in the context of international globalization. The paper proposes a methodological approach to assessing the level of development of computerization of the countries of the world in the context of international globalization using cluster analysis and quantitatively analyzes the average values of characteristics and characteristics for each of the obtained clusters of countries of the world. It is proved that for the successful development and functioning of the information economy, it is necessary to effectively manage information resources, which implies the activation of informatization processes. The implementation of the task involves analysis and forecasting the development of the automation process, taking into account the socio-economic situation of the countries of the world in the context of international globalization. The solution to this problem requires the use of appropriate methodological tools proposed in the article.

Keywords: informatization; cluster analysis; international globalization; the importance of signs; network readiness index; dendrohrama clusters; information and communication technologies.

Постановка проблеми

Для успішного розвитку та функціонування інформаційної економіки, необхідно ефективно управління інформаційними ресурсами, що має на увазі активізацію процесів інформатизації.

Актуальність проблеми підтверджується тим, що існуючі методики оцінки рівня інформатизації країн в умовах міжнародної глобалізації мають фрагментарний характер та потребують більш ретельного вивчення теоретико-методологічних основ та методичних підходів з використанням економетричних методів дослідження. При аналізі та прогнозуванні соціально-економічних явищ дослідник досить часто стикається з багатомірністю їх опису [1, 2]. Це відбувається під час вирішення завдання сегментування ринку, побудові типології країн по досить великому числу показників, прогнозування кон'юнктури ринку окремих товарів, вивченні і прогнозуванні економічної депресії і багатьох інших проблем [3-5]. Методи багатовимірного аналізу – найбільш дієвий кількісний інструмент дослідження соціально-економічних процесів, що описуються великим числом характеристик. До них відносяться кластерний аналіз, таксономія, розпізнавання образів, факторний аналіз [2]. Кластерний аналіз найбільш яскраво відображає риси багатовимірного аналізу в класифікації, факторний аналіз – у дослідженні зв'язку. Іноді підхід кластерного аналізу називають в літературі чисельною таксономією, чисельною класифікацією, розпізнаванням з самонавчанням тощо. Значна перевага кластерного аналізу в тому, що він дозволяє виробляти розбивку об'єктів не по одному параметру, а по цілому набору ознак

Дослідження методів багатовимірного аналізу із застосуванням кластерного аналізу до оцінки рівня інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації. Оцінювання рівня розвитку інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації на основі кластерного підходу та проведення кількісного аналізу середніх значень ознак-характеристик рівня розвитку інформатизації по кожному з отриманих кластерів країн світу.

Результати дослідження

При розробці запропонованої методики була висунута гіпотеза про існування особливостей розвитку інформатизації груп країн зі східним рівнем її стану в умовах міжнародної глобалізації. При розробці даної методики запропоновано враховувати індивідуальні відмінності в значеннях аналізованих показників окремих країн на основі економетричних методів із застосуванням інструментарію багатомірного статистичного аналізу [6]. Для визначення впливу глобалізації на рівень інформатизації країн розроблено і застосовано методичний підхід із застосуванням кластерного аналізу.

Один з найбільш поширених показників, по якому оцінюють стан та ступінь інформатизації в країнах світу – це оцінка рівня розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) за індексом мережевої готовності (Networked Readiness Index – NRI). Networked Readiness Index публікується в серії Global Information Technology – доповіді, що підготовлено Всесвітнім економічним форумом у співпраці з Програмою промислового партнерства для інформаційних і комунікаційних технологій, у співавторстві з INSEAD із Cornell University.

Індекс мережевої готовності є інтегральним показником та складається з системи субіндексів, які у свою чергу – з системи підіндексів. Як було зазначено у попередніх розділах, Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) виділяє багатоступеневу модель, за якою країни або регіони рухаються у розвитку інформатизації [7]. По-перше, до неї входить етап підготовки середовища для ІКТ та включає політичне та правове середовище, а також бізнес та інноваційне середовище у вигляді відповідних підіндексів. Наступний рівень характеризує «мережеву готовність» країни. Основними підіндексами є доступність та здатність до ІТ, що визначає поширення інфраструктури ІТ в країні, у тому числі ступінь доступу приватних осіб, підприємств та організацій до цієї інфраструктури. Третій етап включає інтенсивність використання ІКТ, який характеризує ефективність застосування ІТ у країні, зокрема, ступінь впровадження ІТ, наголос робиться на навичках ефективного використання ІТ, будь то індивідуальне використання, у бізнес-середовищі або урядом. Останній етап представляє аналіз впливу ІКТ на загальний розвиток країни та має оцінити соціально-економічні наслідки його впровадження.

Згідно з індексом NRI [9] темпи розвитку інформаційного суспільства лідируючих країн характеризуються наступним чином (рис. 1).

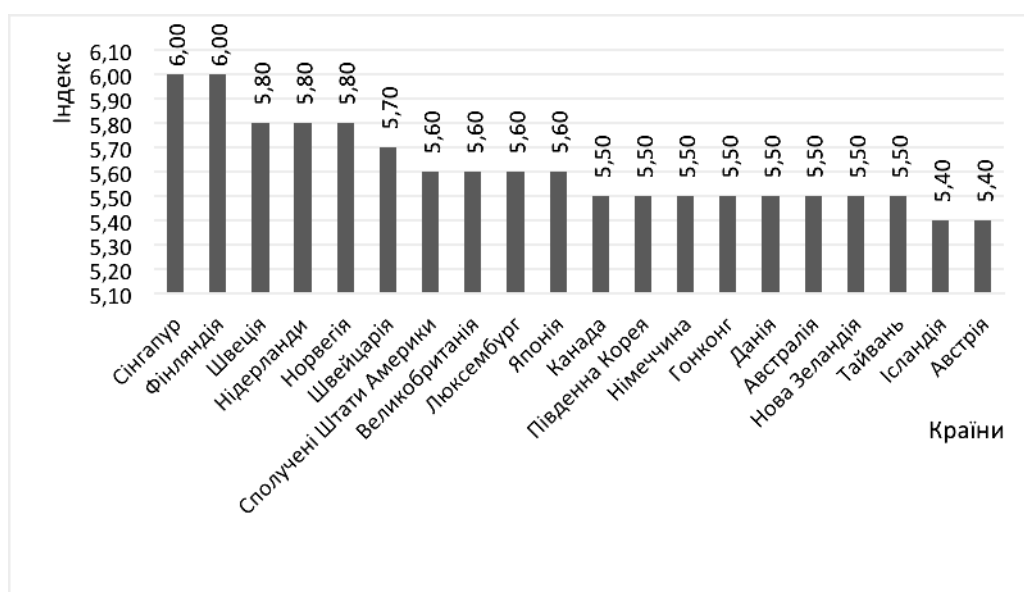


Рис. 1. Країни-лідери у світі по індексу мережевої готовності за 2015 р. [розроблено авторами]

Як бачимо з рис.1, лідерами у світі по індексу мережевої готовності доступу до цифрового контенту (NRI) за 2015 р. є Сингапур, Фінляндія, Швеція, Нідерланди, Норвегія, Швейцарія, США, Великобританія та інші країни. Доступ до цифрового контенту Сингапур у 2014-2015 рр. займав друге місце, поступаючи Фінляндії, а у 2015 р. перемістився на перше зі значенням цього індексу 5,9676 (5,9951 у Фінляндії).

Розглянемо систему показників для розрахунку індексу мережевої готовності (NRI) (табл. 1).

Таблиця 1

Система показників для розрахунку індексу мережевої готовності (NRI)

№ п/п	Шифр показника	Найменування показника	Одиниці виміру
Субіндекс «Середовище для ІКТ» (NRI.A)			
NRI.A.01		Підіндекс «Політичне та правове середовище»	бали
	1.01	Ефективність правотворчої органів	бали
1.	1.02	Наявність законів, що стосуються ІКТ	бали
2.	1.03	Незалежність судової влади	бали
3.	1.04	Ефективність правової системи у вирішенні спорів	бали
4.	1.05	Ефективність правової системи в складних питаннях мережі	бали
5.	1.06	Захист інтелектуальної власності	бали
6.	1.07	Програмне забезпечення	%
7.	1.08	Кількість процедур для забезпечення виконання контракту	кількість
8.	1.09	Кількість днів для забезпечення виконання контракту	кількість
NRI.A.02		Підіндекс «Бізнес та інноваційне середовище»	бали
№ п/п	Шифр показника	Найменування показника	Одиниці виміру
9.	2.01	Наявність новітніх технологій	бали
10.	2.02	Наявність венчурного капіталу	бали
11.	2.03	Загальна податкова ставка	%
12.	2.04	Кількість днів для започаткування бізнесу	кількість
13.	2.05	Кількість процедур для започаткування бізнесу	кількість
14.	2.06	Інтенсивність конкуренції на місцевому рівні	бали
15.	2.07	Вища освіта, коефіцієнт охоплення	%
16.	2.08	Якість шкіл менеджменту	бали
17.	2.09	Гарантії уряду при закупівлі передових технологій	бали
Субіндекс «Готовність до ІКТ» (NRI.B)			
NRI.B.03		Підіндекс «Інфраструктура та цифровий контент»	бали
18.	3.01	Виробництво електроенергії	кВт · год/чол
19.	3.02	Покриття мобільної мережі	%
20.	3.03	Міжнародний інтернет-трафік	Кб/с на одного користувача
21.	3.04	Безпечні сервери Інтернет / млн. чол. населення	кількість
NRI.B.04		Підіндекс «Доступність»	бали
22.	4.01	Передплата мобільних стільникових тарифів (державно-приватне партнерство)	дол./хв.
23.	4.02	Основні тарифи на Інтернет широкосмугового зв'язку (державно-приватне партнерство)	дол./міс.

24.	4.03	Конкуренція в Інтернет-телефонії	бали
NRI.B.05		Підіндекс «Здатність»	бали
25.	5.01	Якість системи освіти	бали
26.	5.02	Якість математичної та природничо-наукової освіти	бали
27.	5.03	Середня освіта, коефіцієнт охоплення	%
28.	5.04	Рівень грамотності дорослого населення	%
		Субіндекс «Використання ІКТ» (NRI.C)	
NRI.C.06		Підіндекс «Індивідуальне використання»	бали
29.	6.01	Мобільний телефон	передплата / 100 чол. населення
30.	6.02	Особи, які використовують Інтернет	%
31.	6.03	Домогосподарства з персональними комп'ютерами	%
32.	6.04	Домогосподарства з доступом в Інтернет	%
33.	6.05	Фіксований широкосмуговий Інтернет	абон. плата / 100 чол. населення
34.	6.06	Мобільний широкосмуговий Інтернет	абон. плата / 100 чол. населення
35.	6.07	Використання віртуальних соціальних мереж	бали
NRI.C.07		Підіндекс «Використання у бізнесі»	бали
36.	7.01	Технології на рівні фірм	бали
37.	7.02	Ємність для інновацій	бали
38.	7.03	Патенти інтелектуальної власності	заявки / млн населення
№ п/п	Шифр показника	Найменування показника	Одиниці виміру
39.	7.04	Використання ІКТ для «Бізнес to Бізнес»-операцій	бали
40.	7.05	Використання ІКТ для «Бізнес to Споживач»-операцій	бали
41.	7.06	Ступінь підготовки кадрів	бали
NRI.C.08		Підіндекс «Використання урядом»	бали
42.	8.01	Визнання важливості ІКТ державою	бали
43.	8.02	Індекс електронного уряду	бали
44.	8.03	Успішність уряду у просуванні ІКТ	бали
		Субіндекс «Вплив ІКТ» (NRI.D)	
NRI.D.09		Підіндекс «Економічні наслідки»	бали
45.	9.01	Вплив ІКТ на випуск нових продуктів та послуг	бали
46.	9.02	Патенти інтелектуальної власності стосовно ІКТ	заявки у напрямку ІКТ / млн населення
47.	9.03	Вплив ІКТ на нові організаційні моделі	бали
48.	9.04	Наукомістких робочих місць	% робочої сили
NRI.D.10		Підіндекс «Соціальні наслідки»	бали
49.	10.01	Вплив ІКТ на доступ до основних послуг	бали
50.	10.02	Доступ в Інтернет в школах	бали
51.	10.03	Використання ІКТ та ефективність державної діяльності	бали
52.	10.04	Індекс «E-Participation» - участь громадян в електронних державних проектах	бали

[Розроблено авторами згідно [8]]

Одним з широко застосовуваних методів кластеризації є метод Уорда. Згідно цього методу для визначення кількості кластерів, на які задоцільно розбити країни світу за рівнем їх інформатизації в умовах міжнародної глобалізації, потрібно вибрати граничну (порогову) відстань, а саме таку відстань, при перевищенні якої будуть об'єднуватися занадто віддалені об'єкти. Після цього буде проведено перпендикуляр через точку, що відповідає обраній відстані, та підраховано кількість його перетинів з так званими «гілками» дендрограми. Кількість отриманих класів буде визначено кількістю перетинів, а об'єкти, що опинилися на гілці сформують склад класів.

Отриманий графік називається дендрограма (від грецького dendron - дерево), що відображає процес агломерації, злиття окремих спостережень в єдиний остаточний кластер. Цей графік схематично нагадує дерево, за що і отримав таку назву. Горизонтальна вісь такого графіка являє собою вісь межкластерного відстані, а по вертикальній осі відзначені номери об'єктів (країн) використаних в аналізі. З цієї дендрограми видно, що спочатку об'єднуються в один кластер країн першої групи, оскільки відстань між ними мінімальна. Це злиття відображається на графіку вертикальними лініями, що з'єднують горизонтальні відрізки.

Отже, на основі даних за 2015 р., які було знайдено зі статистичних збірників та інтернет-ресурсів [10-13], встановлено однорідність країн у їх сукупності за методом Уорда з використанням статистичного пакету Statgraphics Centurion [14, 15]. За допомогою обчисленого кластерного аналізу виділено 4 кластери, дендрограма розбиття яких представлена на рис. 2.

Візуальний аналіз дендрограми свідчить, що за системою ознак, які є характеристиками інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації, слід розглядати чотири кластери основних класів угруповань країн у світі. Характеристики кожного кластеру країн світу за рівнем їх інформатизації наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики кластерів країн світу за рівнем їх інформатизації

Номер кластеру	Кількість країн, що увійшли до кластеру	Розподіл країн по кластерам, %
1	53	35,10
2	48	31,79
3	28	18,54
4	22	14,57

[Розрахунки авторів за результатами кластерного аналізу]

Як бачимо, найбільш представницьким є перший кластер. До нього входить 53 країни світу, що складає 35,1 % всіх країн. До другого кластеру потрапило 48 країн, тобто 31,79 %. Третій кластер за кількістю країн значно поступається першим двом та містить 28 країн (18,54 %). До четвертого кластеру увійшло 22 країни, та він є найменшим з часткою у 14,57 % від усіх країн світу.

