



№1 (151)

Січень
2020 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
	Заступник головного редактора:
Єршова Н. Ю.	д-р екон. 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, доц., 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
	Associate editor:
Iershova N. U.	Dr. Sc. (Econ.), Prof., Kharkiv, Ukraine
	Editorial board members:
Bezprozvanykh 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., Mishkolts, 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», 2020
ISSN 2313-8890 (Online), ISSN 2218-1849 (Print)

ЗМІСТ

<i>Євдокимов В. А.</i> Новий ринок електричної енергії	3
---	---

ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

<i>Васюченко П. В.</i> Методи обмеження перенапруг в електричних мережах промислових підприємств для забезпечення надійної роботи електрообладнання.....	12
---	----

<i>Салихов Т. П., Кан В. В., Юсупов Д. Т.</i> Адсорбційне очищення трансформаторного масла силікагелем в поєднанні керамічних мембран.....	18
---	----

<i>Гулей А. Б.</i> Оцінка температур продуктів згоряння газового вугілля в топці котла тпп-312а при зміні складу вугілля від збагаченого до низькосортного	25
---	----

<i>Михайленко В. В., Святненко В. А., Чуняк Ю. М., Ходасевич В. О., Майкович І. В., Наухацька Т. А.</i> Аналіз електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з двадцятидвохзонним регулюванням вихідної напруги	38
--	----

<i>Загранічний А. В., Рогаль В. В.</i> Методи формування зонуючої напруги в пристроях ядерного магнітного резонансу.....	45
---	----

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

<i>Федюшко А. Ю.</i> Теоретичні дослідження параметрів генератора з системою фазового підстроювання частоти.....	49
---	----

<i>Михайленко В. В.</i> Метод багатопараметричних функцій для аналізу перехідних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами ...	63
---	----

ЕКОНОМІКА, ОРГАНІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ

<i>Черенков І. А.</i> Прогнозування на основі новостного потоку посередництвом асоціативних правил	70
---	----

<i>Мехович С. А.</i> Економіка підприємства та її фінансова складова	76
---	----

НКРЕ – ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ

Про основні показники роботи паливно-енергетичного комплексу.....	85
---	----

Подання матеріалів статей до журналу.....	97
---	----

TABLE OF CONTENTS

<i>Yevdokymov V.</i> New market of electric energy	3
---	---

POWER ENGINEERING, ENERGY EFFICIENCY

<i>Vasyuchenko P.</i> Methods for reducing voltage in electric networks of industrial enterprises to ensure reliable work of electrical equipment.....	12
---	----

<i>Salikhov T., Kan V., Yusupov D.</i> Adsorption purification of transformer oil silica gel in combination with ceramic membranes.....	18
--	----

<i>Gulei A.</i> Evaluation of temperature of products of combustion of gas coal in the boiler furnace tpp-312a changes in the composition of coal from the enriched to low-grade.....	25
--	----

<i>Mikhailenko V., Svyatnenko V., Cunjak J., Khodasevich V., Maikovich I., Nowacka T.</i> Analysis of electromagnetic processes in semiconductor converter with twenty-second zona regulation of the output voltage	38
--	----

<i>Zagranychnyi A., Rogal V.</i> Methods for forming zoning voltage in instruments nuclear magnetic resonance.....	45
---	----

ENERGY SAVING

<i>Fedyushko A.</i> Theoretical research of the parameters of the generator with the system phase frequency adjustment	49
---	----

<i>Mikhailenko V.</i> Method many-parametric functions for analysis of the connecting processes in electric circuit with semiconductor commutators	63
---	----

ECONOMY, ORGANIZATION AND MANAGEMENT

<i>Cherenkov I.</i> Forecasting based on the newsletter through associative rules	70
--	----

<i>Mekhovich S.</i> Economy of an enterprise and its financial component.....	76
--	----

NERC - PROBLEMS AND SOLUTIONS

The main performance indicators of the fuel and energy complex.....	85
---	----

Submission of journal articles.....	97
-------------------------------------	----



Євдокимов Володимир Анатолійович,
директор ДП «Оператор ринку», кандидат наук з державного управління.

НОВИЙ РИНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Аналіз роботи «оператора ринку» з впровадження нової моделі

2019 рік став історичним для української енергетики. Україна впровадила одну з найскладніших реформ і з 1 липня має новий ринок електричної енергії. На імплементацію законодавства нам було відведено значно менше часу, ніж європейським державам. Тим не менше український енергоринок запрацював за новими правилами, а Україна довела світові здатність реалізувати надскладні завдання у доволі стислі терміни. Своєчасний старт нового ринку електроенергії дав Україні, зокрема і можливість отримати макрофінансову допомогу від ЄС у розмірі 500 млн. євро.

Держава з минулого року перестала бути єдиним продавцем та покупцем електроенергії. Виробники електроенергії, електропостачальники, трейдери та великі промислові споживачі працюють на ринкових умовах, де ціна формується не ручним управлінням, а шляхом конкуренції за покупця. Торгівля електроенергією, відповідно до прийнятих правил Європейського союзу, відбувається на таких сегментах нового ринку, як ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед», внутрішньодобовий ринок та балансуючий ринок.

Реформа ринку електричної енергії була потрібна Україні. Невідповідність старої моделі українського енергоринку вимогам часу, зростаючий обсяг перехресного субсидювання, погіршення стану розрахунків за акцептовану електроенергію – далеко не повний перелік проблем, які не можливо було вирішити косметичними змінами. Необхідний був капітальний ремонт, який би глобально змінив філософію роботи українського енергоринку.

«Оператор ринку» стартував 30 червня 2019 року, провівши перші торги на ринку «на добу наперед». І вже 1 липня провідні українські та закордонні ЗМІ написали: «Україна запустила реформу ринку електричної енергії: українці НЕ залишилися без світла».

Про роботу «Оператора ринку», цінову ситуацію та результати роботи ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку поговоримо більш детально.

«Оператор ринку» - перше в Україні державне підприємство, яке працює за принципами біржі.

Державне підприємство «Оператор ринку» утворене 18 червня 2019 року у відповідності до Закону України «Про ринок електричної енергії». Підприємство забезпечує функціонування ринку «на добу наперед» (РДН) та внутрішньодобового ринку (ВДР), відповідає за організацію купівлі-продажу електричної енергії на цих сегментах ринку.

На ринку «на добу наперед» купівля-продаж електроенергії здійснюється на наступну добу за днем проведення торгів. Ціна на цьому сегменті ринку визначається за принципом граничного ціноутворення із забезпеченням мінімізації ціни та максимізації обсягів торгівлі. Жоден учасник не бачить заявлені ціни та обсяги купівлі/продажу електричної енергії іншими учасниками. Така технологія торгів на РДН сприяє розвитку конкуренції.

На ВДР купівля-продаж електроенергії здійснюється безперервно після завершення торгів на ринку РДН та впродовж доби фізичного постачання електроенергії. Цей сегмент ринку дає змогу учасникам ринку скорегувати свої торгівельні позиції та працює за принципом «на кожен товар є свій покупець». Тобто продавці та покупці заявляють обсяги та ціни, за якими бажають продати/купити електроенергію, і чекають свого контрагента.

На підприємстві працює близько 100 людей, у кілька змін, адже торгівля електроенергією відбувається цілодобово. Це молодий колектив енергетиків, які вміють працювати на результат для держави та оперативно вирішувати надскладні завдання.

На майданчику «Оператора ринку» вільно торгує електроенергією майже 400 компаній. Це доволі велика кількість учасників, більше ніж в деяких європейських державах. І це говорить про довіру до «Оператора ринку», як надійного партнера, який стовідсотково розрахується та зареєструє податкові накладні, що не менш важливо для компаній.

Така діяльність і впроваджена на підприємстві Антикорупційна програма позиціонує «Оператора ринку» як підприємство європейського зразка, а також відповідає цілям Кабінету Міністрів України зробити державні підприємства прозорими та інноваційними.

5 переваг «Оператора ринку»:

1. Працюємо за принципом біржі. Це сприяє розвитку конкуренції на ринку та зниженню ціни на електричну енергію.
2. Надаємо можливість учасникам ринку електроенергії мінімізувати небаланси, і таким чином, зменшити свої витрати.
3. Ми перше і поки єдине державне підприємство в Україні, яке впровадило і здійснює платежі через ЕСКРОУ-рахунки. І перше, в кого система розрахунків працює у вихідні.
4. Забезпечуємо щоденні 100% розрахунки між тими, хто продав, та тими, хто купив електроенергію. Це унеможливує появу боргів на ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку.
5. Працюємо прозоро з дотриманням принципів вільного ціноутворення. Торги електроенергією проводяться 24/7 в автоматичному режимі, без будь-якого ручного управління процесом.

РДН та ВДР у цифрах

Ринок «на добу наперед» та внутрішньодобовий ринок – головні сегменти нового енергоринку України, який запрацював в Україні з липня 2019 року. На РДН та ВДР акцептується до 40% від всього обсягу електроенергії, що споживається населенням та промисловістю. На середньозважену ціну на ринку «на добу наперед» компанії

орієнтуються, коли заключають вільні двосторонні договори купівлі-продажу електричної енергії.