Візуальний аналіз дендрограми свідчить, що за системою ознак, які є характеристиками інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації, слід розглядати чотири кластери основних класів угруповань країн у світі.

Як бачимо, найбільш представницьким є перший кластер. До нього входить 53 країни світу, що складає 35,1 % всіх країн. До другого кластеру потрапило 48 країн, тобто 31,79 %. Третій кластер за кількістю країн значно поступається першим двом та містить 28 країн (18,54 %). До четвертого кластеру увійшло 22 країни, та він є найменшим з часткою у 14,57 % від усіх країн світу.

Виконаємо кількісний аналіз середніх значень показників, на основі яких здійснювалася кластеризація. У табл. 3 наведено середні значення ознак кожного кластеру, до якого увійшли відповідні країни за рівнем розвитку інформатизації у 2015 р. в умовах міжнародної глобалізації.

Таблиця 3

Середні значення показників по кластерам однорідних країн за рівнем їх інформатизації у 2015 р.

Ознака	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4
x_1	4,49559	3,98179	5,64385	5,1640
x_2	2,87371	1,52984	5,84736	4,27507
x_3	3,68465	2,75582	5,74561	4,71953
x_4	3,87405	3,4113	5,1779	4,36436
x_5	3,17268	2,75863	4,92722	3,57836
x_6	3,52336	3,08497	5,05256	3,97136
x_7	3,88471	3,34083	5,25553	4,42974
x_8	3,57361	3,13016	5,24863	4,10806
x_9	4,19581	3,55149	5,26244	4,75141
x_{10}	4,71622	3,13928	5,96138	5,22894
x_{11}	3,91352	2,44701	6,36563	4,80192
x_{12}	5,31783	3,67962	5,59405	5,50068
x_{13}	4,90049	3,31943	5,92447	5,38422
x_{14}	3,73419	2,81928	5,50542	4,43836
x_{15}	3,76645	2,27491	6,08944	4,93063
x_{16}	3,53342	3,10024	5,25626	3,94761
x_{17}	3,90271	3,08267	5,17056	4,43685
x_{18}	3,57857	2,79746	5,29149	4,23466
x_{19}	3,13395	2,61663	5,07156	3,71829
x_{20}	4,02319	2,9783	5,51142	4,75103

[Розроблено авторами за результатами кластерного аналізу]

Оскільки досить складно виконати порівняння кластерів за 20 ознаками одночасно, виконаємо графічну інтерпретацію отриманих результатів. Побудуємо графіки середніх значень ознак-характеристик рівня інформатизації країн по кожному кластеру. Таким чином, отримали чотири графіки, розташовані на різному рівні (рис. 3).

Проаналізуємо рис. 3. Як бачимо, найнижчий рівень середніх значень ознак, що комплексно характеризують розвиток інформатизації країн світу, має другий кластер. Позицію країн цього кластеру можливо віднести до найгіршої серед країн світу з найнижчим рівнем інформатизації.

Перший кластер за більшістю ознак займає вище положення, ніж середні значення другого кластеру, тобто рівень розвитку інформатизації у країнах цього кластеру є кращий, ніж у найгіршого (другого) кластеру. Його можна віднести до рівня, нижче середнього. Країни, що увійшли до першого кластеру можливо охарактеризувати як країни з достатнім рівнем інформатизації.

Аналізуючи рис. 3 бачимо, що країни третього кластеру займають найвище положення серед інших країн за критерієм середніх значень ознак, які є характеристиками інформатизації країн світу. Тобто позицію цих країн можливо назвати найліпшою, а країни, що увійшли до цього кластеру – країнами, де розвиток інформатизації має найвищий рівень у світі, тобто вони є найбільш інформатизованими країнами.

Лінія середніх значень ознак країн третього кластеру займає проміжну позицію між другим з положенням нижче середнього та третім кластером, який має найкращі середні значення ознак інформатизації країн. Тобто, стан інформатизація країни третього кластеру позиціюється як вище середнього рівня, а країни цього кластеру характеризуються достатнім рівнем інформатизації.

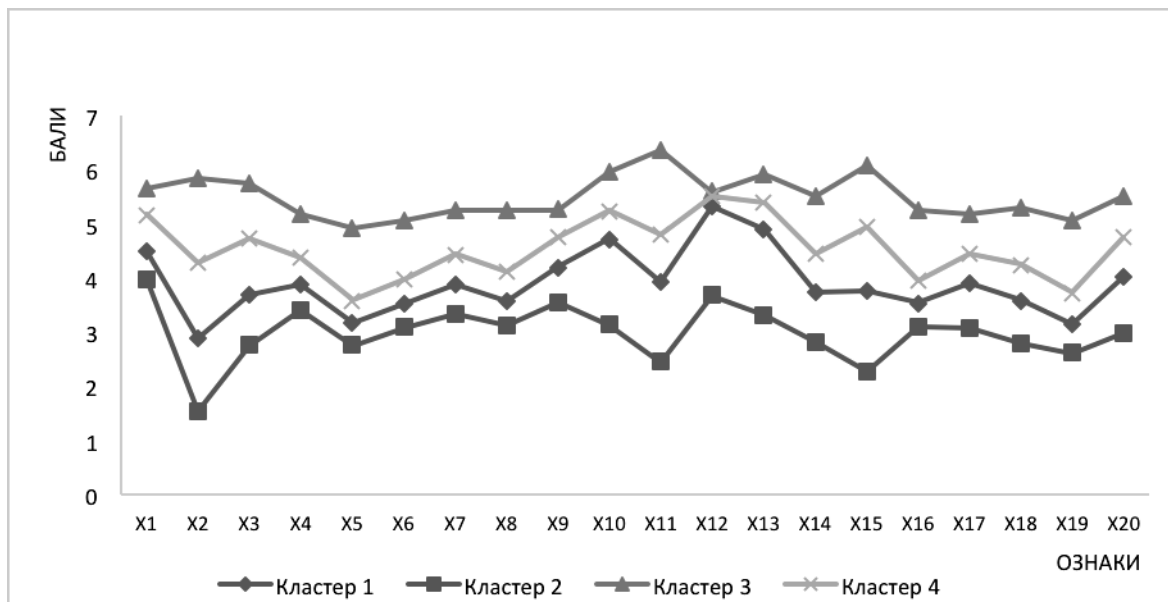


Рис. 3. Середні значення ознак кластерів країн світу за рівнем розвитку їх інформатизації [розроблено авторами]

Висновки

Отже, на основі виконаного кластерного аналізу було визначено основні групи країн світу, які відрізняються різним рівнем розвитку інформатизації. Кількісний аналіз середніх значень ознак-характеристик по кожному з чотирьох обчислених кластерів свідчить, що різниця між групами країн досягає більш, ніж у два рази. Таким чином, можливо стверджувати, що сучасний рівень розвитку інформатизації країн світу в умовах міжнародної глобалізації характеризується нерівномірністю та має неоднорідний характер.

Список використаної літератури

1. Дубров А. М. Многомерные статистические методы [Текст]: Учебник / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 352 с.
2. Пономаренко В. С. Аналіз даних у дослідженнях соціально-економічних систем [Текст]: монографія / В. С. Пономаренко, Л. М. Малярець; Харківський національний економічний ун-т. – Х.: ВД "ІНЖЕК", 2009. – 432 с.
3. Ewa, Latoszek. European Integration Process in the New Regional and Global Settings [Text] / Latoszek Ewa, Kotowska Irena E., Nowak Alojzy Z., Stępnik Andrzej. – Warsaw : Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, 2012. – 420 p.
4. Бабенко В.О. Дослідження стратегічних перспектив розвитку інтеграційних процесів України у глобальній системі міжнародної торгівлі / Бабенко В.О., Петухова В.О., Сідоров М.В. // Международный научный журнал «Технологический аудит и резервы производства» № 3/5(29). – 2016. – С. 41 – 48.
5. Atsuko, Matsumura. Regional Trade Integration by Environmental Goods [Text] / Matsumura Atsuko // Tokyo International University, Saitama, Japan. – 2016. – 31(1). – P. 1 – 40.
6. Бабенко В. О. Розвиток інтеграційних процесів України та країн-членів БРІКС в умовах глобалізації / В. О. Бабенко // Економіка. Управління. Інновації. Серія: Економічні науки. – 2016. – № 3. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2016_3_3.
7. E. Bornman The Mobile Phone in Africa: Has It Become a Highway to the Information Society or Not? - Contemporary Educational technology, 2012, 3(4), 278–292. - www.cedtech.net/articles/34/343.pdf.
8. E. Bornman The Mobile Phone in Africa: Has It Become a Highway to the Information Society or Not? - Contemporary Educational technology, 2012, 3(4), 278–292. – www.cedtech.net/articles/34/343.pdf.

9. The Networked Readiness Index 2015 - World Economic Forum. – http://www3.weforum.org/docs/GITR/2015/GITR_OverallRankings_2015.pdf.
10. Browne, C., A. Di Battista, T. Geiger, and T. Gutknecht. 2014. “The Executive Opinion Survey: The Voice of the Business Community.” In *The Global Competitiveness Report 2014-2015*. K. Schwab, editor. Geneva: World Economic Forum. 85–96.
11. World Economic Forum. [Електронний ресурс] / Офіц. сайт. – Режим доступу: <http://reports.weforum.org>.
12. BuddeComm [Електронний ресурс] / The largest telecommunications research site on the internet. – Режим доступу: <http://www.budde.com.au>.
13. *The Global Information Technology Report 2015. ICTs for Inclusive Growth World* / Soumitra Dutta, Cornell University, Thierry Geiger, World Economic Forum, Bruno Lanvin, INSEAD, Editors. – World Economic Forum and INSEAD: Geneva Switzerland, 2015.
14. Попов Л. А. Анализ и прогнозирование временных рядов STATGRAPHICS Centurion: Учебное пособие / Л. А. Попов. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2006. – 118 с.
15. Гавриленко А.К. Планирование и обработка эксперимента в пакете Statgraphics / Гавриленко А. К. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 30 с.

References

1. Dubrov A. M. (2000), “Polydimensional statistic methods”, [Mnogomernyye statisticheskie metody: [uchebnik]. A. M. Dubrov], *Finansy i statistika*, Moscow, 352 p.
2. Ponomarenko V. S. (2009), “Data analysis in economic and social systems investigation”, [Analiz dannykh u doslidzhenniyakh sotsialno-ekonomichnykh sistem: [monographia]. V. S. Ponomarenko], *Harkivsky Natsionalny Ekonomichny universitet, V.D. «Inzhchek»*, Harkiv, 432 p.
3. Ewa, Latoszek. *European Integration Process in the New Regional and Global Settings* [Text]. Latoszek Ewa, Kotowska Irena E., Nowak Alojzy Z., Stepniak Andrzej. – Warsaw : Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, 2012. – 420 p.
4. Babenko V. A. (2016), “Investigation of the strategical outlook of integration process development in Ukraine to international trade’s global system”, [Doslidzhennia strategichnykh perspektiv rozvytku integratsiynyykh protsesiv Ukrainy u globalniy systemi mizshnarodnoy torgovli], *Mezshdynarodny nauchny zshurnal «Tehnologichny audit i rezervy proizvodstva»*, № 3/5 (29), P. 41–48.
5. Atsuko, Matsumura. *Regional Trade Integration by Environmental Goods* [Text]. Matsumura Atsuko./ Tokyo International University, Saitama, Japan. – 2016. – 31(1), pp. 1 – 40.
6. Babenko V. A. (2016), “Integration development in Ukraine and BRICS countries in the current context of globalization”, [Rozvytok integratsiynyykh protsesiv Ukrainy ta krayin-chleniv BRICS v umovakh globalizatsii], *Ekonomika. Upravlinnya. Innovatsii. Ser.: Ekonomichni nauki*, № 3. –available at:http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2016_3_3.
7. E. Bornman *The Mobile Phone in Africa: Has It Become a Highway to the Information Society or Not? - Contemporary Educational technology*, 2012, 3(4), 278-292. - www.cedtech.net/articles/34/343.pdf.
8. E. Bornman *The Mobile Phone in Africa: Has It Become a Highway to the Information Society or Not? - Contemporary Educational technology*, 2012, 3(4), 278-292. – www.cedtech.net/articles/34/343.pdf.
9. The Networked Readiness Index 2015 - World Economic Forum. – http://www3.weforum.org/docs/GITR/2015/GITR_OverallRankings_2015.pdf.
10. Browne, C., A. Di Battista, T. Geiger, and T. Gutknecht. 2014. “The Executive Opinion Survey: The Voice of the Business Community.” In *The Global Competitiveness Report 2014-2015*. K. Schwab, editor. Geneva: World Economic Forum, pp. 85 – 96.
11. World Economic Forum. [Електронний ресурс]. Офіц. сайт. – Режим доступу: <http://reports.weforum.org>.
12. BuddeComm [Електронний ресурс]. The largest telecommunications research site on the internet. – Режим доступу: <http://www.budde.com.au>.
13. *The Global Information Technology Report 2015. ICTs for Inclusive Growth World*. Soumitra Dutta, Cornell University, Thierry Geiger, World Economic Forum, Bruno Lanvin, INSEAD, Editors. – World Economic Forum and INSEAD: Geneva Switzerland, 2015.
14. Popov L. A. (2006), “Analysis & forecasting of time series STATGRAPHICS Centurion”, [Analiz i prognozirovanie vremennykh riadov STATGRAPHICS Centurion: [utchebnoe posobie. L.A. Popov], *Izd-vo Ros.ekon. akad.*, Moscow, 118 p.
15. Gavrilenko A.K. (2012), “Planning & experiment processing in packet Stargraphics”, [Planirovanie i obrabotka eksperimenta v pakete Stargraphics. A.K. Gavrilenko], *URGUPS, Yekaterinburg*, 30 p.

Прийнята до друку 14.10. 2019 р.

Мехович Сергій Анатолійович, доктор екон. наук, професор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

АНАЛІЗ КЛАСТЕРНИХ ФОРМ ВЗАЄМОДІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті розглянуто механізми управління взаємодією промислових підприємств. Показано, що сучасні міжгалузеві зв'язки засновано на основних принципах, що формують відносини у оновленій інноваційній системі. Доведено, що система взаємозв'язків у сучасному національному інноваційному середовищі (НІС) внаслідок ринкових перетворень зазнала суттєвих змін, що обумовило появу нових теоретичних підходів до обґрунтування механізму їх функціонування та організації мережевої взаємодії на основі кластерної політики. Ця політика передбачає побудову не тільки горизонтального виміру кластеру, а і вертикального, що означає географічний розподіл праці і співробітництво учасників у рамках кластеру. Це створює можливість такої взаємодії, коли підприємства різних стадій виробничого процесу будуть доповнювати один одного та для кожного учасника співробітництва бути важливим фактором виробництва. Кластерна взаємодія побудована на принципах протилежності локальної кооперації та конкуренції. Таке можливо за умови відсутності регіонального протекціонізму і різних преференцій для державних підприємств. Створення рівних умов для всіх суб'єктів господарської діяльності дасть можливість сформувати ринок недосконалої конкуренції та забезпечити сталість цілісної регіональної соціально-економічної системи. Запропоновано модель формування міжгалузевих зв'язків підприємств в умовах здійснення кластерної політики, що дозволяє оцінити доцільність їх створення. Розкрито основні аспекти синергетичної складової кластерних форм взаємодії промислових підприємств.

Ключові слова: ефективність; регіональні міжгалузеві зв'язки; регіональна інноваційна система; кластерна політика; синергетичний ефект; модель потрійної спіралі.

Мехович Сергей Анатольевич, доктор екон. наук, профессор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина.

АНАЛИЗ КЛАСТЕРНЫХ ФОРМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассмотрены механизмы управления взаимодействием промышленных предприятий. Показано, что современные межотраслевые связи основаны на принципах, которые формируют отношения в обновленной инновационной системе. Доказано, что система взаимосвязей в современной национальной инновационной среде (НИС) в результате рыночных преобразований претерпела существенные изменения, что обусловило появление новых теоретических подходов к обоснованию механизма их функционирования и организации сетевого взаимодействия на основе кластерной политики. Эта политика предусматривает построение не только горизонтального измерения кластера, а и вертикального, что означает географическое разделение труда и сотрудничество участников в рамках кластера. Это создает возможность такого взаимодействия, когда предприятия различных стадий производственного процесса будут дополнять друг друга и для каждого участника сотрудничества будет важным фактором производства. Кластерное взаимодействие построено на принципах противоположности локальной кооперации и конкуренции. Такое возможно при условии отсутствия регионального протекционизма и различных преференций для государственных предприятий. Создание равных условий для всех субъектов хозяйственной деятельности позволит сформировать рынок несовершенной конкуренции и обеспечить постоянство целостной региональной социально-экономической системы. Предложена модель формирования межотраслевых связей предприятий в условиях осуществления кластерной политики, позволяющей оценить целесообразность их создания. Раскрыты основные аспекты синергетической составляющей кластерных форм взаимодействия промышленных предприятий.

Ключевые слова: эффективность; региональные межотраслевые связи; региональная инновационная система; кластерная политика; синергетический эффект; модель тройной спирали.

Mekhovich Sergey Anatolyevich, doctor ekon. sciences, professor, National technical university "Kharkiv polytechnic institute"

The National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine.

ANALYSIS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES INTERACTION CLUSTER FORMS

The article discusses the mechanisms for managing the fashion of industrial enterprises. It is shown that modern intersectoral relations are based on the basic principles that form the relationship in the updated innovation system. It is proved that the system of interconnections in the modern national innovation environment (NIS) as a result of market transformations has undergone significant changes, which led to the emergence of new theoretical approaches to justify the mechanism of their functioning and organization of network interaction based on cluster policy. This policy provides for the construction of not only a horizontal dimension of the cluster, but also a vertical one, which means the geographical division of labor and the cooperation of participants in the cluster. This creates an opportunity for such interaction, when enterprises of various stages of the production process complement each other and for each participant in the cooperation be an important factor in production. Cluster interaction is based on the principles of the opposition of local cooperation and competition. This is possible if there is no regional protectionism and various preferences for state enterprises. Creating equal conditions for all business entities will create a market of imperfect competition and ensure the constancy of a holistic regional socio-economic system. A model for the formation of intersectoral relations of enterprises in the context of the implementation of cluster policy, which allows to assess the feasibility of their creation, is proposed. The main aspects of the synergetic component of cluster forms of interaction between industrial enterprises are disclosed.

Keywords: *efficiency; regional intersectoral relations; regional innovation system; cluster policy; synergistic effect; triple helix model.*

Актуальність теми дослідження

Трансформаційні процеси, що постійно відбуваються у національному інноваційному середовищі, зміни у інституційному оточенні та глобалізація стали причиною переосмислення сутності міжгалузевої інтеграції як економічної категорії. Набули актуальності питання щодо розробки нової промислової політики, головна роль у реалізації якої відводиться регіональному рівню. Її пріоритетним напрямом повинно стати відтворення виробничого сектору, як основи створення національного багатства та формування мережевої взаємодії в умовах здійснення кластерної політики. Системний підхід до вирішення цієї задачі потребує пошуку механізмів ефективного співробітництва регіональної влади, бізнесу та закладів науки. Актуальність вибраної теми статті пояснюється обмеженістю дослідницьких робіт, що використовують методи кількісного комплексного аналізу ефективності міжгалузевих зв'язків в інноваційному середовищі, що побудовано за моделлю потрійної спіралі, та особистістю якого є кластерна форма взаємодії.

Ступінь розробки проблеми

Моделі оцінки ефективності просторового розвитку регіону на основі формування регіональних економічних кластерів розглянуто у роботах Диваєвої Е. А., Скоча А. В., Олексієва О.О., Хасанова Р. Х., Якутіна Ю. [1-5] та інших. Вивчення світового досвіду свідчить про те, що більшість досліджень щодо питань міжгалузевої кооперації не враховують нові обставини, які склалися на ринку внаслідок процесів глобалізації, втрати певних галузевих ознак через появу фінансово-промислових груп, холдінгових компаній та інших ринкових формувань. Практично відсутні дослідження, що розглядають міжгалузеві зв'язки в умовах здійснення кластерної політики.

Основна частина

Незважаючи на велику увагу дослідників щодо сутності економічного простору та різноманітності впливу інноваційної системи на господарчу діяльність, у термінологічному та змістовому плані місце міжгалузевої кооперації у цих системах остається недостатньо

вивченим. Це потребує розвинення уявлень щодо їх сутності та природи. Сутність регіональних міжгалузевих зв'язків пов'язана з поняттями та особливостями галузевого, міжгалузевого та регіонального управління. Наукові концепції формування регіональних міжгалузевих зв'язків беруть свій початок від теорії «ізолюваної держави» Й. Тюнена (1826 р.) [6], теорії «штандорта» А. Вебера [7], закону взаємного просторового розміщення населених пунктів А. Леша [8], теорії міжнародного (міжрегіонального) розподілу праці Е. Хекшера та Б. Оліна [9]. Проведене дослідження показало, що для економічного розвитку характерні три основні епохи : доіндустріальна, індустріальна та постіндустріальна. При цьому для регіонів, що знаходяться на різних стадіях розвитку, повинні бути різні підходи до управління процесом економічного розвитку. На стадії індустріального розвитку діють закономірності, що визначаються роллю ведучих галузей. Вони утворюють мультиплікативний ефект та визначають рівень розвитку регіону в цілому. Для цієї епохи характерна ієрархічна система управління із адміністративним прийняттям рішень та ринкова система із цінними сигналами. У постіндустріальній епосі головним фактором розвитку регіону стає рівень розвитку регіональної інфраструктури (рис. 1).

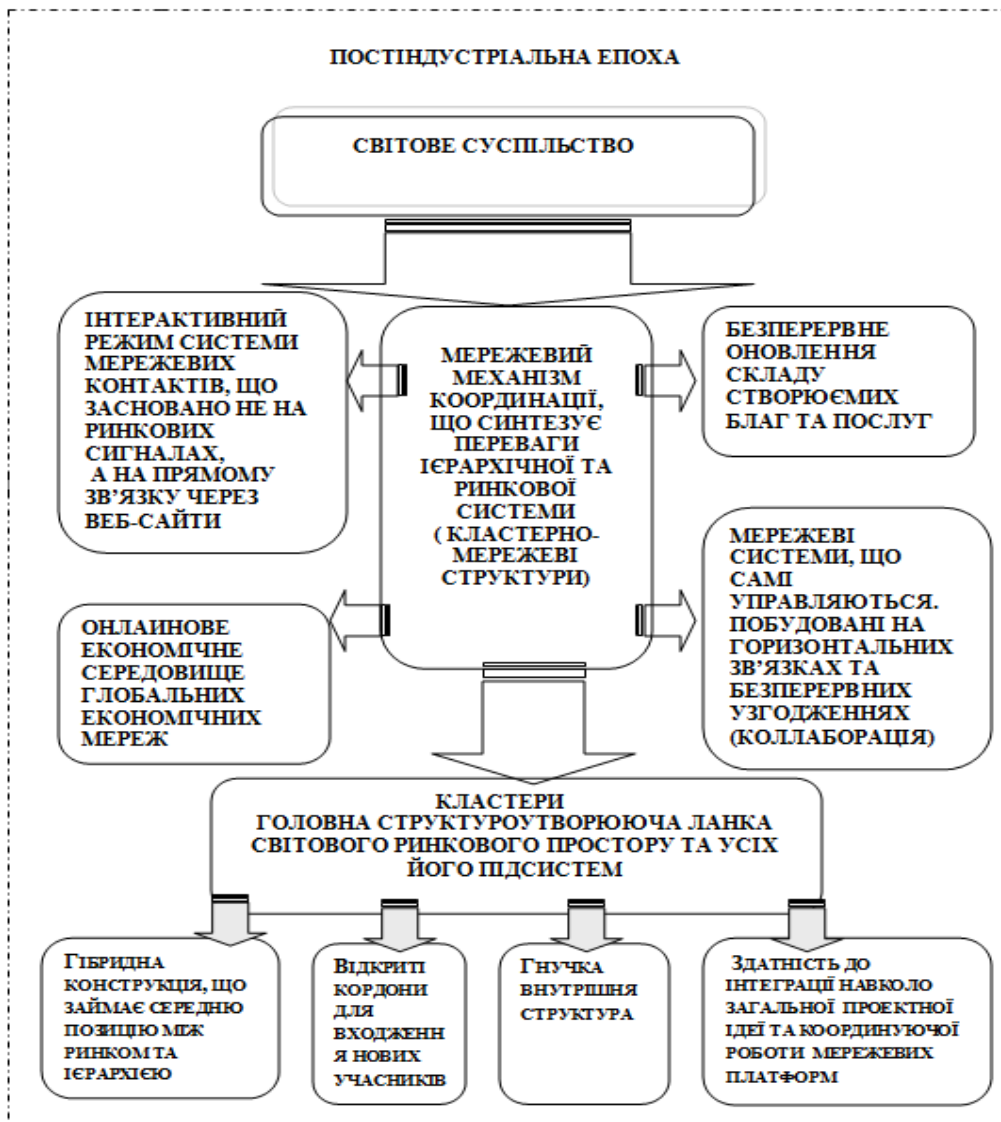


Рис. 1. Характеристика мережевого механізму координації у світовому суспільстві постіндустріальної епохи (розроблено автором).

Як видно із рисунку 1, світове суспільство постіндустріальної епохи характеризується мережовим механізмом координації, що синтезує переваги ієрархічної та ринкової системи, а кластери стають головною структуроутворюючою ланкою світового ринкового простору та усіх його підсистем. З приводу цього слід зазначити актуальність концепції економічного районування (теорія утворення регіональних комплексів), що була створена М. Колосовським, відповідає потребам свого часу та була затребувана в умовах індустріальної стадії розвитку економіки. Відповідно до його концепції, уся територія країни розподіляється на економічні райони, що утворюються відповідно виробничим ознакам та в цілому представляють закінчену систему регіональних об'єднань продуктивних сил [10]. Такий підхід пояснює можливість та умови створення коопераційних зв'язків у таких об'єднаннях.

Сучасні міжгалузеві зв'язки засновано на основних принципах, що формують відносини у оновленій інноваційній системі. Дослідження показало, що система взаємозв'язків у сучасному національному інноваційному середовищі (НІС) внаслідок ринкових перетворень зазнала суттєвих змін, що обумовило появу нових теоретичних підходів до обґрунтування механізму їх функціонування та організації мереженої взаємодії (рис.2).

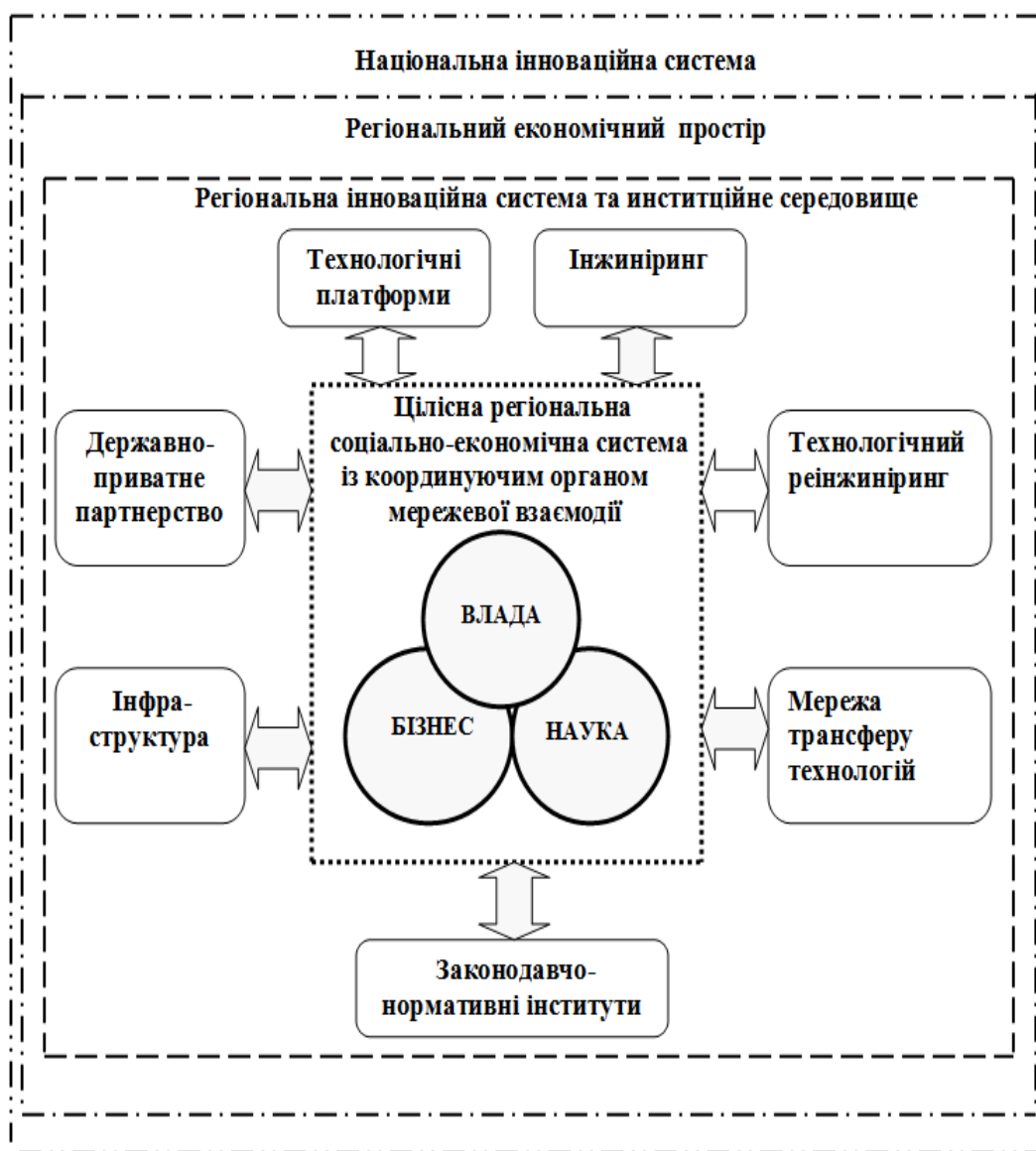


Рис. 2. Система взаємозв'язків у регіональній інноваційній системі

Огляд літературних джерел показав теоретичну обґрунтованість ствердження, що якісно новий рівень зв'язків суміжних галузей обумовлює домінуюча технологія. Із цього виходить, що формування РМЗ доцільно пов'язувати із інноваційними програмами технологічних та логістичних перетворень в умовах інтегруючих процесів влади, бізнесу та науки поміж собою та із діючими інститутами, серед яких виділено технологічні платформи, інжиніринг, державно-приватне партнерство, мережі трансферу технологій.