Основні показники РДН та ВДР за 2019 рік

➤ **Ринок «на добу наперед»**

➤ **Внутрішньодобовий ринок**

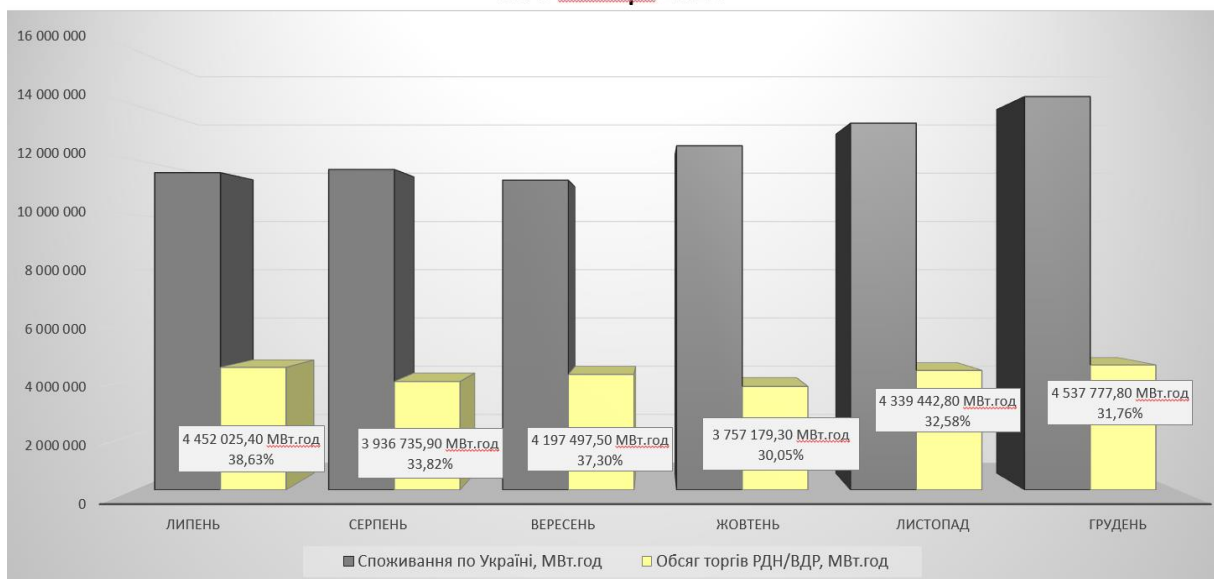
Показник	07-2019	08-2019	09-2019	10-2019	11-2019	12-2019	Показник	07-2019	08-2019	09-2019	10-2019	11-2019	12-2019
Середньозважена ціна на РДН, грн/МВт.год	1 643,48	1 679,09	1 623,41	1 562,20	1 367,55	1 239,05	Середньозважена ціна на ВДР, грн/МВт.год	1 819,64	1 802,71	1 766,90	1 700,73	1 260,10	1 259,54
Середньозважена ціна на РДН (ОЕС), грн/МВт.год	1 639,71	1 669,44	1 604,67	1 533,16	1 320,35	1 207,80	Середньозважена ціна на ВДР (ОЕС), грн/МВт.год	1 835,27	1 754,57	1 772,94	1 692,10	1 242,67	1 256,75
Середньозважена ціна на РДН (БуОс), грн/МВт.год	1 698,34	1 856,24	1 911,38	1 875,85	1 787,53	1 606,35	Середньозважена ціна на ВДР (БуОс), грн/МВт.год	1 733,01	1 940,57	1 746,58	1 729,25	1 450,99	1 279,28
Обсяг купівлі-продажу на РДН, МВт.год	4 347 655,70	3 815 428,30	4 088 778,20	3 659 916,50	4 137 077,00	4 434 350,40	Обсяг купівлі-продажу на ВДР, МВт.год	104 369,70	121 307,60	108 719,30	97 262,80	202 365,80	103 427,40
Обсяг купівлі-продажу на РДН (ОЕС), МВт.год	4 068 398,50	3 618 449,80	3 838 965,80	3 349 827,00	3 719 083,80	4 086 649,60	Обсяг купівлі-продажу на ВДР (ОЕС), МВт.год	88 411,90	89 912,00	83 799,10	74 674,70	185 429,50	90 601,00
Обсяг купівлі-продажу на РДН (БуОс), МВт.год	279 257,20	196 978,50	249 812,40	310 089,50	417 993,20	347 700,80	Обсяг купівлі-продажу на ВДР (БуОс), МВт.год	15 957,80	31 395,60	24 920,20	22 588,10	16 936,30	12 826,40
Середньодобовий обсяг торгів на РДН, МВт.год	140 246,96	123 078,33	136 292,61	118 061,82	137 902,57	143 043,56	Середньодобовий обсяг торгів на ВДР, МВт.год	3 366,76	3 913,15	3 623,98	3 137,51	6 745,53	3 336,37
Вартість купівлі-продажу електричної енергії на РДН, тис. грн (з ПДВ)	8 574 326,85	7 687 726,18	7 965 313,26	6 861 004,98	6 789 197,20	6 593 255,02	Вартість купівлі-продажу електричної енергії на ВДР, тис. грн (з ПДВ)	227 898,18	262 418,23	230 515,18	198 501,11	306 002,19	156 325,58
Вартість купівлі-продажу електричної енергії на РДН (ОЕС), тис. грн (з ПДВ)	8 005 196,91	7 248 958,91	7 392 329,29	6 162 987,30	5 892 587,15	5 923 019,97	Вартість купівлі-продажу електричної енергії на ВДР (ОЕС), тис. грн (з ПДВ)	194 712,05	189 307,75	178 285,15	151 628,63	276 512,84	136 635,26
Вартість купівлі-продажу електричної енергії на РДН (БуОс), тис. грн (з ПДВ)	569 129,93	438 767,27	572 983,97	698 017,68	896 610,05	670 235,06	Вартість купівлі-продажу електричної енергії на ВДР (БуОс), тис. грн (з ПДВ)	33 186,12	73 110,48	52 230,03	46 872,47	29 489,35	19 690,32

На РДН продають та купують електричну енергію на наступну за днем проведення торгів добу за принципом біржі. Купівля-продаж електроенергії на внутрішньодобовому ринку здійснюється безперервно після завершення торгів на ринку «на добу наперед» та впродовж доби фізичного постачання електроенергії. Цей сегмент ринку впроваджено для тих учасників, які з тих чи інших причин не встигли продати чи закупити електроенергію на РДН чи ринку двосторонніх договорів.

Обсяги та вартість купівлі-продажу електроенергії на рдн і вдр

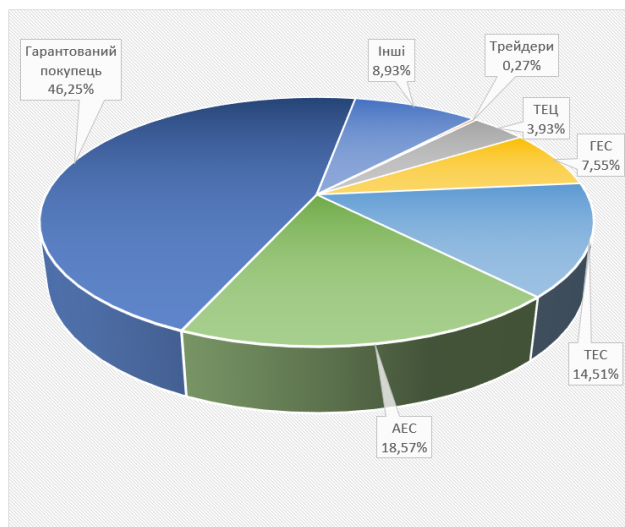
За 6 місяців 2019 року на ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку продано-куплено 25 220 658,70 МВт.год електричної енергії вартістю 45 852 483,96 тис. грн (з ПДВ). На РДН і ВДР щомісяця акцептується до 40% від всього обсягу електроенергії, що споживається Україною.

Обсяги купівлі-продажу електроенергії на РДН та ВДР відносно споживання за 6 місяців 2019



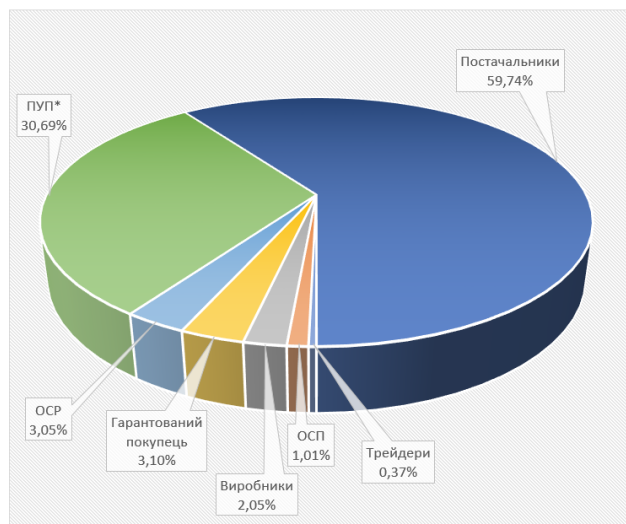
На ринку «на добу наперед»

Структура обсягів продажу на РДН за 6 місяців 2019, МВт·год



Структура продажу	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Гарантований покупець	48,42 %	51,77 %	52,90 %	37,19%	50,62%	36,62%
АЕС	15,82 %	15,13 %	19,62 %	27,71%	12,22%	21,62%
ТЕС	18,76 %	12,98 %	11,59 %	9,26%	16,23%	17,06%
ГЕС	8,16 %	8,43 %	5,85 %	7,88%	8,53%	6,58%
ТЕЦ	3,90 %	3,26 %	2,42 %	3,91%	3,92%	5,96%
Трейдери	-	-	-	-	0,08%	1,42%
Інші	4,94 %	8,43 %	7,63 %	14,04%	8,40%	10,75%
Всього	100 %	100 %	100 %	100%	100%	100%

Структура обсягів купівлі на РДН, МВт·год



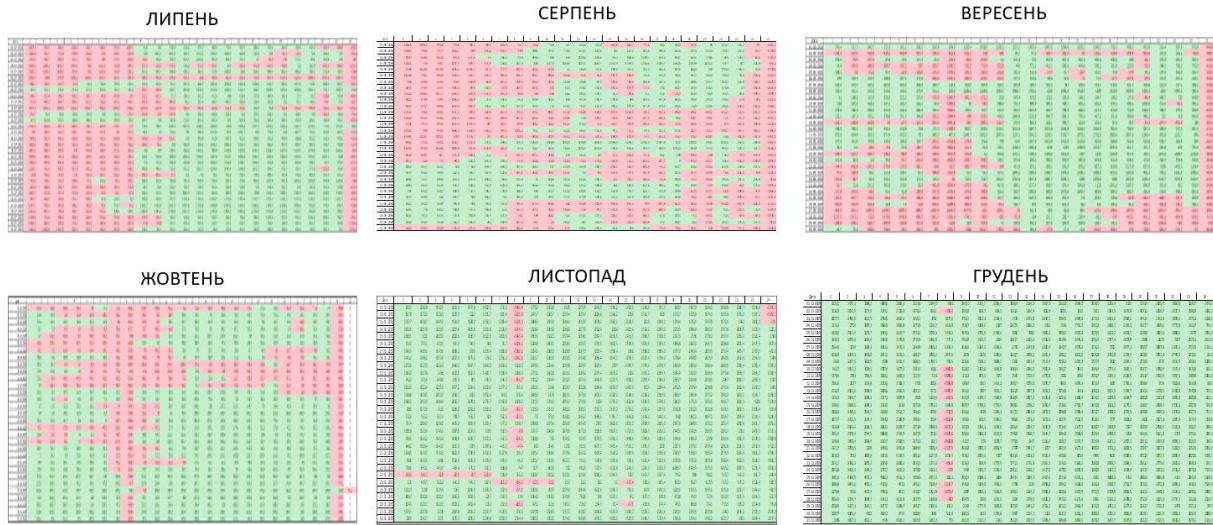
Структура купівлі	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Гарантований покупець	2,86%	2,33%	2,76%	3,66%	3,90%	3,09%
ОСП	1,36%	0,87%	1,16%	1,51%	0,75%	0,47%
ОСР	5,22%	3,89%	1,70%	2,38%	2,46%	2,53%
Постачальники	52,47%	51,72%	66,59%	65,20%	57,76%	64,79%
ПУП*	36,09%	38,78%	25,83%	23,71%	30,87%	28,54%
Виробники	2,02%	2,41%	1,95%	3,55%	2,44%	0,25%
Трейдери	-	-	-	-	1,82%	0,33%
Всього	100 %	100 %	100 %	100%	100%	100%

Співвідношення попиту і пропозицій на рдн

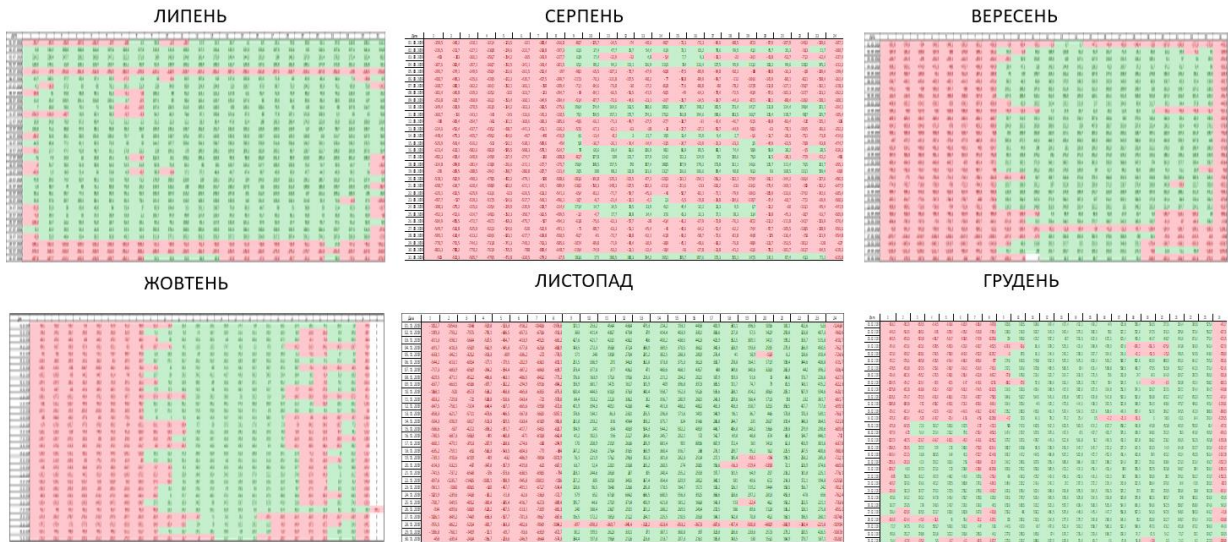
Цікава динаміка спостерігається на ринку «на добу наперед». Якщо в перші чотири місяці роботи нового ринку електричної енергії в ОЕС України спостерігався дефіцит пропозицій на продаж електроенергії, то в листопаді та грудні переважав профіцит. Натомість у Бурштинському енергоострові майже всі 6 місяців минулого року переважав дефіцит заявок саме на продаж електроенергії. У обох торгових зонах дефіцитною є восьма година ранку.