Під регіональними міжгалузевими зв'язками розуміється процес наближення спеціалізованих ланцюгів виробництва, що розташовані у межах одного регіону, відносяться до різних галузей та мають спільні економічні інтереси у інноваційній діяльності, виробництві або маркетингу та в умовах дії зовнішніх факторів проявляють властивості цілісності, що дозволяє комплексно формувати та використовувати економічні та фінансові ресурси для створення розширеного відтворення. Регіональні міжгалузеві зв'язки – це діяльність зростаючого масштабу на різних рівнях : підприємства, корпорації, міжкорпоративному рівні, регіональному, рівні кластерного формування, а також державного управління. Ця діяльність можлива завдяки відповідним механізмам управління.

Механізм управління регіональними міжгалузевими зв'язками – це набір нормативно-законодавчих актів, ринкових прийомів та інструментів, що створюють систему, яка здатна сама розвиватись із певною мірою гнучкості , передбачати формування загальних і приватних стратегій розвитку міжгалузевих об'єднань, засобів їх оцінки, реалізації та контролю, реагувати на зміни зовнішнього та внутрішнього середовища, змінювати свою стратегію і цілі, формалізовані структури , організаційну культуру та поведінку учасників процесу створення міжгалузевих зв'язків у межах цілісної регіональної соціально-економічної системи на основі системного підходу. Інституційні зміни в економічному середовищі привели до появи нових видів виробничої кооперації. Сучасна система міжгалузевих зв'язків заснована на основних підходах щодо інтеграції, які формують відносини у оновленій інноваційній системі:

- економічна інтеграція, що заснована на неціновій конкуренції та спільному інтересі;
- технологічна інтеграція виробництва заснована на спільних технологічних платформах та спрямована на розвиток міжгалузевих зв'язків;
- організаційно-економічна інтеграція промислового виробництва, що виражається у розвитку бізнес-формувань , які підпорядковують собі та регулюють виробництво малих і середніх виробників;
- інформаційна інтеграція, що здійснюється у межах інтегрованої системи трансферу технологій та заснована на використанні інформаційних технологій, банків даних зі стандартів якості і підпорядкована головним задачам здійснення технологічного реінжинірингу високотехнологічних виробництв;
- правова інтеграція промислового виробництва заснована на взаємо- обумовленості правових норм та законів;
- міжнародна інтеграція виробництва спрямована на участь у процесах міжнародного розподілу праці;
- кластерна інтеграція, що спрямована на розвиток мереженої взаємодії, розвиток територій, сприяє технологічному ре інжинірингу та міжгалузевим зв'язкам.

Особливість кластерної інтеграції полягає у формуванні основи місцевого середовища, тому їх відносять до географічно обмежених концентрацій взаємопов'язаних фірм. У одному регіоні можуть існувати як один так і декілька видів кластеру. Основні концепції передбачають існування у регіонах промислових, інноваційних та

інжинірингових кластерів. Кожен із цих видів кластерів відрізняється своїми особистостями. У різних кластерів є спільні ознаки, та такі, що характерні тільки для певного виду. До регіональних кластерів відносяться галузі, промислові кластери, окремі компанії, що пов'язані використанням загальних технологій, університети, дослідницькі інститути та виробничі системи, тощо. Конкурентними перевагами таких кластерів є соціальний капітал та географічна близькість, а також історичні передумови розвитку регіонів. Такі кластери потребують цілеспрямованої підтримки держави. Для промислових та інжинірингових кластерів характерна технологічна спрямованість. Промисловий кластер представляє собою функціональне угруповання компаній, які не детерміновані строго територіальними межами певних регіонів. Він може розташовуватись в окремому регіоні і може охоплювати ряд регіонів і навіть країн. Такими кластерами є міжгалузеві комплекси та полюси зросту, від яких кластери відрізняються високим рівнем інноваційної активності та гнучкістю спеціалізації, отримуючи вигоди із спільного ринку праці. Внаслідок посилення впливу теорій інноваційного розвитку та економічного зростання на кластерну концепцію наприкінці ХХ сторіччя з'явився термін «інноваційний кластер». Його поява була обумовлена розвитком теорії національної інноваційної системи. Чисельні дослідження в області інноваційного розвитку окремих країн привели до переосмислення як факторів, що впливають на інноваційні процеси, так і змісту самого процесу. По-перше, з'явилося розуміння важливості для генерації інновацій взаємодії між господарюючими суб'єктами та науково-дослідницькими установами. По-друге, дослідження інституційних сфер довели важливість партнерства наукового, підприємницького та державного секторів економіки. Запропонована Г. Іцковіцем та Л. Лейдесдорфом модель «потрійної спіралі» переконала у можливості перерозподілі функцій між учасниками інституціонального середовища та у розширенні сфер їх діяльності [11-13]. Між інститутами, що утворюють інноваційний кластер, встановлюються двосторонні зв'язки, засновані на принципах виробничо-технологічної кооперації та державно-приватного партнерства. Із появою нових інститутів інноваційного розвитку та ускладненням господарських задач ці зв'язки зазнали суттєвих змін. Перш за все, вони, обумовлені змінами у економічному середовищі внаслідок процесів приватизації, глобалізації та корпоратизації. Трансформаційні процеси у інституційному середовищі створюють нові фактори впливу, що потребує коригування методологічних засад взаємодії суб'єктів ринкових відносин. Усе це періодично створює дисбаланси у взаємовідносинах і впливає на результати підприємницької діяльності. Теоретичне обґрунтування інноваційних кластерів створило прогресивний підхід, що засновано на рухливості кордонів кластеру. Зміна ступеню повноти обліку учасників взаємодії всередині кластеру пов'язана із більш поширеним тлумаченням галузевої спеціалізації та міжгалузевих зв'язків всередині кластеру. Інноваційні територіальні кластери (ІТК) мають значну долю інноваційної продукції, а також сформовану інноваційну структуру, яка складається із взаємодії учасників регіональної інноваційної системи (заклади науки, університети, центри досліджень та розробок, мережі трансферу технологій, технопарки, суспільні організації, фінансові інститути, центри кластерного розвитку, тощо). ІТК може включати організації РІС, що обслуговує кілька кластерів. ІТК і РІС відрізняються результативною частиною. Якщо результатом діяльності ІТК є інноваційні товари та послуги, то результатом діяльності РІС є патенти, опитні вироби, кадри фахівців, що обслуговують кілька кластерів регіону. Це свідчить про те, що ІТК включає більшу частку ланцюгів цінності порівняно з РІС. Концепція інжинірингових кластерів з'явилась останні роки та ще не сприйнята ринковим середовищем, але є декларація російського Комітету по промисловості та взаємодії із природними монополіями щодо їх сутності та напрямів діяльності, що дає підстави враховувати їх особистості при формуванні концепції. Головна ідея таких кластерів в об'єднанні ведучих компаній регіону, їх навичок, опиту, потужностей і технологій з метою здійснення ефективної кооперації у

здійсненні інжинірингових проектів та надання повного комплексу високопрофесійних послуг під єдиним технологічним та організаційним керівництвом. Таке призначення інжинірингових кластерів має важливе значення для подальшого формування ідеології нової кластерної концепції, яка спрямована саме на вирішення задач розвитку коопераційних зв'язків.

Аналіз відомих концепцій створення кластерів дозволив дійти до висновку, що кожна із них окремо вирішує певне коло проблем, але не забезпечує комплексного підходу щодо вирішення задач, які актуальні для економіки України. Слабкі зв'язки, відсутність об'єднуючої ідеї та обмеженість фінансових ресурсів стримують сьогодні інноваційний процес. У той же час світовий досвід демонструє існуючі можливості вирішення більшості проблем. Тому принциповим підходом до формування концепції кластеру нового типу є побудова механізмів, що здатні об'єднати усі інститути та бізнес-формування навколо спільної ідеї. Такою ідеєю є створення цілісної регіональної господарчої системи із сталими внутрішніми зв'язками, що забезпечують її саморозвиток.

На основі викладеного вище, постає питання про можливість поєднання переваг, що характерні для кожного із типів кластерів, в одній інтегрованій структурі. Такою структурою у дисертації пропонується Регіональний інноваційно-інжиніринговий промисловий кластер. Його поява є логічною реакцією на об'єктивне існування у складі інноваційних систем нових інструментів активізації інноваційного розвитку, які у пройшли успішну апробацію у різних економіках, але не знайшли свого місця у вітчизняній практиці. Створення ІПК є логічним розвитком еволюції кластерної теорії.

Концепція формування ІПК представляє собою загальну задумку та перспективне бачення основ кластерної політики у виробничій сфері, містить вихідні принципи і методологічні засади її побудови і функціонування, визначає цілі, задачі, пріоритети інноваційного розвитку економіки, напрямки та засоби їх реалізації. Концепція розроблена на основі бачення місії національних інноваційних кластерів у економіці країни із урахуванням підходів Національної Академії наук України, Міністерства економіки та Державного агентства України по інвестиціям та інноваціям.

Інноваційно-інжиніринговий промисловий кластер (ІПК) - це нова модель просторового розвитку української економіки, що дозволяє створювати інновації на основі власних і запозичених технологій. Її відрізняє наявність інноваційно активної промисловості, фундаментальної практико-орієнтованої науки, відповідних інжинірингових компаній, спільних технологічних платформ, розгалуженої мережі трансферу технологій, сучасної освіти, системи інтеративного планування стратегічного розвитку та новітньої моделі формування НІС – моделі потрійної спіралі. Модель має принципову відмінність від інших моделей структурою та механізмом взаємодії її окремих елементів [14].

Головна ціль створення ІПК полягає у формуванні інноваційно спрямованої цілісної соціально-економічної системи, у економічному просторі якої здійснюється формування коопераційних зв'язків на основі концепції технологічного реінжинірингу. Інноваційно-інжинірингові промислові кластери – це якісно нова територіальна структура господарчого комплексу України. Головна її особистість складається у тому, що ядрами кластеру визначено високотехнологічні промислові підприємства військово-промислового комплексу, які на основі технологічного реінжинірингу сприяють розвитку міжгалузевої кооперації, що посилює синергетичний ефект. Навколо ключових підприємств формуються сателітні утворення завдяки передачі подвійних технологій та створенню підприємств девиробництва. Кластерна стратегія передбачає побудову не тільки горизонтального виміру кластеру, а і вертикального, що означає географічний розподіл праці і співробітництво учасників у рамках кластеру. Тобто підприємства різних стадій виробничого процесу будуть доповнювати один одного та для кожного учасника

співробітництва бути важливим фактором виробництва. Кластерна взаємодія побудована на принципах протилежності локальної кооперації та конкуренції. Таке можливо за умови відсутності регіонального протекціонізму і різних преференцій для державних підприємств. Створення рівних умов для всіх суб'єктів господарської діяльності регіону дасть можливість сформувати ринок недосконалої конкуренції та забезпечити сталість цілісної регіональної соціально-економічної системи.

Для інноваційно-інжинірингових промислових кластерів характерні наступні відмінні риси, що відрізняють їх від інноваційних, промислових та інших видів існуючих класифікацій:

- цільова орієнтація на технологічний реінжиніринг виробничої основи промислових підприємств;
- використання нових форматів державно-приватного партнерства;
- спільність технологічних платформ;
- інжинірингова складова;
- інтерактивне планування;
- мережа трансферу технологій;
- здібність до навчання;
- довгострокова кадрова політика;
- стратегічне планування.

Регіональний інноваційно-інжиніринговий промисловий кластер включає в себе організації регіональної інноваційної системи, яка може обслуговувати декілька кластерів. Разом із тим, інноваційно-інжиніринговий промисловий кластер включає в себе більше частин ланцюжків цінності, ніж регіональна інноваційна система. Ці додаткові ланцюжки цінностей створює інжиніринг. Як свідчить світова практика, інжинірингові компанії співробітничать із провідними виробниками різноманітної продукції різних країн, що забезпечує обмін досвідом та технологіями. Головною ціллю діяльності ІПК є формування конкурентоздатної технологічної основи підприємств-учасників з метою переходу на вироблення експорторієнтованої продукції. Включення вітчизняних інноваційно-інжинірингових промислових кластерів у глобальні ланцюжки створення додаткової вартості дозволять суттєво підняти рівень національної технологічної бази, підвищити швидкість та якість економічного зросту. У якості умов формування інноваційно-інжинірингових промислових кластерів можливо виділити наступне:

- наявність високотехнологічних підприємств – ядра кластеру;
- наявність наукового потенціалу, великих наукових центрів, вузівської та заводської (виробничої) науки;
- наявність виробничих передмов, а саме достатній рівень інноваційності промисловості регіону в цілому, та окремих підприємств, що входять до кластеру;
- орієнтація на модель потрійної спіралі;
- наявність планів стратегічного розвитку регіонів та окремих підприємств;
- узгодження інтересів бізнес-формувань із інтересами влади та науки;
- спільно схвалені потенційними учасниками технологічні платформи;
- наявність інституційних передмов, підтримка держави та різних фондів;
- наявність політичних передмов.