- Червоний – дефіцит пропозицій Зелений – профіцит

Заявки. Попит та пропозиція на РДН в ОЕС України за 6 місяців 2019

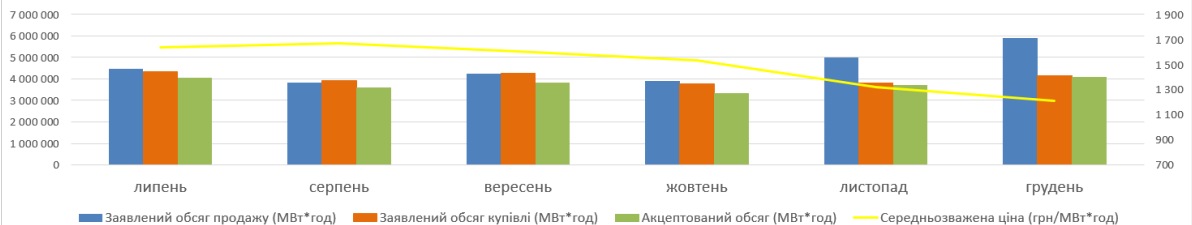


Заявки. Попит та пропозиція на РДН в БуОс за 6 місяців 2019

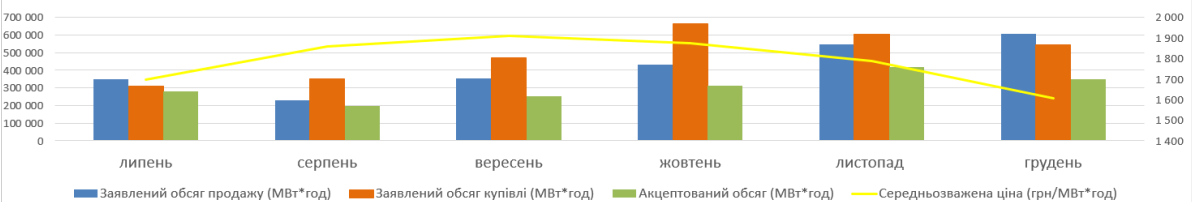


Узагальнені заявки на продаж та купівлю електричної енергії на РДН

Обсяги купівлі-продажу та середньозважена ціна електроенергії на РДН по ОЕС України

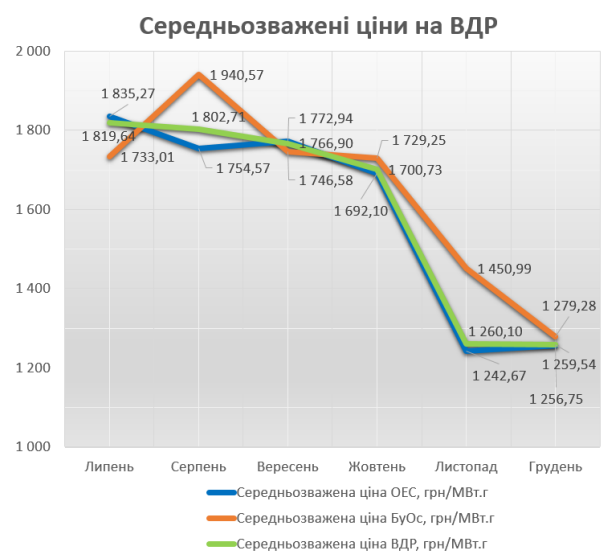
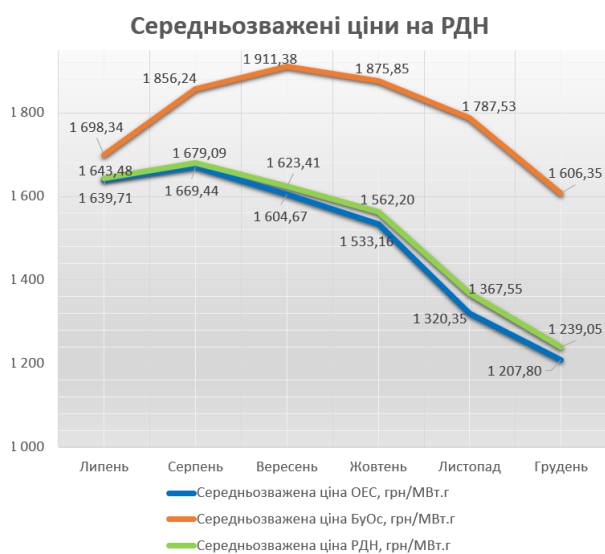
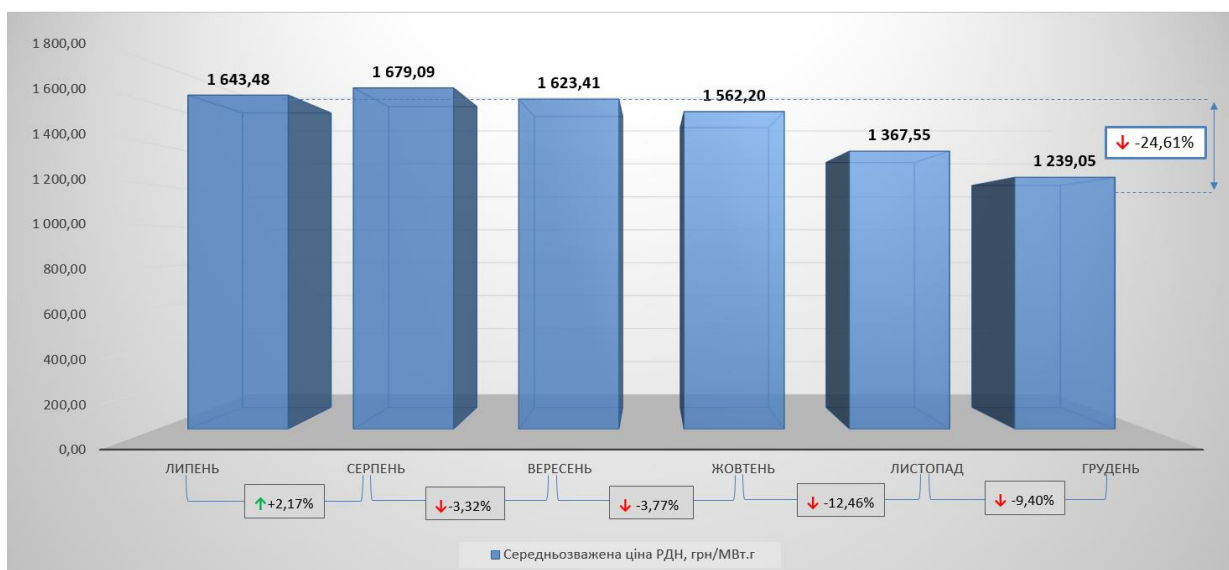
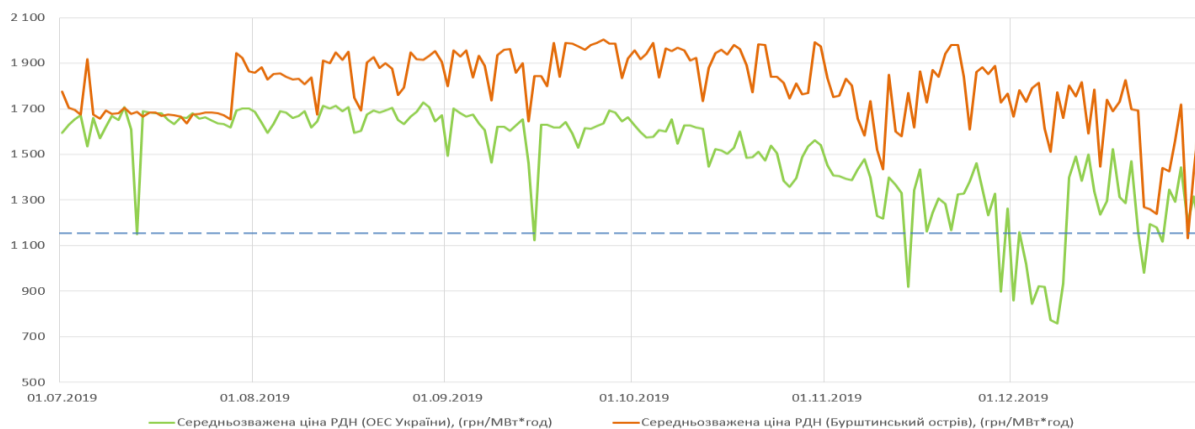


Обсяги купівлі-продажу та середньозважена ціна електроенергії на РДН по Бурштинському острову



Ціни

Середньозважені ціни на РДН за 6 місяців 2019 року



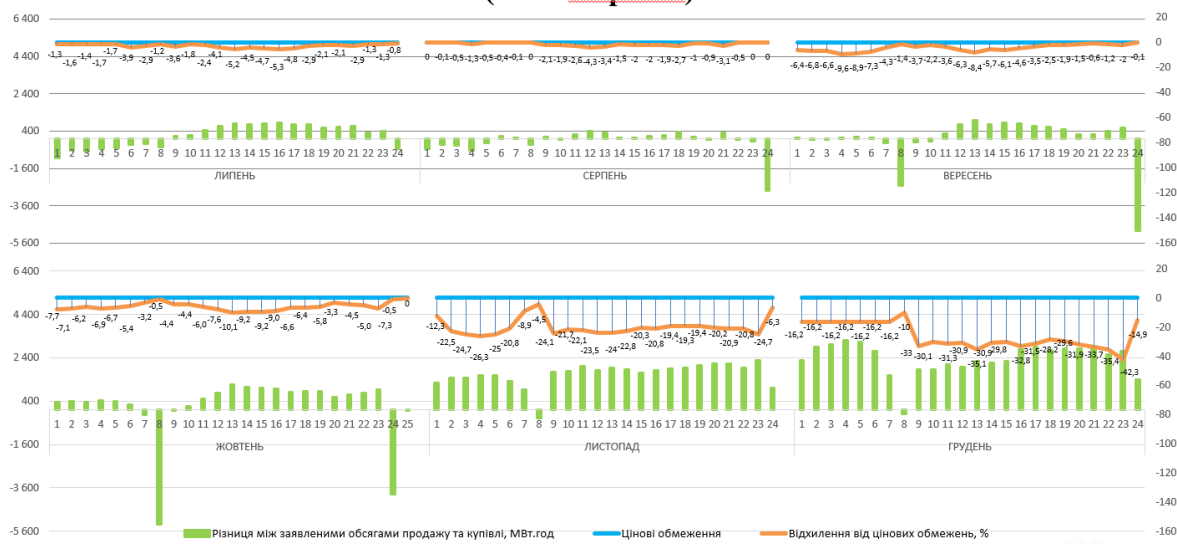
На РДН і ВДР ціни регулює ринок. Середньозважена ціна формується на основі попиту та пропозиції на продаж електричної енергії. Якщо у перший місяць роботи нового енергоринку України середньозважена ціна становила 1643,48 грн/МВт.год (без ПДВ), то у грудні виробники та покупці акцептували електроенергію вже за ціною 1239,05 грн/МВт.год (без ПДВ). За півроку ціни під впливом ринкових факторів та відносно теплої зими знизилися на майже 25%.