Суттєвою перевагою ІПК є можливість системного забезпечення широкої кооперації приватного інвестиційного бізнесу із малими підприємствами, що додають гнучкості усьому технологічному ланцюгу. Це дозволяє створити механізм відродження машинобудівного комплексу на основі кластерної концепції.

Ефективність є найважливішим показником, що визначає доцільність формування регіональних міжгалузевих зв'язків. Природа економічної ефективності полягає у здатності системи створювати та здійснювати підтримку потенційним ефектам. Мережеві взаємодії виникають в регіональній інноваційній системі у залежності від рівня її інноваційного розвитку, техніко-технологічного та організаційного рівня виробництва учасників, завдяки кластерним формуванням, корпоратизації, політики виробничої кооперації та іншим внутрішнім та зовнішнім процесам, тому методичний підхід до визначення їх впливу на формування соціально-економічного ефекту передбачає диференціацію мережевих ланцюгів за напрямками та формами взаємодії. Міжгалузеві зв'язки, як і будь яка економічна категорія, мають певний потенціал, який формується у інноваційній системі. Із цього витікає перша гіпотеза, що потребує усвідомлення: соціально-економічний ефект мережевої взаємодії формується у регіональній інноваційній системі та залежить від її можливостей створювати умови для отримання ефекту. Інноваційно-інженірингові промислові кластери формуються у регіональній інноваційній системі (РІС) та у них створюються механізми взаємодії його членів поміж собою і з інституційними утвореннями. Друга гіпотеза, що потребує усвідомлення: соціально-економічний ефект мережевої взаємодії залежить від ефективності кластерного утворення та його спроможності забезпечити коопераційні зв'язки в умовах реалізації програм технологічного реінжинірингу. Ці гіпотези стосуються зовнішніх факторів. До внутрішніх факторів відносяться характеристики взаємодіючих суб'єктів. Як було зазначено вище, головним фактором, що забезпечує можливість кооперації є технологія. Саме особистості технологічного процесу та стан виробничого обладнання створюють технічну можливість кооперації та обумовлюють економію ресурсів. Таким чином, третя гіпотеза, що потребує усвідомлення: соціально-економічний ефект мережевої взаємодії формується у процесі реалізації планів кооперації та залежить від технічного стану та рівня технології виробництва учасників процесу. Виходячи із цих припущень, розглянемо кожен із сформульованих гіпотез.

Головне призначення РІС полягає у створенні умов для генерування, впровадження та розповсюдження інновацій. Міжгалузеві зв'язки не обов'язково повинні носити інноваційний характер, але по своїй суті вони є тим фактором, який у певній мірі впливає на цілісність економічної системи, тобто створює сприятливі умови для інновацій. Тому важливе значення має визначення місця і ролі потенціалу РІС щодо формування регіональних міжгалузевих зв'язків (ПФМЗ) на основі технологічного реінжинірингу. Сутність об'єктивної оцінки потенціалу можливостей РІС забезпечувати та сприяти розвитку міжгалузевих зв'язків полягає у її здатності до наступного: створювати привабливі умови для розміщення промислових підприємств та розвитку промислового потенціалу; створювати інститути активізації інноваційної діяльності відповідно технологіям, що експортуються у регіон; забезпечувати підтримку у створенні та утриманні регіональної соціально-економічної системи із повним виробничим циклом; створювати та забезпечувати нормативно-правову базу для здійснення міжгалузевих зв'язків; створювати умови для здійснення інжинірингових та реінженірингових процесів; створювати умови для зацікавленості бізнесу у виробництві експортоорієнтованої продукції; створювати умови для виробництва, розповсюдження, використання знань та реалізації їх результатів; створювати умови для розвитку мереж трансферу технологій; створювати умови для розвитку інформаційних технологій; вирішувати соціальні проблеми, що пов'язані із зайнятістю населення; формування системи показників, що дозволяє здійснювати моніторинг ефективності міжгалузевих зв'язків.

Виходячи із цієї передмови, методологічні принципи розробки системи показників, що характеризують розвинутість міжгалузевих зв'язків у регіоні, полягають у застосуванні

тризвенного підходу до визначення ефективності РІС при створенні регіональних міжгалузевих зв'язків:

- оцінка умов створення та функціонування міжгалузевих зв'язків у полікорпоративній системі;
- оцінка масштабів залучення підприємств та закладів науки до участі у коопераційних зв'язках;
- оцінка ефективності міжгалузевих зв'язків для учасників та для регіону.

Систему показників, що характеризують ефективність регіональної інноваційної системи у забезпеченні міжгалузевих зв'язків, можна представити у вигляді трьох структурних блоків.

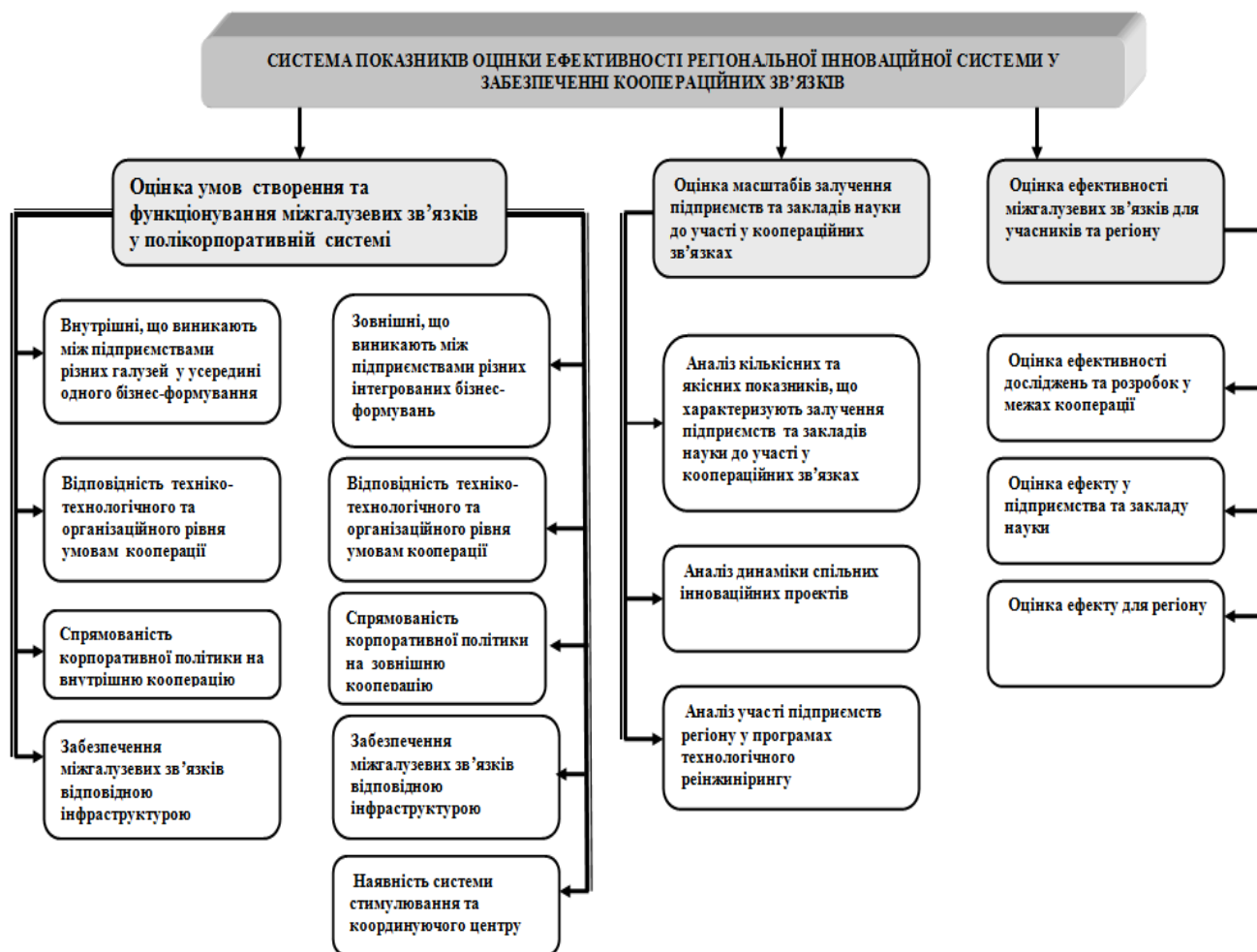


Рис. 3. Система показників, що характеризують ефективність регіональної інноваційної системи у забезпеченні міжгалузевих зв'язків.

Перший блок дає уявлення щодо умов створення та функціонування міжгалузевих зв'язків.

Другий блок дає уявлення щодо масштабів залучення підприємств та закладів науки до участі у коопераційних зв'язках.

Третій блок дає уявлення щодо ефективності міжгалузевих зв'язків для учасників та регіону. Розвиток регіональних міжгалузевих зв'язків як елементу процесу формування цілісної регіональної соціально-економічної системи передбачає необхідність алгоритмізації процесу їх створення і розвитку з урахуванням розподілу повноважень та відповідальності на усіх етапах реалізації алгоритму між корпорацією (міністерством, галуззю), учасниками та виконавчою владою регіону.

На четвертому етапі оцінюються інституційні умови забезпечення коопераційних зв'язків та приймаються необхідні рішення щодо приведення їх до потрібного стану.

На п'ятому етапі здійснюється розподілення повноважень та обов'язків.

Шостий і сьомий етап – реалізація планів створення міжгалузевих зв'язків та розрахунок економічного ефекту.

Дослідження перспектив розвитку РІС внаслідок формування міжгалузевих зв'язків визначило, що динаміка процесу обумовлюється сукупною приведеною рейтинговою оцінкою умов створення (УС) та функціонування міжгалузевих зв'язків у полікорпоративній системі, сукупною приведеною рейтинговою оцінкою масштабів залучення підприємств та закладів науки до участі у корпоративних зв'язках (МЗА) та інтегральної оцінки ефекту міжгалузевих зв'язків (ЕМЗ), а також базовими станом (ІРо) та індикатором розвитку РІС (ІРіс) Цей методичний підхід може бути формалізовано наступним чином:

$$IPic=f(UC,MZA,EMZ,Ipo, IPic)$$

Характер приведеної функції f залежить від особливостей розвитку певного регіону, рівня організації та координації міжгалузевих зв'язків за участю керівного органу ІПК, характеру процесу їх створення, механізмів формування умов функціонування потенційних зв'язків, процесу фінансування та отримання ефекту, а сама функція представляє складну модель соціально-економічного розвитку регіону.

Висновки

1. Створення або покращення взаємовідносин мережевого типу є головним результатом кластерного підходу у формуванні регіональних міжгалузевих зв'язків. Головна ціль кластерної політики може бути визначена як максимізація вигоди, що може бути отримана завдяки можливостям мережевого об'єднання. Тому основна оцінка кластерного підходу полягає у тому, як мережеві процеси впливають на роботу підприємств та регіону вцілому.

2. Мережеві створення як результат політики розвитку регіональних міжгалузевих зв'язків є самодостатніми. Створення мережевих зв'язків підвищує конкурентоспроможність кластерів та скорочує вплив олігополістичної діяльності, як антиринкової поведінки.

3. Система показників, що обумовлює ефективність регіональної інноваційної системи у забезпеченні міжгалузевих зв'язків, повинна відображати умови їх створення та масштаби участі у їх розвитку господарюючих суб'єктів.

Література

1. Диваева Э.А. Методология оценки функционирования региональных инновационных систем. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук. Москва -2013.
2. Алексеев А.А., Дятлова Е.С., Фомина Н.Е., Метод оценки инновационного потенциала региона с позиции формирования кластерной политики, Вопросы экономики и права. 2012. № 54. С.106-111.

3. Скоч А.В. Синергетический эффект кластерообразующих инвестиций: методы количественной и качественной оценки / А.В. Скоч // Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. - №3. – с.23-30.
4. Хасанов Р. Х. Синергетический эффект кластера // Проблемы современной экономики, N 3 (31), 2009. – с. 71-77.
5. Якутин Ю. Концептуальные подходы к оценке эффективности корпоративной интеграции / Ю. Якутин // «Российский экономический журнал». — 1998. — № 5. – с. 71-81.
6. Тюнен Й.Г. Изольована держава у його відношенні до сільського господарства та національній економіці. : пер. з нім. Т.І. М.: Економічне життя . 1926.
7. Вебер А. До питання щодо соціології держави та культури.
8. Культурологія. XX век: Антологія/ гол.ред. і скл. серії С.Я. Левіт; відп.ред.: С.Я.Левіт, Л.Т.Мильска . М : Юрист. 1995.
9. Леш А. Пространственная организация хозяйства: пер. с нем. М.: Наука, 2007- 662с.
10. Теорія Хекшера - Оліна. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.aup.ru/boocs . Дата звернення 27.11.2013.
11. Колосовський М.М. Теорія економічного районування / М.М. Колосовський/ – М.: Мысль, 1969. – 335 с.
12. Ицкович Г. Модель тройной спирали// Инновационная Россия, №4, 2011.- с.84 – 96.
13. Катукон Д. Д., Малыгин В. Е., Смородинская Н. В. Институциональная среда глобализированной экономики: развитие сетевых взаимодействий. М., Институт экономики, 2012.- 34с.
14. Мехович С.А. Регіони України: стратегія і політика розвитку: монографія. Харків: Тов «Планета – принт», 2016. 436 с.

References

1. Divaev E.A. Methodology for evaluating the functioning of regional innovation systems. Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Economic Sciences. Moscow, 2013.
2. Alekseev A.A., Dyatlova E.S., Fomina N.E., Method for Evaluating the Innovation Potential of a Region from the Position of Forming Cluster Policy, Economic and Law Issues. 2012. No. 54. P.106-111.
3. Scotch A.V. Synergistic effect of cluster-forming investments: methods of quantitative and qualitative assessment / A.V. Scotch. Management in Russia and abroad. - 2008. - №3. - p.23-30.
4. Khasanov R. Kh. Synergetic Effect of the Cluster. Problems of the Modern Economy, N 3 (31), 2009. - p. 71-77.
5. Yakutin Yu. Conceptual approaches to assessing the effectiveness of corporate integration / Yu. Yakutin. Russian Economic Journal. - 1998. - № 5. - p. 71-81.
6. Tyunen Y.G. Isolated power at the yogin of tenants to the city government and the national economy. : trans. s nim T.I. M.: Ekonomichne zhittya. 1926.
7. Weber A. Before feeding the soul of a sociological state and culture /
8. Cultural studies. XX century: Antologiya / goal.ed. i scl. Seri S.Ya. Levit; editorial editor: S.Ya.Levit, L.T.Milkska. M: Lawyer. 1995
9. Lesh A. Spatial organization of the economy: Per. with him. M.: Science, 2007- 662s.
10. Theory Heckscher - Olina. [Electronic resource]. - Mode of access: www.aup.ru/boocs. The date of the beast is November 27, 2013.
11. Kolosovsky M.M. Theory of Economic Area / MM Kolosovsky / - M.: Thought, 1969. - 335 p.
12. Itskovitz G. Model of the triple helix. Innovative Russia, №4, 2011.- p.84 - 96.
13. Katukov D. D., Malygin V. E., Smorodinskaya N. V. Institutional environment of a globalized economy: the development of network interactions. M., Institute of Economics, 2012.- 34с.
14. Mekhovych S.A. Regions of Ukraine: strategy and politics of development: monograph. Kharkiv: Tov “Planet - print”, 2016. 436 p.