Відхилення середніх погодинних цін від Price Cap

Цінові обмеження, так звані прайс-кепи, діють у майже всіх країнах світу. У когось кілька перехідних років, у когось на постійній основі, а у інших лише у перші місяці впровадження нового ринку. Вони необхідні для того, щоб виробники не завищували ціни на продаж електроенергії на ринках «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку.

Затверджені НКРЕКП 24 червня 2019 року Правила ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку передбачили 9-місячний перехідний період з моменту роботи нового ринку електричної енергії, встановивши певні цінові обмеження. Протягом цього періоду енерговиробники у своїх заявках з продажу електроенергії повинні вказувати ціну, не вище максимального значення середніх показників вартості е/е за останні три місяці до введення нових сегментів.

Відхилення середніх погодинних цін від цінових обмежень за 6 місяців 2019 РДН (ОЕС України)

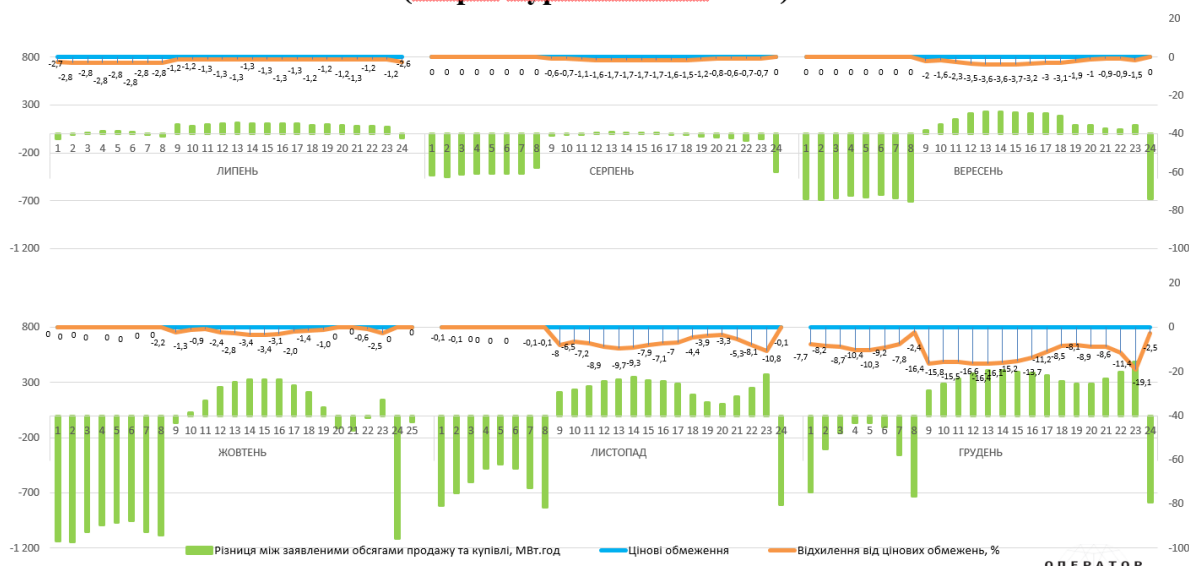


Перші чотири місяці роботи нового енергоринку цінові заявки на продаж електроенергії, як в ОЕС України, так і Бурштинському енергоострові, здебільшого були наближені до цінових обмежень регулятора. В останні два місяці минулого року тенденція змінилася і запропоновані на продаж електричної енергії на РДН ціни були значно нижчими за прайс-кепи.

На шляху до створення Clearing-House

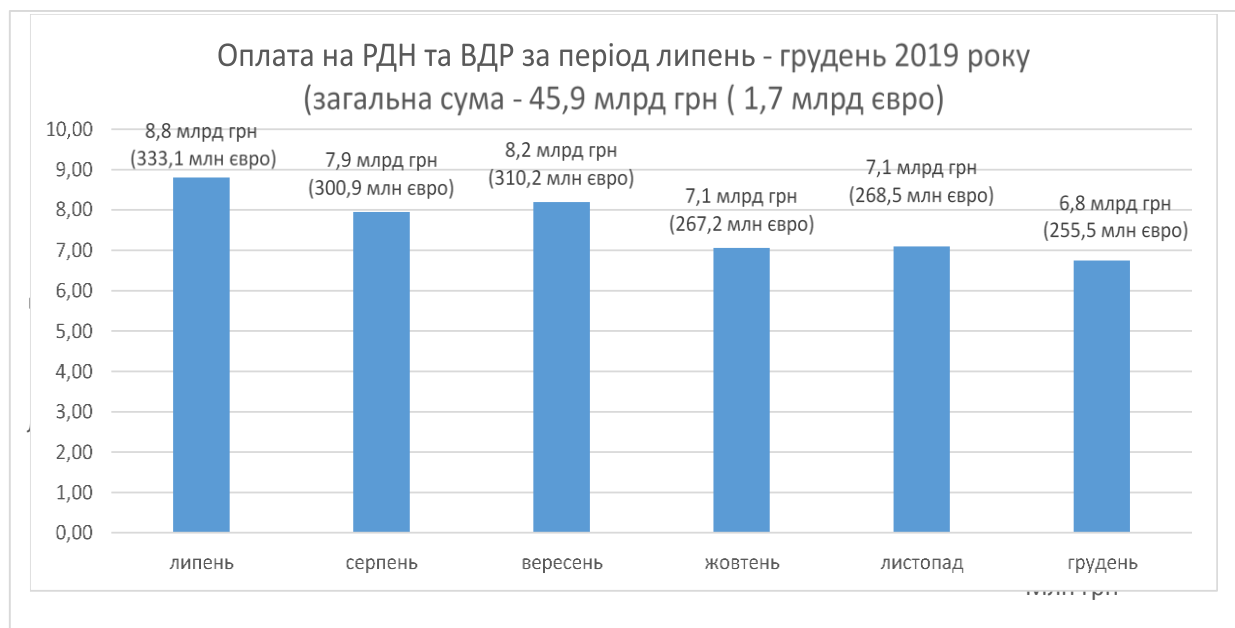
У співпраці з уповноваженим державним банком ринку електричної енергії АТ «Ощадбанк», у межах функціонування ринку електричної енергії, «Оператор ринку» впровадив ескроу рахунки – фінансовий механізм розрахунків, який використовують у європейських країнах та США.

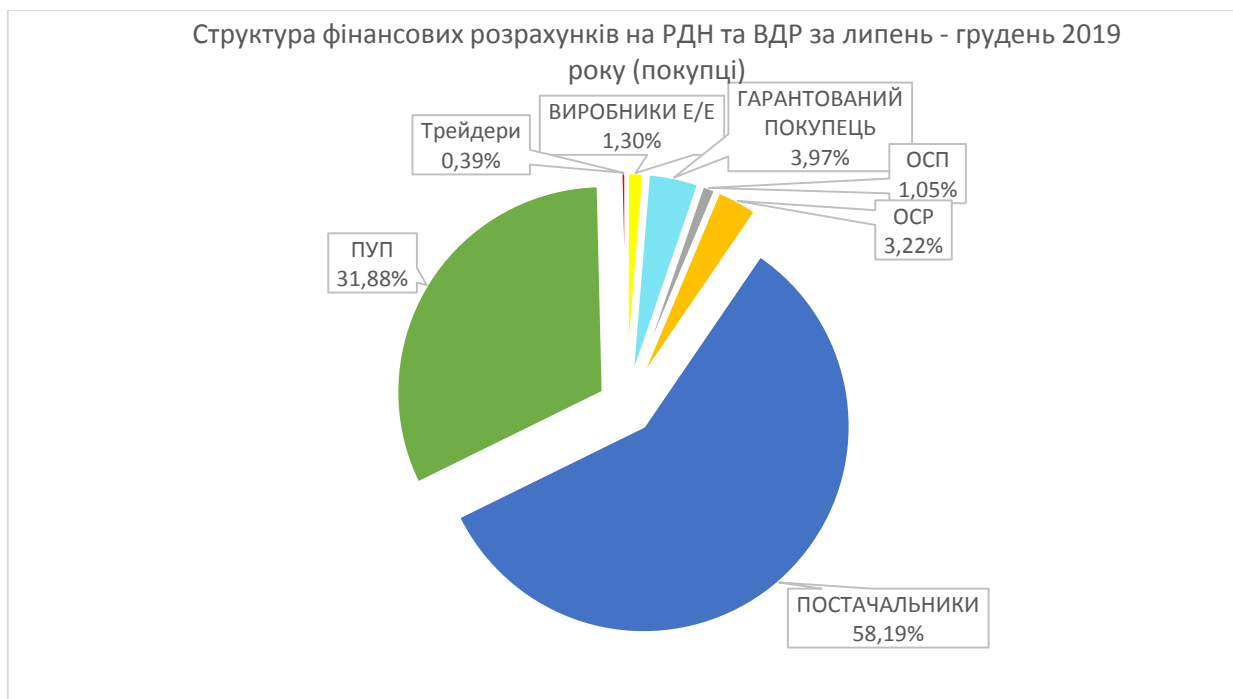
Відхилення середніх погодинних цін від цінових обмежень за 6 місяців 2019 РДН (острів Бурштинської ТЕС)



Ескроу рахунок чи умовний рахунок зберігання - це поточний рахунок, де кошти зберігаються до виконання всіх зобов'язань за договором обома сторонами. При цьому, особливістю ескроу рахунку є те, що ані власник рахунку, ані інша сторона договору не можуть безпосередньо розпоряджатися коштами, які знаходяться на такому рахунку, до моменту настання умов, визначених договором. Ескроу рахунки унеможливили появу боргів на сегментах нового енергоринку РДН та ВДР, мінімізували ризики для «Оператора ринку» та забезпечили виконання учасниками ринку фінансових зобов'язань. Жодних боргів ні в кого ні перед ким за акцептовану на РДН і ВДР електроенергію немає. З липня до грудня 2019 року «Оператор ринку» забезпечив 100% розрахунки за електричну енергію на ринку «на добу наперед» і внутрішньодобовому ринку.

Ще однією конкурентною перевагою «Оператора ринку» є щоденні розрахунки з учасниками ринку за продану-куплену на РДН і ВДР електроенергію, в тому числі у вихідні та святкові дні.





Таким чином, початок роботи нового ринку електричної енергії України характеризується стабільністю роботи як ринку на добу наперед, так і внутрішньодобового ринку. Про це свідчать грошові потоки щодо оплати за електроенергію, яка за період липня-грудня 2019 року склала 45.9 млрд.грн, або 1.7 млрд євро.

Васюченко Павел Викторович, канд. педаг. наук, доцент кафедри автоматизації енергетических процесів Українська інженерно-педагогічна академія, г. Харків, Україна. ул. Университетская 16, г. Харків, Україна, 61003

МЕТОДЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В статье рассматриваются метод ограничения перенапряжений в электрических сетях промышленных предприятий для обеспечения надежной работы электрооборудования. Проанализированы особенности перенапряжений в высоковольтных сетях и предложены мероприятия по их ограничению. В условиях постоянно усложняющихся технологических процессов, увеличения степени ответственности за перерыв в электроснабжении, возрастает важность обеспечения надежной работы изоляционной конструкции, от чего во многом зависит вся надежность функционирования электроэнергетической системы. В процессе работы электроэнергетической системы на изоляцию электрооборудования постоянно действуют различные уровни напряжения. В высоковольтных цепях главным источником внешних перенапряжений являются разряды молнии. Импульсы перенапряжений распространяются на значительные расстояния от места их возникновения. Набегающие волны могут представлять опасность для электрооборудования подстанций, электрическая прочность которого ниже, чем у линейной изоляции. Выбор уровня (промежутка между электродами) изоляции электрооборудования электростанций и подстанций должен быть экономически оправдан. Предложен комплекс работ по координации и контролю изоляции для снижения ущерба от прерывания электроснабжения.

Ключевые слова: электрические сети, электрооборудование, надежность электроснабжения, перенапряжения в электрических сетях, защита электрооборудования от перенапряжения.

Васюченко Павло Вікторович, канд. педаг. наук, доцент кафедри автоматизації енергетических процесів Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. вул. Университетська 16, м. Харків, Україна, 61003

МЕТОДИ ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

У статті розглядається метод обмеження перенапруг в електричних мережах промислових підприємств для забезпечення надійної роботи електрообладнання. Проаналізовано особливості перенапруг в високовольтних мережах та запропоновано заходи щодо їх обмеження. В умовах постійно ускладнюються технологічних процесів, збільшення ступеня відповідальності за перерву в електропостачанні, зростає важливість забезпечення надійної роботи ізоляційної конструкції, від чого багато в чому залежить вся надійність функціонування електроенергетичної системи. В процесі роботи електроенергетичної системи на ізоляцію електрообладнання постійно діють різні рівні напруги. У високовольтних ланцюгах головним джерелом зовнішніх перенапруг є розряди блискавки. Імпульси перенапруг поширюються на значні відстані від місця їх виникнення. Хвилі, що можуть становити небезпеку для електроустаткування підстанцій, електрична міцність якого нижче, ніж у лінійної ізоляції. Вибір рівня (проміжку між електродами) ізоляції електрообладнання електростанцій і підстанцій повинен бути економічно виправданий. Запропоновано комплекс робіт по координації і та контролю ізоляції для зниження шкоди від переривання електропостачання.

Ключові слова: електричні мережі, електрообладнання, надійність електропостачання, перенапруги в електричних мережах, захист електрообладнання від перенапруги.

Vasyuchenko Pavel Viktorovich, candidate of pedagogical Sciences, associate Professor of Department of automation of energy processes Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkiv, Ukraine. Str. Universitetskaya 16, Kharkiv, Ukraine, 61003

METHODS FOR REDUCING VOLTAGE IN ELECTRIC NETWORKS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES TO ENSURE RELIABLE WORK OF ELECTRICAL EQUIPMENT

The article discusses the method of limiting overvoltages in the electrical networks of industrial enterprises to ensure reliable operation of electrical equipment. The features of overvoltages in high-voltage networks are analyzed and measures to limit them are proposed. In the conditions of constantly complicated technological processes, an increase in the degree of responsibility for a break in the power supply, the importance of ensuring the reliable operation of the insulating structure, on which the whole reliability of the functioning of the electric power system depends, increases. In the process of a robot of an electric power system for an electric power supply, a constant

power supply is required. In viscous-voltage lancing rods, the head jerel of the external overload is ϵ discharge bliskavki. Impulse overvoltage is broadened to the meaning of the state of the world. Hvili, you can make it easy for you to do electrical installation, electric wisdom is lower, lower in linear. Vibration of electricity (promotion by electrodes) Power supply and power supply are guilty but economically correct. The robotic complex for coordination and control of the installation for lowering the price of the shredded electronic copying has been spread.

Keywords: electrical networks, electrical equipment, power supply reliability, surge in electrical networks, electrical protection against overvoltage.

Введение

Любая электрическая установка состоит из двух основных элементов – токоведущая часть и изоляция. В условиях постоянно усложняющихся технологических процессов, увеличения степени ответственности за перерыв в электроснабжении, возрастает и важность обеспечения надежной работы изоляционной конструкции. От надежной работы изоляционной конструкции, во многом, зависит вся надежность функционирования электроэнергетической системы.

Основная часть

В процессе работы электроэнергетической системы на изоляцию электрооборудования постоянно действуют различные уровни напряжения.

Кроме всего прочего на изоляцию за время эксплуатации воздействуют: электрическое поле рабочего напряжения, повышенного испытательного и перенапряжения; тепловой и механические факторы; электролитические и другие воздействия (ионизация, корона и т. п.).

Весь комплекс факторов особенно сказывается на изоляции в при рабочий период, когда отмечается наибольшее число пробоев изоляции. В рабочий период пробой изоляции – редкое явление, электрическая прочность ее должна проверяться повышенным испытательным напряжением.

Важным аспектом обеспечения бесперебойной работы является ограничение перенапряжений в электрических сетях.

Перенапряжением называют всякое превышение напряжением амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Длительность перенапряжения может составлять от единиц микросекунд до нескольких часов. Воздействие перенапряжения на изоляцию может привести к ее пробую. К основным характеристикам перенапряжения (которые, как правило, являются случайными величинами) относят следующие:

- максимальное значение;
- кратность перенапряжения, равная отношению максимального значения перенапряжения к амплитуде наибольшего допустимого рабочего напряжения;
- время нарастания перенапряжения;
- длительность перенапряжения;
- число импульсов в перенапряжении;
- широта охвата сети;
- повторяемость перенапряжения.

Наибольшее рабочее напряжение (линейное) определяется соотношением $U_{\text{раб. наиб.}} = k_p \cdot U_{\text{ном}}$.

Для отклонения напряжения ГОСТ 13109-97 определяет нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии соответственно ± 5 и $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети.

По месту приложения напряжения различают:

- фазные перенапряжения;
- междуфазные перенапряжения;

- внутрифазные перенапряжения, например, между витками катушки трансформатора, между нейтралью и землей);
- между контактами коммутационных аппаратов.
- по причинам возникновения перенапряжения подразделяются на следующие:
- внешние – от разрядов молнии (атмосферные перенапряжения) и от воздействия внешних источников;
- внутренние – возникающие при резонансных явлениях, при авариях и при коммутациях элементов электрической цепи.

В высоковольтных цепях главным источником внешних перенапряжений являются разряды молнии. Наиболее опасны прямые удары молнии в оборудование (ПУМ), при которых даже на заземленных сооружениях возникают большие потенциалы. Индуктированные перенапряжения возникают вследствие индуктивной и емкостной связи канала молнии с токоведущими и заземленными частями электрической сети. Величина индуктированных перенапряжений меньше, чем при прямых ударах молнии, и они опасны только для сетей до 35 кВ при ударе молнии вблизи линии [1].

Импульсы перенапряжений распространяются на значительные расстояния от места возникновения. Набегающие волны могут представлять опасность для электрооборудования подстанций, электрическая прочность которого ниже, чем у линейной изоляции.

Внутренние перенапряжения по длительности и по причине возникновения делятся на квазистационарные и коммутационные.

Квазистационарные перенапряжения продолжаются от единиц секунд до десятков минут и в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические. Режимные перенапряжения возникают при несимметричных коротких замыканиях на землю, а также при разгоне генератора в случае резкого сброса нагрузки. Резонансные перенапряжения имеют место при возникновении резонансных эффектов в линиях (при одностороннем питании линии), в электрических цепях при наличии реакторов. Феррорезонансные перенапряжения возникают в цепях с катушками с насыщенным магнитопроводом, что может быть, как на частоте 50 Гц, так и на высших гармониках, и на субгармониках. Особенностью феррорезонанса является скачкообразный вход в режим резонанса (триггерный эффект).

Коммутационные перенапряжения возникают при переходных процессах и быстрых изменениях режима работы сети (при работе коммутационных аппаратов, при коротких замыканиях и при прочих резких изменениях режима) за счет энергии, запасенной в емкостных и индуктивных элементах. Наиболее часто такие перенапряжения имеют место при коммутациях линий, индуктивных элементов, конденсаторных батарей.

За весь период эксплуатации возможны следующие пробои изоляции (рис. 1.) [2]:

- импульсный, когда нарушение (разрушение) изоляции происходит в очень короткий период времени (микросекунды) при значительной амплитуде воздействующего напряжения (грозового или коммутационного характера) и без выделения тепла;
- электрический, когда амплитуда напряжения остается еще гораздо выше рабочей и время ее воздействия сравнимо с поляризационными явлениями в изоляции. а также отсутствует выделение тепла при пробое; тепловой пробой характерен явным выделением тепла или разогревом изоляции при амплитудах напряжения не выше испытательного;
- комбинированный – это пробой при длительном воздействии рабочего напряжения или частичных разрядов с явным электролитическим процессом и изменением структуры материала.

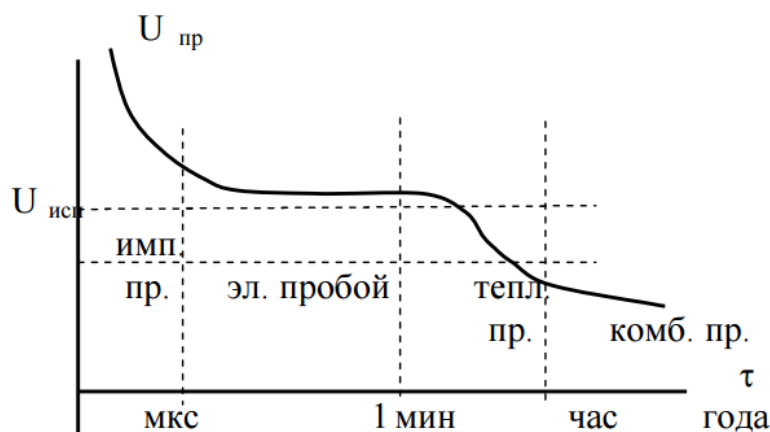


Рис. 1. Вольт-временная зависимость пробоя технического диэлектрика

В настоящее время для оценки электрической прочности сложной композиции существует, по теории Ю.Н. Вершинина, метод количественного энергетического анализа импульсной электрической прочности, или феноменологическая теория [2]. Метод основан на представлении физических процессов в разрядном промежутке, когда механизм электронно-дырочной проводимости приводит к возникновению области локального (сильного) поля с высокой напряженностью на расстоянии в несколько сот микрон от острия. Последнее искривляет энергетические зоны, создавая условия для туннельного перехода по направлению к острию основных носителей зарядов: электронов – к положительному острию и дырок – к отрицательному. Взаимодействие в процессе ударной ионизации электронов и дырок проводимости с электронами, участвующими в образовании химических связей, приводит к нарушению соответствующих связей и переходу по направлению к острию основных носителей зарядов: электронов – к положительному острию и дырок к отрицательному. Образование газовой плазмы рассматривается как термодинамический баланс энергии в диэлектрике. Причем критическая составляющая энергоносителей зарядов затрачивается на изменение внутренней энергии в единице объема диэлектрика A_e , в котором возникает начальный участок канала неполного пробоя. Это энергетический критерий пробоя диэлектрика. Импульсная электрическая прочность твердых диэлектриков:

$$U_{пр} = K_p K_r K(t,d) A_e^{1,1} \quad (1)$$

где

- K_p – коэффициент, учитывающий форму поля и полярность импульса; для положительного импульса в системе острие – плоскость $K_p = 1$, для отрицательного электрода стержня $K_p = 1,52$; для – шар-плоскость $K_p = 1,82$; $K_r = 0,75 + 0,5$;
- P – коэффициент вероятности пробоя;
- $K(t,d) = 3,55 d - 0,365 t - 0,11$ – коэффициент, зависящий от толщины диэлектрика (см) и времени воздействия напряжения (мкс);
- A_e – энергетическая удельная характеристика диэлектрика, ккал/см, индивидуальная для каждого вида, и находится с учетом физических свойств и особенностей молекулярного строения диэлектрика по зависимости:

$$A_e = (1,08 \gamma / M) (N_a + n W_{и min}), \quad (2)$$

где

- 1,08 – коэффициент перехода в плотную газовую плазму;
- γ – плотность диэлектрика, г/см³;
- M – молекулярный вес;

- N_a – суммарная энергия связей атомов в молекуле, ккал/моль;
- n – число атомов, обладающих минимальной энергией ионизации $W_{i \min}$.