Прийнята до друку 15.10. 2019 р.

**ПРО ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ
ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ
ЗА СІЧЕНЬ-ЖОВТЕНЬ 2019 РОКУ**

*ГО «Науково-технічна спілка
енергетиків та електротехніків України»*

За січень-жовтень 2019 року, за фактичними даними, обсяг виробництва електричної енергії електростанціями України, які входять до Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, у цілому склав 12706,1 млн кВт·г, що на 2228,9 млн кВт·г, або на 1,7 менше, ніж за 10 місяців 2018 року. При цьому, тепловими електростанціями генеруючих компаній вироблено 38732,3 млн кВт·г, що на 396,3 млн кВт·г, або на 1,0% більше, ніж за 10 місяців 2018 р. Теплоелектроцентралями та когенераційними установками вироблено 8196,0 млн кВт·г, що на 96,5 млн кВт·г, або на 1,2% більше, ніж за відповідний період 2018 року. Атомними електростанціями вироблено 67086,3 млн кВт·г, що у порівнянні з відповідним періодом минулого року менше на 1296,7 млн кВт·г, або на 1,9%. Гідроелектростанціями та гідроакумуючими електростанціями за 10 місяців 2019 року вироблено 6639,1 млн кВт·г, що на 3980,3 млн кВт·г, або на 37,5% менше, ніж за 10 місяців 2018 р.

Виробіток ТЕС та ТЕЦ за 10 місяців 2019 року від загального по ОЕС склав 37,0%, виробіток електроенергії АЕС склав 52,9%, а виробіток ГЕС та ГАЕС – 5,2%. За 10 місяців 2018 р. частка виробітку ТЕС та ТЕЦ, АЕС, ГЕС та ГАЕС складала відповідно 36,0%, 53,0% і 8,2%. Виробництво електроенергії блок-станціями та іншими джерелами за 10 місяців 2019 року склало 1479,3 млн кВт·г, що на 234,8 млн кВт·г, або на 18,9% більше, ніж за відповідний період минулого року. Виробництво електроенергії альтернативними джерелами (ВЕС, СЕС, біомаса) за 10 місяців 2019 року склало 4573,1кВт·г, що на 2320,5 млн кВт·г, або на 103,0% більше, ніж за відповідний період 2018 року. За 10 місяців 2019 року тепловими та атомними електростанціями і районними котельнями Міненерговугілля відпущено 15182,9 тис. Гкал тепла, що на 514,9 тис. Гкал або на 3,3% менше минулорічного показника за 10 місяців.

Динаміка і структура виробництва електроенергії по Україні

	10 місяців 2018 р.		10 місяців 2019 р.		+/- до 2018 р.	
	млн кВт·г	у % до заг. виробн.	млн кВт·г	у % до заг. виробн.	млн кВт·г	%
Виробіток електроенергії – всього	128935,0	100,0	126706,1	100,0	-2228,9	-1,7
у тому числі:						
ТЕС та ТЕЦ, з них:	46435,5	36,0	46928,3	37,0	492,8	1,1
ТЕС ГК - всього	38336,0	29,7	38732,3	30,6	396,3	1,0
ТЕЦ та когенераційні установки	8099,5	6,3	8196,0	6,5	96,5	1,2
ГЕС та ГАЕС, з них:	10619,4	8,2	6639,1	5,2	-3980,3	-37,5
ГЕС	9322,3	7,2	5544,1	4,4	-3778,2	-40,5
ГАЕС	1297,1	1,0	1095,0	0,9	-202,1	-15,6
АЕС. всього	68383,0	53,0	67086,3	52,9	-1296,7	-1,9
Альтернативні джерела	2252,6	1,7	4573,1	3,6	2320,5	103,0

(ВЕС, СЕС, біомаса)						
Блок-станціями та інш.джерелами	1244,5	1,0	1479,3	1,2	234,8	18,9

На початок 2019 року запаси палива на електростанціях склали: вугілля – 1474,7 тис. тонн, мазуту – 40,9 тис. тонн (на початок 2018 року відповідно 2061,5 тис. тонн та 133,9 тис. тонн).

Загальний обсяг вуглепостачання на теплоелектростанції протягом січня-вересня 2019 року склав 18670,4 тис. тонн, що на 31,9 тис. тонн менше, ніж за 9 місяців 2018 року. Від підприємств вугільної галузі України – 14828,2 тис. тонн, що на 133,2 тис. тонн менше, ніж за 9 місяців 2018 року. Витрати вугілля склали 18805,7 тис. тонн. Запас вугілля станом на 01.10.2019 р. – 1339,4 тис. тонн.

Запаси вугілля на 01.10.2019 р. на складах підвідомчих Міненерговугілля підприємств становили 1339,4 тис. тонн, що на 1590,6 тис. тонн менше, ніж у 2018 році (1930,0 тис. тонн) при номінальній місткості вугільних складів 5080 тис. тонн.

Топкового мазуту за 9 місяців 2019 р. спожито 29,5 тис. тонн, що на 98,1 тис. т менше, ніж за відповідний період 2018 р. Запас мазуту на 01.10.2019 р. на підвідомчих Міненерговугілля підприємствах склав 31,5 тис. тонн.

Використання природного газу на теплових електростанціях України за 9 місяців 2019 р. становило 262809,5 млн куб. м, що на 4124,6 млн куб. м більше, ніж за цей період 2018 р. При цьому ТЕС енергогенеруючих компаній спожили 138,6 млн куб. м, що на 17,1 куб. м більше, ніж за 9 місяців 2018 р. Станом на 01.10.2019 в українських підземних сховищах газу знаходилось 20,4 млрд куб. м природного газу, що на 4,2 млрд куб. м або на 25,9 % більше запасу газу порівняно з 05.09.2018 р. Відбір газу за 2019 рік склав 5,18 млрд куб. м.

За 9 місяців 2019 року спостерігається зменшення електроспоживання (брутто), яке склало 110785,7 млн кВт·г, що на 649,4 млн кВт·г, або на 0,6% менше, ніж за 9 місяців 2018 року. Споживання електроенергії (нетто) галузями національної економіки та населенням склало 89359,0 млн кВт·г, що на 300,8 млн кВт·г менше аналогічного показника 2018 року.

Динаміка і структура споживання електроенергії за 10 місяців 2019 р.

Групи споживачів	Ел.споживання 2019 р. млн кВт·г	+ / - до 2018 р. млн кВт·г	+ / - до 2018 р. %	Питома вага, % 2018 р.	Питома вага, % 2019 р.
Споживання ел.ен. (брутто)	123148,7	-762,1	-0,6		
Споживання ел.ен. (нетто)	99203,4	-281,2	-0,3	100,0	100,0
у тому числі:					
1.Промисловість	42747,2	-232,8	-0,5	43,2	43,1
у тому числі:					
Паливна	2817,4	-101,9	-3,5	2,9	2,8
Металургійна	24327,5	-240,2	-1,0	24,7	24,5
Хімічна та нафтохімічна	3029,2	399,3	15,2	2,6	3,1
Машинобудівна	3017,5	-269,9	-8,2	3,3	3,0
Будів.матеріалів	1871,4	-27,0	-1,4	1,9	1,9

Харчова та переробна	3718,0	43,6	1,2	3,7	3,7
Інша	3966,2	-36,6	-0,9	4,0	4,0
2.Сільгоспспоживачі	3113,2	-66,6	-2,1	3,2	3,1
3.Транспорт	5416,3	-235,2	-4,2	5,7	5,5
4.Будівництво	777,3	15,9	2,1	0,8	0,8
5.Ком.-побутові споживачі	12355,3	-140,1	-1,1	12,6	12,5
6.Інші непромисл. споживачі	6017,1	537,2	9,8	5,5	6,1
7.Населення	28777,1	-159,5	-0,6	29,1	29,0

Зменшення електроспоживання (нетто) відбулося, переважно, за рахунок зменшення обсягу споживання електричної енергії паливною промисловістю (на 3,5%), транспортом (на 4,2%) та комунально-побутовими споживачами (на 1,1%) та населенням (на 0,6%).

Видобуток вугілля. За 10 місяців 2019 року вугледобувними підприємствами України видобуто **25,58 млн тонн** вугілля, що на 2101,8 тис. тонн (або на 7,8%) менше порівняно із січнем-жовтнем 2018 р. В цілому видобуток енергетичного вугілля склав **20,5 млн тонн**, він зменшився на 2247,0 тис. тонн (або на 9,9%), коксівного – склав **5,05 млн тонн**, що менше на 145,1 тис. тонн (або на 3,0%). Упродовж січня-жовтня 2019 року вугледобувними підприємствами, що підпорядковані Міненергівугілля України, видобуто **3,04 млн тонн**, що на 419,5 тис. тонн (або на 12,1%) менше, ніж за цей період 2018 року. Видобуток енергетичного вугілля зменшився на 698,9 тис. тонн (або на 23,2%) порівняно з відповідним періодом 2018 року і коксівного збільшився на 279,5 тис. тонн (або на 64,1%), а видобуток відповідно склав **2,34 та 0,71 млн тонн**.

Видобуток нафти та газу. З початку 2019 року в Україні видобуто **1,768 млн тонн** нафти з газовим конденсатом і **1,72 млрд куб. м.** газу. У минулому році, відповідно, ці показники становили – 1763,2 млн тонн нафти з газовим конденсатом та 17,38 млрд куб. м газу. Підприємства НАК "Нафтогаз України" видобули за січень-жовтень 2019 року **1,654 млн тонн** нафти з конденсатом (у 2018 році – 1,565 млн тонн) і **13,5 млрд куб. м** газу (у 2018 р. – 13,7 млрд куб. м). Інші підприємства за 10 місяців 2019 року видобули **0,094 млн тонн** нафти з газовим конденсатом (у 2018 році 0,180 млн тонн) і **3,8 млрд куб. м** газу (у 2018 році – 3,7 млрд куб. м).

Поставка та переробка нафти. У січні-жовтні 2019 р. на Дрогобицький нафтопереробний завод (НПЗ) та Шебелинський газопереробний завод (ГПЗ) поставлено **722,3 тис. тонн нафтової сировини** українських родовищ (нафта з газовим конденсатом). Обсяг переробки газового конденсату з нафтою Шебелинським ГПЗ у січні-жовтні 2019 р. склав **388,0 тис. тонн**, що на 0,2% більше обсягу переробки за 10 місяців 2018 р. У січні-жовтні 2019 р. не здійснювали роботу з переробки нафтової сировини - Лисичанський, Одеський, Дрогобицький та Надвірнянський нафтопереробні підприємства. Загальні потужності з первинної переробки газового конденсату з нафтою на Шебелинському ГПЗ у січні-жовтні 2019 р. було завантажено на 48,2%.

Транспортування нафти. У січні-жовтні 2019 р. обсяг транспортування нафти підприємствами магістральних нафтопроводів зменшився порівняно з 2018 р. на 231,0 тис. тонн (або на 1,8%) і склав **12544,0 тис. тонн**. При цьому транзитом до країн Західної Європи (Словаччини, Угорщини, Румунії, Польщі, Молдови) протранспортовано **10637,0 тис.**

тонн, що 4,3% (або на 574,0 тис. т) менше порівняно із аналогічним показником 2018 р., а для потреб України – **1907,0 тис. тонн**, що на 14,6% (або на 243,0 тис. т) більше у порівнянні з відповідним періодом 2018 р. За січень-жовтень 2019 року транзитні обсяги перекачки у загальному обсязі складають **84,4%**, а на нафтопереробні підприємства України – **15,6%**.

**АНАЛІЗ СПЛАТИ ЗА СПОЖИТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ
ЗА СІЧЕНЬ-ЖОВТЕНЬ 2019 РОКУ (фактичні дані)**

ФОРМА РОЗПОДІЛ (про надходження коштів з оплати послуг за розподіл електроенергії)	Обсяги розподілу електричної енергії тис. кВт·год	Нараховано за послуги розподілу електроенергії тис. грн	Надходження коштів з оплати послуг за розподіл електроенергії	
			Всього	
			тис. грн	%
Разом	91 553 348,3	42 759 338,9	45 847 896,7	107,2
АТ «Вінницяобленерго»	2 319 321,6	1 633 468,2	1 573 269,0	96,3
ПрАТ «Волиньобленерго»	1 284 220,1	922 021,8	916 636,7	99,4
АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»	14 211 947,5	3 643 532,3	4 609 938,0	126,5
АТ «ДТЕК Донецькі електромережі»	2 403 544,7	1 829 071,7	2 127 447,6	116,3
АТ «Житомиробленерго»	1 915 104,0	1 459 513,2	1 539 440,6	105,5
ПрАТ «Закарпаттяобленерго»	1 444 878,9	1 338 269,2	1 333 024,5	99,6
ПАТ «Запоріжжяобленерго»	6 474 364,3	2 001 487,2	1 962 829,4	98,1
АТ «Прикарпаттяобленерго»	1 919 998,8	1 336 559,3	1 376 638,3	103,0
ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»	7 566 204,6	1 898 013,9	2 777 044,2	146,3
ПрАТ «Київобленерго»	4 862 740,3	2 724 185,3	2 983 411,0	109,5
ПрАТ «Кіровоградобленерго»	1 531 808,0	1 212 683,0	1 287 894,0	106,2
ТОВ «Луганське енергетичне об'єднання»	969 238,7	1 003 677,2	1 027 268,7	102,4
ПрАТ «Львівобленерго»	3 367 410,9	2 220 475,9	2 351 527,6	105,9
АТ «Миколаївобленерго»	2 100 062,0	1 203 530,0	1 252 182,5	104,0
АТ «Одесаобленерго»	4 669 023,5	3 059 824,2	3 053 616,0	99,8
ПАТ «Полтаваобленерго»	4 128 351,9	1 613 706,7	1 989 641,8	123,3
ПрАТ «Рівнеобленерго»	1 756 897,7	1 003 566,1	1 026 480,2	102,3
ПАТ «Сумиобленерго»	1 599 584,3	1 207 669,6	1 210 500,5	100,2
ВАТ «Тернопільобленерго»	1 045 161,5	939 104,9	984 618,9	104,8
АТ «Харківобленерго»	4 916 392,3	2 699 690,1	2 661 744,1	98,6
АТ «Херсонобленерго»	1 932 243,2	1 275 893,1	1 335 886,3	104,7
АТ «Хмельницькобленерго»	1 775 259,7	1 346 790,5	1 344 514,9	99,8
ПАТ «Черкасиобленерго»	2 378 315,7	1 221 831,8	1 205 918,1	98,7

АТ «Чернівціобленерго»	1 072 606,7	797 601,7	818 683,4	102,6
ПАТ «Чернігівобленерго»	1 396 851,7	1 140 732,1	1 122 937,8	98,4
ПрАТ «ДТЕК ПЕМ-Енерговугілля»	363 455,4	73 111,9	64 110,3	87,7
ДП «Регіональні електричні мережі»	1 082 147,6	279 932,2	177 422,1	63,4
ТОВ «ДТЕК Високовольтні мережі»	5 254 902,4	232 593,3	261 250,3	112,3
ПрАТ «ПЕЕМ «Центральна енергетична компанія»	581 144,0	299 361,8	336 084,1	112,3
ДПЕМ ПрАТ «Атомсервіс»	608 220,7	36 990,2	37 168,7	100,5
АТ «Укрзалізниця»	4 594 168,3	1 086 680,5	1 082 118,2	99,6
КП «Міські електричні мережі»	27 777,6	17 769,9	16 648,8	93,7

Відповідно до Постанови НКРЕКП від 17.09.2019 №1978 ПП «Гарант Енерго М» анульовано ліцензію на право провадження господарської діяльності з розподілу електричної енергії.