Расчетная электрическая прочность по зависимости (1) хорошо согласуется с экспериментальными данными для исследуемого материала.

Все мероприятия по защите от перенапряжений делятся на две группы:

- превентивные меры снижения перенапряжений;
- защита оборудования с помощью коммутационных защитных средств.

Превентивные меры – это предотвращение возникновения перенапряжений или ограничение их величины в месте их возникновения.

К таким мерам относятся следующие меры:

- применение выключателей с шунтирующими резисторами;
- применение выключателей без повторных зажиганий дуги между контактами при их разведении;
- применение грозозащитных тросов и молниеотводов;
- заземление опор линий электропередачи;
- емкостная защита изоляции обмоток трансформаторов и реакторов;
- применение емкостных элементов для снижения перенапряжений.

Коммутационные средства защиты от перенапряжений срабатывают и соединяют защищаемую цепь с заземлением в случае, когда перенапряжение в точке их установки превышает некоторую критическую величину. К этим средствам относят разрядники, шунтирующие реакторы с искровым соединением и нелинейные ограничители перенапряжений.

Значительную роль в обеспечении надежной и безаварийной работы электрических сетей играют процессы координации и контроля изоляции.

В процессе эксплуатации на изоляцию воздействуют рабочее напряжение, внутреннее и внешнее перенапряжения. Выбор уровня (промежутка между электродами) изоляции электрооборудования электростанций и подстанций должен быть экономически оправдан.

Под координацией изоляции с точки зрения технико-экономических показателей понимают установление и поддержание соответствия между уровнем ее электрической прочности и уровнем амплитуды воздействующего напряжения после защитного разрядника [2, с. 111]. Установление и поддержание уровня изоляции электрооборудования основывается на многолетнем опыте его изготовления, эксплуатации и испытания на заводах и в энергосистемах. Уровень перенапряжения регистрируется в течение всего срока службы изоляции современными средствами защиты (разрядниками). Методическая и экспериментальная трудность получения результатов по вольт-секундным характеристикам (ВСХ) разрядников требуют при испытании большого числа дорогостоящих образцов изоляции электрооборудования, поэтому опубликованных данных по ВСХ разрядников мало. Чаще всего координация изоляции осуществляется с помощью следующего неравенства:

$$U_i > U_0, \quad (3)$$

где U_i – импульсная прочность изоляции, нижний предел которой определяется испытательным напряжением:

$$U_i = U_{\text{исп}} K_i, \quad (4)$$

где U_0 – остающееся напряжение сработавшего разрядника;

- K_i – коэффициент импульса изоляции.

В СНГ ГОСТ 1516.1-78 и 1516.2-78 устанавливает испытательные напряжения для оборудования каждого класса напряжения.

В США уровни изоляции не связываются с номинальным напряжением, а выбираются по многоступенчатой шкале в зависимости от защитных характеристик разрядников в данной точке сети, что позволяет гибко и экономично осуществлять выбор оборудования, с расширенной номенклатурой разрядников.

Качество технической изоляции определяется не только культурой производства, но и налаженной службой контроля или проверки соответствия качества изоляции ГОСТу или заводским нормам. Контроль за качеством изоляции на производстве при изготовлении и выпуске электрооборудования и профилактика изоляции в эксплуатации направлены на выявление ее дефектов с последующей заменой или восстановлением поврежденного изоляционного участка. Местные и общие дефекты в изоляционной конструкции. Местные дефекты сосредоточены на небольшом участке изоляции и проявляются в виде газовых (воздушных полостей) и металлических включений, примесей, а также в виде механических и технологических нарушений (микротрещин, заусениц, морщин, смещений слоев ленты, вмятин и т. п.). Общие дефекты наиболее распространены, среди них чаще обнаруживается проникающая влага в изоляцию, реже выявляются дефекты развитого газового включения (дырка) и проводящей примеси (металлическое включение). Разрушение изоляции в начале эксплуатации протекает медленно, а в конце - носит скачкообразный характер. Методы контроля за изоляцией - это разрушающие методы при испытании повышенным напряжением и метод обнаружения дефектов под воздействием напряжения ниже номинального уровня или рабочих напряжений без разрушения изоляции. Опыт применения профилактических испытаний высоковольтной изоляции сводится к повышению надежности изделий в работе или к снижению вероятностей отказов электрооборудования [2, 3].

Выводы

В процессе эксплуатации электрических сетей необходимо обеспечение комплекса работ по координации и контролю изоляции для снижения ущерба от перерыва электроснабжения. Понимание сложности и важности проблемы позволит специалистам проектировщикам, монтажникам, эксплуатационному персоналу обеспечить высокое качество работ по соответствующим методикам с учетом нормативно-технической документации и соответственно повышению.

Список использованной литературы:

1. Закарюкин В. П. Техника высоких напряжений: Конспект лекций. – Иркутск: ИрГУПС, 2005. – 137 с.
2. Лифанов В. Н. Электроизоляция и перенапряжения: / Учеб. пособие. – Вл-к.: ДВГТУ, 2003. С. 12.
3. Кадомская К. П., Лавров Ю. А., Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

References:

1. Zakaryukin V. P. Tekhnika vysokikh napryazheniy. – Irkutsk: Irkutsk State University of Communications, 2005. – 137 p.
2. Lifanov V. N. Elektroizolyatsiya i perenapryazheniya: / Proc. allowance. –VL–K.: FESTU, 2003. P. 12.
3. Kadoma, K. P., Lavrov Yu. a., Reichardt A. Perenapryazheniya v elektricheskikh setyakh razlichnogo naznacheniya i zashchita ot nikh: Textbook. – Novosibirsk: Publishing house NSTU, 2004.

Принята до друку 10.12 2019

Салихов Темур Паттахович, д-р техн. наук, проф.; Тел: +998(93) 2 34 81 80; E-mail: salikhov.t@yandex.ru
Кан Валерій Вікторович, стар. науч. сотр., канд. техн. наук; Тел: +998(93) 2 34 81 80;
 E-mail: valery-kan1957@yandex.ru

Институт материаловедения Академии Наук Республики Узбекистан

Юсупов Дилмурод Турдалиевич, млад. науч. сотр.; Тел: +998(93) 3 91 69 86; E-mail: dilmurod85@list.ru
Институт энергетики и автоматики Академии Наук Республики Узбекистан

АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА СИЛИКАГЕЛЕМ В СОЧЕТАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН

В статье приведены результаты регенерации отработанного масла силового трансформатора с длительной эксплуатацией. Рассмотрены способы адсорбционной очистки трансформаторного масла. Для оценки загрязненности трансформаторного масла механическими примесями была применена стандартная методика ГОСТ 6370-83, которая предусматривает фильтрацию масла через бумажный фильтр и весовое определение общего количества фильтрата. Определено, что указанный метод не даёт возможности оценить общий диапазон размеров частиц и их распределение по нескольким выбранным диапазонам размеров. Обосновано, что эта методика также не даёт возможности классифицировать чистоту масла по принятым классам чистоты ГОСТ 17216-2001. Между тем, электрическая прочность масла существенным образом зависит не только от количества, но и от размеров частиц. В связи с тем, что данные о фактически наблюдаемых размерах частиц механических примесей в масле трансформаторов при введении в работу и при эксплуатации в литературе практически отсутствуют, в работе проведены исследования трансформаторного масла на объектах АК «Узбекэнерго» (СРП ОАО «Энерготамир»). Приведены результаты экспериментальной очистки трансформаторного масла от различных видов примесей с применением разработанных керамических мембран. Очищенное масло показало высокие диэлектрические свойства, и вполне соответствовало требованиям нормативных документов. Обосновано, что наиболее перспективным методом является адсорбционная очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, без остановки для периодической замены, регенерации или фильтрования адсорбента. Предложена схема создания мобильной установки на базе керамических мембран, которая позволит регенерировать масла на месте эксплуатации силового трансформатора.

Ключевые слова: *силовой трансформатор, трансформаторное масло, регенерация, адсорбционная очистка, силикагель, керамическая мембрана, примеси.*

Саліхов Темур Паттахович, д-р техн. наук, проф.; Тел: +998(93) 3 91 69 86; E-mail: salikhov.t@yandex.ru
Кан Валерій Вікторович, стар. навч. співр., канд. техн. наук; Тел: +998(93) 2 34 81 80;
 E-mail: valery-kan1957@yandex.ru

Институт матеріалознавства Академії Наук Республіки Узбекистан

Юсупов Дилмурод Турдалиевич, молодший. навч. співр.; Тел: +998(93) 3 91 69 86; E-mail: dilmurod85@list.ru
Институт енергетики і автоматики Академії Наук Республіки Узбекистан

АДСОРБЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА СИЛІКАГЕЛЕМ В ПОСДНАННІ КЕРАМІЧНИХ МЕМБРАН

У статті наведено результати регенерації відпрацьованого масла силового трансформатора з тривалою експлуатацією. Розглянуто способи адсорбційного очищення трансформаторного масла. Для оцінки забрудненості трансформаторного масла механічними домішками була застосована стандартна методика ГОСТ 6370-83, яка передбачає фільтрацію масла через паперовий фільтр і вагове визначення загальної кількості фільтрату. Визначено, що вказаний метод не дає можливості оцінити загальний діапазон розмірів частинок і їх розподіл по кільком обраним діапазонам розмірів. Обґрунтовано, що ця методика також не дає можливості класифікувати чистоту олії з прийнятим класами чистоти ГОСТ 17216-2001. Між тим, електрична міцність масла істотним чином залежить не тільки від кількості, але і від розмірів частинок. У зв'язку з тим, що дані про фактично спостережуваних розмірах частинок механічних домішок у маслі трансформаторів при введенні в роботу і при експлуатації в літературі практично відсутні, в роботі проведено дослідження трансформаторного масла на об'єктах АК «Узбекэнерго». Наведено результати експериментальної очищення трансформаторного масла від різних видів домішок із застосуванням розроблених керамічних мембран. Очищене масло показало високі діелектричні властивості і цілком відповідало вимогам нормативних документів. Обґрунтовано, що найбільш перспективним методом є адсорбційна очистка масла в рухомому шарі адсорбенту, при якому

процес протікає безперервно, без зупинки для періодичної заміни, регенерації або фільтрування адсорбенту. Запропоновано схему створення мобільної установки на базі керамічних мембран, яка дозволить регенерувати масла на місці експлуатації силового трансформатора.

Ключові слова: силовий трансформатор, трансформаторне масло, регенерація, адсорбційна очистка, силікагель, керамічна мембрана, домішки.

Salikhov Temur Petakovic, Dr. Techn. PhD, Professor, тел: +998(93) 3 91 69 86; E-mail: salikhov.t@yandex.ru
Kan Valery, old. scientific. et al., Cand. tech. Sciences, тел: +998(93) 2 34 81 80; E-mail: valery-kan1957@yandex.ru
Institute of material science of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Yusupov Dilmurod Turdalieva, young. scientific. et al., Tel: +998(93) 3 91 69 86; E-mail: dilmurod85@list.ru
Institute of energy and automation Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

ADSORPTION PURIFICATION OF TRANSFORMER OIL SILICA GEL IN COMBINATION WITH CERAMIC MEMBRANES

The article presents the results of regeneration of waste oil power transformer with long-term operation. The methods of adsorption purification of transformer oil. To assess the contamination of transformer oil mechanical impurities, was applied the standard method GOST 6370-83, which includes filtration through a paper filter and gravimetric determination of total amount of filtrate. It is determined that the specified method does not allow to assess the overall range of particle sizes and their distribution across several size ranges. It is proved that this technique also makes it impossible to classify the cleanliness of oil according to the accepted purity classes GOST 17216-2001. Meanwhile, the electric strength of the oil significantly depends not only on quantity but also on the particle size. Due to the fact that data on observed sizes of the particles of mechanical impurities in the oil of transformers in the introduction to the work and exploitation in the literature are practically absent, in work researches of transformer oil at the facilities of JSC "Uzbekenergo" (PSA, JSC "Energotamir"). The experimental results purification of transformer oil from different kinds of impurities with application of the developed ceramic membranes. The purified oil showed high dielectric properties, and is consistent with the requirements of normative documents. It is proved that the most promising method is adsorption treatment of the oil in a moving bed of adsorbent, wherein the process operates continuously, without stopping for periodic replacement, regeneration or filtration of the adsorbent. The proposed scheme of creation of mobile units on the basis of ceramic membranes that will allow to regenerate oil at the place of operation of the power transformer.

Keywords: power transformer, transformer oil regeneration, adsorption treatment, silica gel, ceramic membrane, impurities.

Введение

Для оценки загрязненности трансформаторного масла механическими примесями используется стандартная методика ГОСТ 6370-83, которая предусматривает фильтрацию масла через бумажный фильтр и весовое определение общего количества фильтрата. Однако, указанный метод не даёт возможности оценить общий диапазон размеров частиц и тем более их распределение по нескольким выбранным диапазонам размеров. Эта методика также не даёт возможности классифицировать чистоту масла по принятым классам чистоты ГОСТ 17216-2001. Между тем, электрическая прочность масла существенным образом зависит не только от количества, но и от размеров частиц.

Данные о фактически наблюдаемых размерах частиц механических примесей в масле трансформаторов при введении в работу и при эксплуатации в литературе практически отсутствуют, поэтому представляется целесообразным провести исследования трансформаторного масла на объектах АК «Узбекэнерго» (СРП ОАО «Энерготамир»).

В зависимости от их происхождения мелкие частицы в масле трансформатора можно подразделить на три вида:

- примеси, находившиеся в масле при заливке трансформатора;
- примеси, попавшие в масло с частей трансформатора, куда они были занесены при изготовлении и сборке;
- примеси, образовавшиеся в процессе эксплуатации.

Первоначально в масле имеются очень мелкие частицы, которые образуются из примесей в сырой нефти или же при ее обработке. При изготовлении и сборке трансформатора в масло могут попасть волокна целлюлозы, частицы смол и металлов, пыль. При работе трансформатора концентрация таких частиц, как волокна целлюлозы, крупинки металла и смолы, нарастает по мере старения материалов. Они разносятся по всему объему при принудительной циркуляции масла. При местных перегревах и частичных разрядах нарастают также концентрации углеводородных частиц.

Экспериментальные исследования показали [1], что распределение примесей по размерам в трансформаторном масле обнаруживает тенденцию к смещению сторону субмикронных частиц.

Исследованиями также показали [2], что примеси, имеющие размер менее 5 мкм, являются наиболее опасными для функционирования силового трансформатора, так как они представляют примерно 95% от общего числа загрязнителей в масле и в основном являются продуктами окисления масла.

Анализ отказов силовых масляных трансформаторов с длительной эксплуатации показывает, что среди причин повреждений - увлажнение, загрязнение трансформаторного масла, в том числе продуктами старения [3]. Основным фактором, определяющим реальный срок службы силовых трансформаторов, является твердая изоляция, состояние которой существенно зависит от качества залитого эксплуатационного трансформаторного масла и процессов, протекающих в нем [4-5].

Основная часть

В связи с этим, актуальней задачей электроэнергетики является своевременная очистка масла силовых трансформаторов от различных видов примесей.

Целью работы является очистка трансформаторного масла от влаги, кислот, механической грязи, а также нежелательных компонентов, таких как непредельные углеводороды и асфальто-смолистые вещества.

Для регенерации отработанных масел применяют разнообразные технологические операции, основанные на физических, физико-химических и химических процессах [6].

В качестве технологических операций обычно соблюдается следующая последовательность методов:

- механический – для удаления из масла свободной воды и твердых загрязнений (фильтрация, центрифугирование, отстой);
- теплофизический – выпаривание, вакуумная перегонка;
- физико-химический – коагуляция, адсорбция;
- химический – если недостаточно первых предыдущих, он связан с применением более сложного оборудования и большими затратами.

В эксплуатационном трансформаторном масле содержится вода, образующаяся в процессе старения масла и изоляции, а также вода, попадающая в масло из окружающей среды. Вода является наиболее опасной примесью в масле, так как даже небольшие её количества значительно снижают пробивное напряжение трансформаторного масла.

Адсорбционный способ, суть которого заключается в очистке масел с помощью твёрдых пористых тел, называемых адсорбентами, является наиболее эффективным. Примеси задерживаются на поверхности и во внутренних порах адсорбентов.

Адсорбционная очистка может осуществляться одним из трёх способов:

1. Перколяционный;
2. Контактный;
3. Методом противотока.

При перколяционном способе отработанное масло фильтруется через слой зерненого адсорбента (чаще всего, силикагеля), загруженного в вертикальный цилиндрический сосуд.

При контактной очистке восстанавливаемое масло при 70-75оС контактирует (перемешивается) с порошкообразным адсорбентом в течение определённого времени, а затем освобождается от адсорбента на фильтре - прессе. Мелкая фракция адсорбента и температура обеспечивают достаточно высокую скорость массообмена, и очистка масла проходит быстро. К недостаткам контактной очистки следует отнести необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду.

При третьем способе – масло и адсорбент движутся навстречу друг другу. Наиболее перспективным методом является адсорбционная очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, без остановки для периодической замены, регенерации или фильтрования адсорбента, однако, применение этого метода связано с использованием довольно сложного оборудования.

В качестве адсорбентов для осушки и очистки масел можно использовать: силикагель, окись алюминия, алюмосиликатные соединения, отбеливающие глины, синтетические цеолиты [7-8].

Авторами была изготовлена партия многослойных керамических мембранных фильтроэлементов со средней пористостью 3 мкм [8] и произведена очистка экспериментальных проб трансформаторного масла, полученных на объектах СРП «Энерготамбир». Селективный слой керамических мембран формировался послойным нанесением керамической суспензии на основе 20 мкм порошка, и после просушки - суспензии на основе 5 мкм порошка. Предварительная фильтрация масла керамическими мембранами позволила удалить механические примеси с угольными проводящими компонентами. Для оценки влияния угольной составляющей на пробойное напряжение был проведён анализ исходного отфильтрованного масла (табл. 1).

Таблица 1

Электрофизические свойства исходного отфильтрованного масла

№ п/п	Электрофизические свойства масла	Значение
1.	Электрическая прочность	35,5 кВ
2.	Содержание воды	Присутствует
3.	Механические примеси	Не определено
4.	Содержание взвешенного угля	Присутствует
5.	Цвет	Тёмно-коричневый
6.	Содержание органических кислот (в мг КОН на 1 г масла)	0,27 (Норма до 0,02)
7.	Температура вспышки	148оС (Норма до 135оС)
8.	Тангенс угла δ при 30оС	2,01%
8.1	Тангенс угла δ при 70оС	5,83%
8.2	Тангенс угла δ при 90оС	11,21%

Результаты исследования авторами отработанного масла на содержание мелкодисперсных механических примесей показали, что основная масса частиц находится в субмикронной области распределения (рис. 1). Это подтверждает предположение о том, что наиболее вредные частицы в трансформаторном масле – меньше 5 мкм. Результат был получен на лазерном дифракционном анализаторе частиц (фирма «Malvern Ltd»). Образец отработанного трансформаторного масла получен с объекта СРП ОАО «Энерготамбир» (с трансформатора, работающего с 1970 г.).

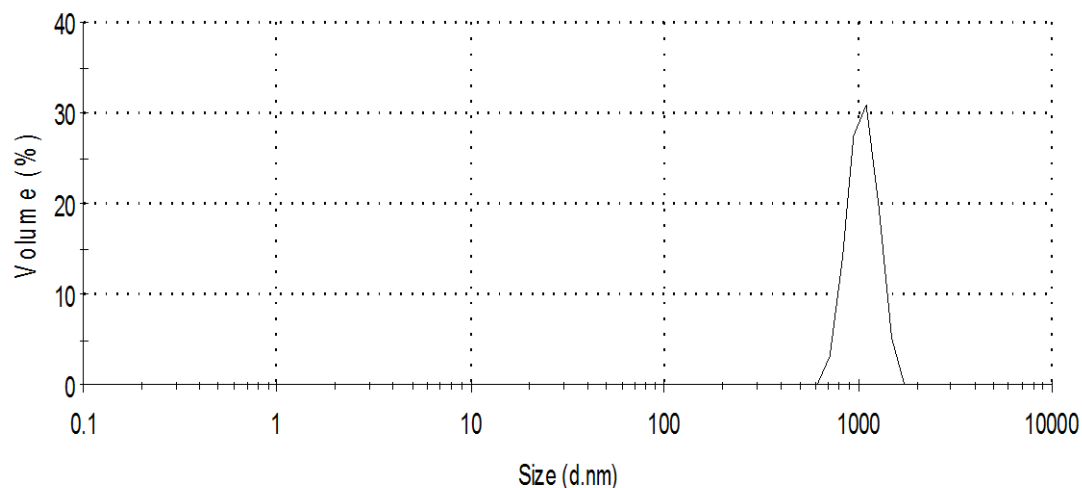


Рис. 1. Распределение механических примесей по размерам в трансформаторном масле

Регенерация отработанного масла осуществлялась по замкнутой схеме, разработанной авторами [9-10]. Очищенные от механических примесей образцы масла при температуре 50-70оС были пропущены через крупнопористый силикагель для удаления продуктов старения трансформаторного масла. Общее время контакта масла с адсорбентом составляло 4 часа. После адсорбента масло фильтровалось через керамические мембраны.