Електропостачальники (Універсальна послуга)	Відпущено енергії за звітний період тис. грн	Оплачено за спожиту енергію за звітний період	
		Всього тис. грн	% від варт. відп. енергії
Разом	66 179 637	62 939 107	95,1
ТОВ «Енера Вінниця»	2 160 726	2 093 688	96,9
ТОВ «Волиньелектрозбут»	1 475 277	1 369 321	92,8
ТОВ «Дніпровські енергетичні послуги»	5 841 393	5 781 371	99,0
ТОВ «Донецькі енергетичні послуги»	2 700 748	2 511 338	93,0
ТОВ «Житомирська обласна енергопостачальна компанія»	1 842 067	1 729 348	93,9
ТОВ «Закарпаттяенергозбут»	2 140 468	2 095 690	97,9
ТОВ «Запоріжжяелектропостачання»	3 234 391	3 030 983	93,7
ТОВ «Прикарпатенерготрейд»	1 808 276	1 688 467	93,4
ТОВ «Київські енергетичні послуги»	6 135 701	6 103 628	99,5
ТОВ «Київська обласна енергопостачальна компанія»	5 007 456	4 564 390	91,2
ТОВ «Кіровоградська обласна енергопостачальна компанія»	1 499 196	1 405 366	93,7
ТОВ «Енера Схід»	960 368	964 985	100,5
ТОВ «Львівенергозбут»	3 708 458	3 450 564	93,0
ТОВ «Миколаївська електропостачальна компанія»	1 811 510	1 701 296	93,9
ТОВ «Одеська обласна енергопостачальна компанія»	5 398 699	5 040 130	93,4

ТОВ «Полтаваенергозбут»	2 233 083	2 328 016	104,3
ТОВ «Рівненська обласна енергопостачальна компанія»	1 628 612	1 501 377	92,2
ТОВ «Енера Суми»	1 520 901	1 429 876	94,0
ТОВ «Тернопільелектропостач»	1 361 439	1 259 503	92,5
ПрАТ «Харківенергозбут»	4 337 539	4 053 377	93,4
ТОВ «Херсонська обласна енергопостачальна компанія»	2 813 957	2 667 982	94,8
ТОВ «Хмельницькенергозбут»	1 866 977	1 738 969	93,1
ТОВ «Черкасиенергозбут»	1 788 291	1 696 876	94,9
ТОВ «Чернівецька обласна енергопостачальна компанія»	1 404 689	1 371 259	97,6
ТОВ «Енера Чернігів»	1 499 416	1 361 308	90,8

Постачальник «останньої надії»	Відпущено енергії за звітний період	Оплачено за спожиту енергію за звітний період	
		Всього	
	тис. грн	тис. грн	% від вартості відпущеної енергії
ДПЗД «Укрінтеренерго»	2 946 863	1 582 865	53,7

Електропостачальники (Вільні ціни)	Відпущено енергії за звітний період	Оплачено за спожиту енергію за звітний період	
		Всього	
	тис. грн	тис. грн	% від вартості відпущеної енергії
Разом	33 674 194	35 192 271	104,5
ТОВ «Енера Вінниця»	1 111 849	1 058 561	95,2
ТОВ «Волиньелектрозбут»	383 605	376 712	98,2
ТОВ «Дніпровські енергетичні послуги»	5 294 897	5 819 352	109,9
ТОВ «Донецькі енергетичні послуги»	2 309 209	2 290 786	99,2
ТОВ «Житомирська обласна енергопостачальна компанія»	862 229	848 401	98,4
ТОВ «Закарпаттяенергозбут»	395 569	418 788	105,9
ТОВ «Запоріжжяелектропостачання»	780 949	820 158	105,0
ТОВ «Прикарпатенерготрейд»	964 414	926 173	96,0
ТОВ «Київські енергетичні послуги»	6 973 965	7 802 302	111,9
ТОВ «Київська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана		
ТОВ «Кіровоградська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана		

ТОВ «Енера Схід»	816 490	850 018	104,1
ТОВ «Львівенергозбут»	2 660 493	2 598 841	97,7
ТОВ «Миколаївська електропостачальна компанія»	980 279	958 850	97,8
ТОВ «Одеська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана		
ТОВ «Полтаваенергозбут»	2 056 486	2 244 400	109,0
ТОВ «Рівненська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана		
ТОВ «Енера Суми»	1 438 769	1 414 183	98,3
ТОВ «Тернопільелектропостач»	602 914	595 653	98,8
ПрАТ «Харківенергозбут»	2 317 960	2 426 945	104,7
ТОВ «Херсонська обласна енергопостачальна компанія»	796 356	773 564	97,1
ТОВ «Хмельницькенергозбут»	747 788	724 863	96,9
ТОВ «Черкасиенергозбут»	902 114	918 021	101,8
ТОВ «Чернівецька обласна енергопостачальна компанія»	471 247	502 647	106,7
ТОВ «Енера Чернігів»	757 838	736 082	97,1
ДПЗД «Укрінтеренерго»	70 026	88 087	125,8

Оператори систем розподілу Про оплату заборгованості споживачів за спожити до 01.01.2019 електроенергію	Борг за спожити енергію станом на 01.01.2019	Оплата за спожити до 01.01.2019 електроенергію	Борг за спожити електроенергію станом на 01.11.2019
	тис. грн	тис. грн	тис. грн
Всього по Україні:	33 107 433,3	4 754 886,8	28 134 764,8
ПАТ «Вінницяобленерго»	255 102,0	193 763,0	63 964,0
ПрАТ «Волиньобленерго»	140 419,0	125 614,0	13 618,0
АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»	655 829,1	-553 807,3	1 200 034,1
АТ «ДТЕК Донецькі електромережі»	946 400,0	233 195,0	739 994,0
АТ «Житомиробленерго»	161 395,0	128 407,0	28 707,0
ПрАТ «Закарпаттяобленерго»	148 912,0	120 512,0	23 786,0
ПАТ «Запоріжжяобленерго»	2 080 834,0	410 806,0	1 676 812,0
АТ «Прикарпаттяобленерго»	225 418,0	211 442,0	13 976,0
ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»	271 461,0	-53 015,9	290 850,7
ПрАТ «Київобленерго»	540 854,0	433 755,6	107 098,4
ПрАТ «Кіровоградобленерго»	152 902,0	128 416,0	19 968,0

ПАТ ДТЕК «Крименерго»	506 048,2	0,0	506 048,2
ВАТ «Луганськoblenerго»	851 586,6	0,0	851 586,6
ТОВ «Луганське енергетичне об'єднання»	2 051 086,0	56 206,0	1 993 899,0
ПрАТ «Львівoblenerго»	356 448,0	333 268,0	19 776,0
АТ «Миколаївoblenerго»	212 302,0	134 497,0	87 049,0
АТ «Одесаoblenerго»	612 429,0	474 640,2	137 788,8
ПАТ «Полтаваoblenerго»	280 223,0	138 290,0	141 933,0
ПрАТ «Рівнеoblenerго»	130 327,0	116 848,9	13 133,1
ПАТ ЕК «Севастопольенерго»	65 224,0	0,0	65 224,0
ПАТ «Сумиoblenerго»	436 655,0	150 101,0	286 489,0
ВАТ «Тернопільoblenerго»	118 844,0	102 315,0	18 723,0
АТ «Харківoblenerго»	2 583 486,0	643 770,0	1 587 216,0
АТ «Херсонoblenerго»	299 818,0	197 370,0	97 404,0
АТ «Хмельницькoblenerго»	148 155,0	130 574,0	17 581,0
ПАТ «Черкасиoblenerго»	2 035 222,0	338 977,0	1 697 208,0
АТ «Чернівціoblenerго»	275 787,0	232 689,0	154 626,0
ПАТ «Чернігівoblenerго»	171 955,0	138 212,0	25 916,0
ПрАТ «ДТЕК ПЕМ-Енерговугілля»	2 313 967,0	58 344,0	2 305 674,0
ДП «Регіональні електричні мережі»	13 698 650,7	12 399,1	13 686 286,4
ТОВ «ДТЕК Високовольтні мережі»	379 693,7	117 298,2	262 395,5

Довідка про перерахування коштів за електричну енергію виробникам та іншим учасникам ОРЕ за січень-червень 2019 р. Всього сплата по виробникам та НЕК склала **100,63 млрд грн** при товарній продукції **104,23 млрд грн**, або **96,5%**.

За 6 місяців 2019 року, за фактичними даними, сплачено НАЕК «Енергоатом» – 102,3% (28477,0 млн грн), «Центренерго» – 91,5% (7894,1 млн грн), «Дніпроенерго» – 94,6% (8315,4 млн грн), «Донбасенерго» – 96,1% (3019,8 млн грн), «Західенерго» – 92,0% (14007,4 млн грн), «Східенерго» – 93,3% (7756,4 млн грн), Харківська ТЕЦ-5 – 119,8% (1236,9 млн грн), Київтеплоенерго КП – 98,6% (2998,7 млн грн), ПрАТ «Укргідроенерго» – 101,6% (3550,0 млн грн), Закарпаттяoblenerго ГЕС – 964,4 тис. грн, Нижньодністровська ГЕС – 53,5 тис. грн, **інші електростанції** – 94,4% (19808,0 млн грн), у тому числі: **теплоелектроцентралі** – 102,3% (7447,3 млн грн), **виробники альтернативної е/е** – 90,2% (12269,2 млн грн), Укргазвидобування – 96,0% (52736,6 тис. грн), **НЕК «Укренерго»** – 95,1% (3574,0 млн грн) від товарного відпуску енергії.

Всього виробникам е/е та НЕК плата склала 100,63 млрд грн при товарній продукції 104,2 млрд грн або 96,5%.

Газопостачання, споживання та транзит природного газу. Ресурси природного газу в Україні за січень-жовтень 2019 року склали **109,7 млрд куб. м** (за відповідний період 2018 року – 106,6 млрд куб. м). За зовнішньоекономічними контрактами до України надійшло **86,6 млрд куб. м** природного газу (за відповідний період 2018 року – 81,2 млрд куб. м). Споживачі України за цей період 2019 року використали **22,7 млрд куб. м** природного газу (за відповідний період 2018 р. – 24,0 млрд куб. м). Завпаси газу в ПСГ на 01.11.2019 становлять **21,8 млрд куб. м**, що на 3,61 млрд. куб. м більше ніж у відповідний період минулого року. Відбір природного газу з ПСГ за цей період склав **5,18 млрд куб. м** (за відповідний період 2018 року – 7,3 млрд куб. м). За січень-жовтень 2019 року, за оперативними даними, протранспортовано через територію України (транзит) природного газу всього **73,3 млрд куб. м**, що на 1,2 млрд куб. м (або на 1,7%) більше ніж за відповідний період 2018 року. Імпорт газу за січень-жовтень 2019 року склав **13300 млн куб. м**.

Розвиток галузей ПЕК та технічний стан підприємств

Підприємствами галузей ПЕК за рахунок усіх джерел фінансування в галузі ПЕК освоєно **18515,4 млн грн** капітальних вкладень за січень-жовтень 2019 року, що в порівнянні з відповідним періодом минулого року більше на 2686,5 млн грн.

Продовжуються роботи з будівництва Дністровської ГАЕС, реконструкції енергоблоків ТЕС, каскаду Дніпровських ГЕС, будівництва магістральних електромереж для видачі потужності блоків атомних електростанцій.

За січень-жовтень 2019 року в електроенергетичній галузі профінансовано всього 19739,1 млн грн.

В електроенергетичній галузі за січень-вересень введено в дію основних фондів – **5213,1 млн грн:**

- 242,84 км ліній електропередачі всіх напруг;
- 39,59 МВА трансформаторної потужності;
- 9,58 км волоконно-оптичних мереж зв'язку.

У вугільній галузі за січень-вересень освоєно **45,3 млн грн** капітальних вкладень, у тому числі за джерелами:

- за рахунок коштів державного бюджету - 45,0 млн грн:
у тому числі за структурою:
 - будівельно-монтажні роботи – 43,2 млн грн;
 - інші витрати – 1,8 тис. грн;
- за рахунок власних коштів підприємств – 0,3 млн гривень.

Відповідно до затвердженого помісячного плану бюджетних асигнувань Міненерговугілля спрямувало замовнику будівництва ДП «Дирекція по будівництву об'єктів» кошти у сумі 45,0 млн грн, що дозволило здійснити розрахунки за виконані роботи та сплатити заробітну плату працівникам задіяним на будівництві шахти № 10 «Нововолинська».

Плановими обсягами асигнувань з Державного бюджету на січень-жовтень 2019 року передбачено видатки за бюджетною програмою «Ліквідація вугледобувних та торфодобувних підприємств» у сумі **263,8 млн гривень**.

Фактично з початку року підприємствам, що знаходяться на стадії підготовки до ліквідації та ліквідації, а також з утримання водовідливних комплексів спрямовано **121,2 млн гривень**, у тому числі:

- шахти, які готуються до ліквідації – 59,9 млн грн;
- ДП "Укршахтгідрозахист" – 11,3 млн грн;
- ДП "ОК "Укрвуглереструктуризація" – 50,0 млн грн.

Підсумки роботи підприємств ядерної енергетики та атомної промисловості за жовтень та з початку 2019 року у порівнянні з аналогічним періодом 2018 року

Атомні електростанції. У жовтні 2019 року ДП «НАЕК «Енергоатом» ви-роблено **6541,9 млн кВт·г**, що на 976,6 млн кВт·г менше порівняно з відповідним періодом 2018 року. Коефіцієнт використання встановленої потужності у жовтні 2019 р. становив **63,3 %**, що на 9,5% менше показника минулого року.

Частка АЕС у виробництві електроенергії в Україні у січні-жовтні 2019 р. становила 53,0%. До Енергоринку за 10 місяців 2019 р. відпущено 67085,9 млн кВт електроенергії, що на 1297,7млн кВт менше у порівнянні з відповідним періодом минулого року.

У жовтні 2019 року відбулося 1 порушення у роботі АЕС – на ЗАЕС № 1. З початку 2019 року зафіксовано 11 порушень у роботі енергоблоків АЕС (на РАЕС-3 (5), на ЗАЕС №1 (2), №6, №3, №5, ХАЕС №1). **Зазначені порушення не обліковуються за шкалою ІНЕС рівня 1.**

Паливна програма. У 2019 році заплановано здійснити: 15 поставок свіжого ядерного палива на енергоблоки українських АЕС, у тому числі 9 поста-вок – від АТ «ТВЕЛ» і 6 поставок – від компанії «Вестінгауз»; забезпечити 5 рей-сів з вивезення відпрацьованого ядерного палива. У жовтні 2019 р. відбулася 1 поставка свіжого ядерного палива від компанії «Вестінгауз» і 1 поставка від АТ «ТВЕЛ» і 1 вивезення відпрацьованого ядерного палива.

З початку 2019 р. відбулось 9 поставок свіжого ядерного палива – 4 від «Вестінгауз» і 5 від АТ «ТВЕЛ» та 3 вивезення відпрацьованого ядерного палива.

Ремонтна кампанія.

Графіком ремонтів енергоблоків АЕС України у 2019 році заплановано виконати:

- закінчити 3 середні ремонти – ЗАЕС №3, 6; ХАЕС №1 та 1 кап. – РАЕС №1;
- виконати 6 середніх ремонтів – РАЕС №3, 4; ЗАЕС №4, 5; ЮУАЕС – №1, 3 та 4 капітальні ремонти – РАЕС №2; ЗАЕС №1, 2; ЮУАЕС №2;
- розпочати 3 середні ремонти – ЗАЕС №6; ХАЕС №2, 6; РАЕС №1; та 1 капітальний ремонт – ЗАЕС №3.

З початку 2019 року, станом на 07.11.2019 виконано:

- 11 планово-попереджувальних ремонти – СПР: на ЗАЕС № 3, 6, 4, 5, на ЮУАЕС № 2, на РАЕС № 3; КНР: на РАЕС №1, №2,4 на ЗАЕС №2;
- 5 позапланові поточні ремонти – РАЕС №3 (3) та ЗАЕС №1, 3.

Станом на 07.11.2019 виконуються:

- 2 середні ремонти – ХАЕС №1 (з 25.11.18 до 20.12.19), ЮУАЕС №1 (з 29.08.19 до 19.10.19), АЕС №2 (з 27.09.19 до 17.11.19);
- 2 капітальні ремонти – ЗАЕС №1 (з 29.9.19 до 23.12.19), ЮУАЕС №3 (з 16.05.19 до 17.11.19, подана заявка на продовження до 30.11.2019).

Підприємства атомно-промислового комплексу, які перебувають у складі ДК «Ядерне паливо»

ДП «СхідГЗК». У жовтні 2019 р. вироблено **57,1 тонн уранового оксидного концентрату на суму 120,8 млн грн.** У порівнянні з відповідним періодом 2018 р. продукції вироблено на 7,2 тонн більше. З початку 2019 р. вироблено 741,9 тонн УОК на суму 1748,0 млн грн, що на 127,0 тонн менше порівняно з показниками 2018 р. Заборгованість із заробітної плати станом на 08.10.2019 на підприємстві відсутня.

ДП «Смоли». У жовтні 2019 р. ДП «Смоли» вироблено 2,3 тонн основної продукції (іонообмінні смоли) на суму 0,9 млн грн. З початку 2019 року вироблено 43,9 тонн

іонообмінних смол на суму 11,5 млн грн, що на 27,7 тонн менше показника 2018 року. Станом на 07.11.2019 заборгованість із виплати заробітної плати становить 2,1 млн грн.

Ремонтна кампанія ТЕС, ТЕЦ і ГЕС, ГАЕС у 2019 році

Для забезпечення проходження осінньо-зимового максимуму 2019-2020 рр. станом на 12.11.2019 відповідно до затвердженого графіка передбачено:

На **теплових електростанціях енергогенеруючих компаній (ТЕС)** відремонтовано всіма видами ремонтів 43 (10239 МВт) енергоблоків, а саме:

- поточним ремонтом 32 (7539 МВт) енергоблоки;
- середнім ремонтом 6 (1515 МВт) енергоблоків;
- капітальним ремонтом 5 (1185 МВт) енергоблоків.

На **теплових електроцентралях (ТЕЦ)** відремонтовано 8 (1570 МВт) енергоблоків, 15 (3217 т/год) парових котлів та 7 (326,8 МВт) турбоагрегатів.

На **гідроелектростанціях** виконано капітальний ремонт і реконструкцію 16 (722,88 МВт) гідроагрегатів.

На **атомних електростанціях (АЕС)** виконано:

- 12 планово-попереджувальних ремонтів – СПР: на ЗАЕС №3, 6, 4, 5, на ЮУАЕС № 1, № 2; КНР: на РАЕС №1, №2; ЗАЕС № 2
- 5 позапланових поточних ремонтів – РАЕС №3 (3) та ЗАЕС №1, 3.

Станом на 08.11.2019 виконуються:

- 4 середні ремонти – ХАЕС №1 (з 25.11.18 до 08.08.19), ЮУАЕС №1 (з 29.08.19 до 19.10.19), РАЕС №4 (з 09.08.19 до 31.10.19);
- 2 капітальні ремонти – ЗАЕС №1 (з 29.9.19 до 23.12.19), ЮУАЕС №3 (з 16.5.19 до 17.11.19).

Питомі витрати умовного палива на відпуск електроенергії по тепловим електростанціям, які звітують Міненерговугілля

Питомі витрати умовного палива на відпуск електроенергії по тепловим електростанціям генкомпаній України за 2 місяця 2019 р. складають **401,7 г/кВт·г**, що на **2,2 г/кВт·г** більше ніж за відповідний період 2018 р. (403,2 г/кВт·г).

Питомі витрати умовного палива на відпуск електроенергії по ТЕС України (ТЕС ГК та ТЕЦ) складають за два місяця 2019 р. **373,4 г/кВт·г**, що менше в порівнянні з відповідним періодом минулого року на **6,8 г/кВт·г**.

Середньомісячна заробітна плата. На січень-жовтень 2019 року розмір заробітної плати штатного працівника на підприємствах, що належать до сфери управління Мінекоенерго, у розрізі галузей становить (01.11.2019):

- електроенергетика – 14055 грн (*збільшення до відповідного показника 2018 р. становить 2951 грн*);
- атомно-промисловий комплекс – 23070 грн (*більше на 6107 грн*);
- нафтогазовий комплекс – 10549 грн (*більше на 982 грн до показників держпідприємств нафтогазового комплексу, що належать до сфери управління Міненерговугілля*);
- вугільна галузь – 11440 грн (*більше на 1682 грн для державних вугледобувних до обліку взято трудові показники вугледобувних підприємств, що розташовані на території, яка контролюється владою України*).

Заборгованість з виплати заробітної плати станом на 01.11.2019 року на підприємствах, що належать до сфери управління Міненерговугілля України і що розташовані на території, яка контролюється українською владою, становила **629,0 млн грн** і збільшилась з початку року на **457,9 млн грн (або на 267,0%)**:

- електроенергетична галузь – зменшилась на 10319,0 тис. грн;
- атомно-промисловий комплекс – збільшилась на 3627,1 тис. грн;

- вугільна галузь – збільшилась на 462938 тис. грн;
- нафтогазовий комплекс – збільшилась на 1667,5 тис. грн.

Інформація з підприємств, що розташовані на території, яка не контролюється українською владою, відсутня.

Технологічні витрати електроенергії в електричних мережах

За 10 місяців 2019 року загальні технологічні витрати електроенергії на її транспортування електричними мережами Міненерговугілля всіх класів напруг склали на рівні **12,9 млрд кВтг** або **11,1 %** від загального відпуску електроенергії в мережу. У порівнянні із аналогічним періодом 2018 року відбулося їх зменшення на **0,2 млрд кВтг, або зменшення на 0,1 в.п.** (13,1 млрд кВтг або 11,2% у минулому році).

Нормативна (технічна) складова технологічних витрат електроенергії по Міненерговугілля за 10 місяців 2019 року склала **14,8 млрд кВтг** або **12,7 %** від загального відпуску електроенергії в мережу, у порівнянні з минулим роком зменшилась на **0,3 млрд кВтг** або на **2,0 %** у порівнянні з минулим роком (15,1 млрд.кВтг або 13,0 % у минулому році).

Понаднормативна (нетехнічна) складова технологічних витрат електроенергії за 10 місяців 2019 року по Міненерговугілля склала **-1,8 млрд кВтг** або **-1,6%** від загального відпуску електроенергії в мережу .

За рахунок виконання організаційно-технічних заходів зі зниження технологічних витрат електроенергії в електричних мережах 0,38-800 кВ Міненерговугілля за 10 місяців 2019 року заощаджено **146,6 млн кВтг** електричної енергії (**150,3 млн кВтг** за відповідний період минулого року).

Експорт електроенергії, вугілля, нафтопродуктів

За 10 місяців 2019 року **експорт електроенергії становить 5126,7 млн кВт·г**, що на 77,1млн кВт·г менше ніж за 10 місяців 2018 року, у тому числі в країни СНД (в Молдову) 552,7 млн кВт·г, в країни Східної Європи – 4574,0 млн кВт·г, експорт «Бурштинського острова» - 1027 млн кВт·г.

За січень-жовтень 2019 року територією України протранспортовано (транзитом) **73,3млрд куб.м природного газу** (за цей період 2018 року – 72,1 млрд куб.м).

Станом на 01.11.2019 року в українських підземних сховищах знаходилось **21,8 млрд куб. м** природного газу, що на 4,7 млрд куб. м або на 27,4% більше порівняно з показником на цей час 2018 року.

Протягом січня-жовтня 2019 року обсяг транспортування нафти підприємствами магістральних нафтопроводів склав **12605,0 тис.тонн** і порівняно із аналогічним періодом 2018 р. зменшився на 245,0 тис. т (або на 1,9 %), а транзитом до країн Європи (Словаччини, Угорщини, Румунії, Польщі, Молдови) склав **10637,0 тис. т**, що на 474,0 тис. т (або на 4,3%) менше порівняно із аналогічним показником 2018 р., а для потреб України – більше на 229,0 тис. т (або на 13,2%) і склало **1968,0 тонн**.

За січень-жовтень 2019 року частка транзитного обсягу перекачки нафти в загальному обсязі нафтоперекачування становила 84,4%, а частка нафтоперекачування на нафтопереробні підприємства України відповідно – 15,6%.

*Підготовлено за даними
Міненерговугілля України
і Робочою групою ГО «НТСЕУ»*

Розцінки на рекламу у журналі

Рекламний блок	Размір блоку, характеристики	Розцінки, грн
Обкладинка, перша сторінка (колір)	1 смуга	5000
Обкладинка, друга, третя, четверта сторінка (колір)	1 смуга	5000
Обкладинка, друга, третя, четверта сторінка (колір)	1/2 смуги	2500
Рекламні блоки (чорно-білі) у текстовій частині журналу	1 смуга	1500
Рекламні блоки (чорно-білі) у текстовій частині журналу	1/2 смуги	750
Рекламні блоки (чорно-білі) у текстовій частині журналу	1/4 смуги	350
Рекламні блоки (чорно-білі) у текстовій частині журналу	1/8 смуги	200

Редакція не несе відповідальності за достовірність інформації, що публікується у рекламних об'явах

Рекламу надсилати поштою або надавати електронну версію, адреса електронної пошти:

E-mail: sm261245@gmail.com

Сайт: <http://eee.khpi.edu.ua>

22 РОКИ НА ЕНЕРГЕТИЧНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ
1997-2019 р.р.

Журнал видається за підтримки:

**Державного агентства енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності);
Національної комісії, що здійснює регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП);
Харківської обласної державної адміністрації;
Української асоціації інженерів-електриків;
Науково-технічного Союзу енергетиків і електротехніків України;
Академії наук Вищої освіти України (секція енергетики та ресурсозбереження);
Всеукраїнської громадянської організації
«Асоціація вчених за інноваційний розвиток України».**

Журнал є електронним та розповсюджується публічно.

Передрук матеріалів з журналу здійснюється за погодженням з редакцією журналу.

Головний редактор

С. А. Мехович,

доктор економічних наук, професор,
Академік АН вищої освіти України,
Віце-президент Всеукраїнської
Громадської організації «Асоціація
вчених за інноваційний розвиток
України»

Заступник головного редактора

О. П. Лазуренко,

канд. техн. наук, професор

Відповідальний секретар

Н. В. Крюкова,

канд. техн. наук, доцент

Періодичність - 1 раз на місяць

Тираж 300 екземплярів.

Адреса редколегії та видавця:

вул. Кирпичова, 2

м. Харків, 61002.

Тел. +3 8050 4026212

E-mail: sm261245@gmail.com

Сайт: <http://eee.khpi.edu.ua>

Надруковано в друкарні

ФОП Шейніна О.В.

Свідоцтво про внесення суб'єкта
видавничої справи до Державного
реєстру видавців, виготівників і
розповсюджувачів видавничої
продукції ДК № 2779 від 28.02.2007
вул. Слов'янська, 3, м. Харків,
Україна, 61052.

Рекомендовано до друку

Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 10 від 29.11.2019 р.

Підписано до друку 30.11.2019 р.

Формат 60 × 84¹/₈. Друк цифровий.

Ум. друк. арк. 3,52 Навч.-вид. арк. 3,82

Вид. № -04. Зак. № 1717

© ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ·

ЕНЕРГЕТИКА · ЕНЕРГОАУДИТ

*Загальнодержавний науково-
виробничий і інформаційний журнал*

Мова видання:

Українська, англійська, російська