Анализ масла показал его высокие диэлектрические свойства (табл. 2), и масло вполне соответствовал требованиям нормативных документов РН 34-301-633:2011 и ГОСТ 6370-83.

Таблица 2

Электрофизические свойства очищенного масла (силикагель+мембрана)

№ п/п	Электрофизические свойства масла	Значение
1.	Электрическая прочность	60 кВ
2.	Содержание воды	Отсутствует
3.	Механические примеси	Отсутствует
4.	Содержание взвешенного угля	Отсутствует
5.	Цвет	Жёлтый
6.	Содержание органических кислот (в мг КОН на 1 г масла)	0,019 (Норма до 0,02)
7.	Температура вспышки	151,5оС (Норма до 135оС)
8.	Тангенс угла δ при 20оС	0,02%
	Тангенс угла δ при 70оС	0,10%
	Тангенс угла δ при 90оС	0,30% (Норма до 1,7%)

В процессе исследований проводился мониторинг спектрального коэффициента пропускания трансформаторного масла для оценки его визуальной прозрачности в видимом диапазоне спектра. На рис. 2 показаны спектральные зависимости коэффициентов пропускания трансформаторного масла до очистки и после адсорбционной очистки (силикагель + керамическая мембрана).

Из графика видно, что адсорбционная очистка привела к существенному осветлению трансформаторного масла.

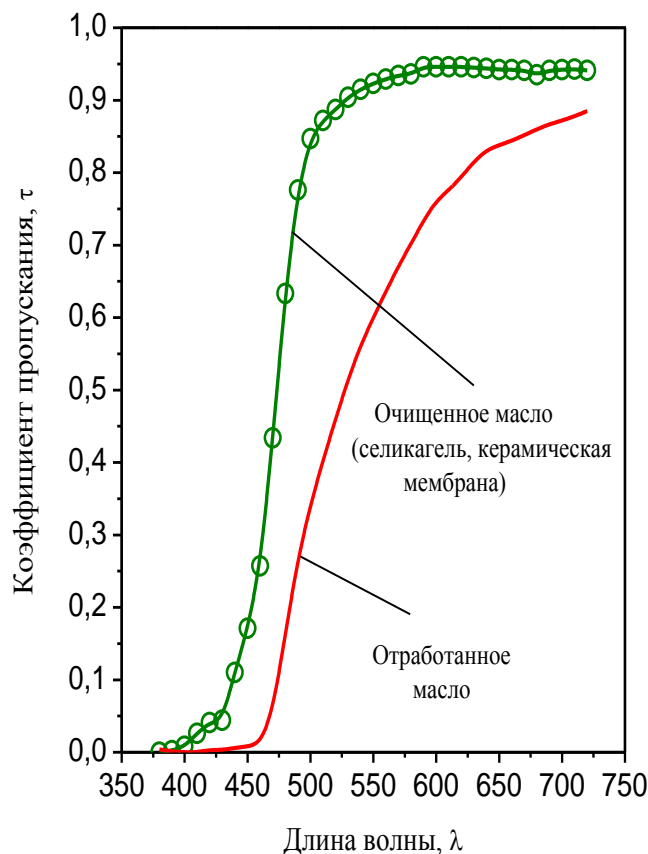


Рис. 2. Спектральные коэффициенты пропускания трансформаторного масла до очистки и после адсорбционной очистки (силикагель + керамическая мембрана)

Выводы

1. Распределение примесей по размерам в трансформаторном масле обнаруживает тенденцию к смещению сторону субмикронных частиц. Примеси, имеющие размер менее 5 мкм, являются наиболее опасными для функционирования силового трансформатора.
2. Своевременная очистка масла от различных видов примесей позволит продлить срок службы силовых трансформатора на несколько лет, что существенно повышает экономическую и энергетическую эффективность энергетических объектов.
3. Отличительной особенностью керамических мембранных фильтров перед бумажными фильтрами заключается в том, что их можно использовать несколько раз, т.е. они регенерируемые.
4. В настоящее время авторами разрабатываются мобильная установка на базе керамических мембран, которая позволяет регенерировать масла на месте эксплуатации силового трансформатора.

Список использованной литературы:

1. Каменчук Я. А., Писарева С. И. Изменение содержания ингибиторов окисления и парамагнитных центров в процессах старения нефтяных трансформаторных масел// Нефтехимия, № 5, 2006. С. 395–398
2. Курочкин А. С., Курочкин С. А., Львов Е. В., Осадчий В. Л. Метод сверхглубокой очистки трансформаторного масла <http://forca.ru/stati/podstancii/metod-sverhglubokoy-ochistki-transformatornogo-masla.html>

3. Соколов В. В. и др. Вопросы оценки и обеспечения надежности силовых трансформаторов // – Екатеринбург: Издательский дом «Автограф», 2010. – С. 22–30.
4. Высогорец С. П., Васильев А. П. Оценка качества эксплуатационных масел силовых трансформаторов напряжением 35–110 кВ // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 1/2013. – С. 84–92.
5. Черкашина В. В. Анализ эффективности методов оценки механической прочности целлюлозной изоляции высоковольтных трансформаторов // Интегрированные технологии и энергосбережение 4'2006. С. 32–36.
6. Горбунов Н. И. и др. Повышение эффективности регенерации отработанного масла//Вісник СевНТУ: зб, наук. пр. Вип. 122/2011. – С. 159–162.
7. Коваль Е. А. и др. Адсорбционная очистка отработанного трансформаторного масла с использованием промышленных монтмориллонит содержащих сорбентов // Известия Томского политехнического университета. № 3.2007. – С. 86–89.
8. Кипелов Б. Г., Мезенцев А. И. Контактная очистка отработанных трансформаторных масел отбеливающими землями зикеевского месторождения // Электро 5/2002. – С. 31–33.
9. Салихов Т. П., Кан В. В., Уразаева Э. М., Саватюгина Т. М., Арушанов Г. М., Кан С. Н., Юсупов Д. Т. Пористая структура керамических мембран для тонкой очистки технологических жидкостей нефтегазовой отрасли. Научно-технический журнал ФерПИ, 2015. № 3. С. 95–98.
10. Салихов Т. П., Кан В. В., Аскарлов Ш. Ш., Юсупов Д. Т. Экономические аспекты регенерации трансформаторного масла// Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. 2014 г. № 3–4. С. 74–78.
11. Салихов Т. П., Кан В. В., Юсупов Д. Т. Метод циркуляционной промывки трансформаторов с использованием адсорбентов и керамических мембран// Научно-технический журнал ФерПИ. 2014. № 4. С. 62–66.

Referenses:

1. Kamenchuk Ja. A., PIsareva S. I. Izmenenie sodержaniya ingibitorov okisleniya s paramagnitnykh zentrov v protsessakh stareniya neftyanykh transformatornykh masel // Petrochemistry, № 5, 2006. С. 395–398
2. Kurochkin A.S., Lvov E. V., Osadchiy V. L. Metod sverchglubokoy ochistki trasformatornogo masla //http://forca.ru/stati/podstancii/metod-sverchglubokoy-ochistki-transformatornogo-masla.html
3. Sokolov V. V. et al. Voprosy otsenki i obespecheniya nadezhnosti silovykh transformatorov // – Ekaterinburg: A publishing house is «Autograph», 2010. – С. 22–30.
4. Vysokogorets S. P., Vasilev A. P. Otsenka kachestva ekspluatatsionnykh masel silovykh transformatorov napryazheniem 35-100 kV // the Scientific and technical lists of Cankt-Pe-terburgskogo of state polytechnic university 1/2013. – С. 84–92.
5. Cherkashina V. V. Analiz effektivnosti metodov otsenki mekhanicheskoy prochnosti tsellyuloznoy izolyatsii vysokovoltnykh transformatorov // Computer-integrated technologies and energy-savings 4'2006. С. 32–36.
6. Gorbunov N. I. et al. Incr Povyshenie effektivnosti regeneratsii otrabotannogo masla // Vicnik SEVNTU: zb, sciences. pr. Vip. 122/2011. – С. 159–162.
7. Koval Ye. A. et al. Adsorbtsionnaya ochistka otrabotannogo transformatornogo masla s ispolzovaniem promyshlennykh montmorillont sodержashshikh sorbentov// Information of the Tomsk polytechnic university // № 3.2007. – С. 86–89.
8. Kipelov B. G., Mezentsev A. I. Kontaktnaya ochistka otrabotannykh transformatornykh masel otbelivayushshimi zemlyami zikeevskogo mestorozhdeniya // Electro- 5. 2002. – С. 31–33.
9. Salikhov T. P., Kan V. V., Urazaeva E. M., Savatyugina T. M., Arushanov G. M., Kan S. N., Yusupov D. T. Poristaya struktura keramicheskikh membrane dla tonkoy ochistki tekhnologicheskikh zhidkostey neftegazovoyotrasli // Scientific and technical magazine of FerPI, 2015. № 3. С. 95–98.
10. Salikhov T. P., Kan V. V., Аскарлов Sh. Sh., Yusupov D. T. Ekonomicheskie aspekty regeneratsii transformatornogo masla // are the Uzbek magazine of Problem of informatics and energy. 2014 г. № 3–4. С. 74–78.
11. Salikhov T. P., Kan V. V., Yusupov D. T. Yusupov D. T. Metod tsirkulyatsionnoy promyvki transformatorov s ispolzovaniem adsorbentov i keramicheskikh membrane // the Scientific and technical magazine of FerPI. 2014. № 4. С. 62–66.

Прийнята до друку 24. 12. 2019

Гулей Александр Богданович, канд. тех. наук, доцент, тел: +38 (050) 4 02 62 12; e-mail: sm261245@gmail.com
Українська інженерно-педагогічна академія, ул. Університетська 16, г. Харків, Україна, 61003

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗОВОГО УГЛЯ В ТОПКЕ КОТЛА ТПП-312А ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОСТАВА УГЛЯ ОТ ОБОГАЩЕННОГО ДО НИЗКОСОРТНОГО

В статье рассмотрены вопросы перехода к использованию на тепловых электростанциях непроектных углей вместо дефицитного проектного топлива. Уголь является сегодня основным топливом для ТЭС в Украине, а его доминирование в сырьевом энергетическом балансе Украины соответствует общемировому тренду. В подавляющем большинстве котлы, эксплуатируемые на ТЭС Украины, были спроектированы для сжигания углей с зольностью от 18 % до 25 %. За время эксплуатации парка котлов теплота сгорания угля по сравнению с проектными характеристиками уменьшилась в 1,5 раза, а КПД котлов на ТЭС снизились до уровня от 80 % до 82%. Для компенсации потерь КПД (в частности для угля с $V^2 \leq 20\%$), применяют «подсветку» факела за счет сжигания природного газа или мазута, долей до 25 % в общем тепловыделении. При использовании «подсветки» в корне факела на более реакционное «подсветочное» топливо расходуется основная часть окислителя, поэтому угольная пыль в факеле горит в условиях пониженной концентрации кислорода. Это приводит к росту физического недожога и, соответственно, к ограничению допустимого нижнего предела для теплоты сгорания используемых углей. Все это, а также высокая цена «подсветочного» топлива ограничивает возможности его применения на ТЭС. Приведена предварительная достоверная количественная оценка его последствий. Проанализировано влияние зольности топлива на температурные поля в топке котла, как критерий возможности и эффективности перехода к использованию на тепловых электростанциях непроектных углей вместо дефицитного проектного топлива. Приведен расчет температурного поля топки котла с помощью вычислительной программы «FURNACE (KGTU)». Обоснован выбор метода расчета характеристик теплообмена в топке пылеугольного котла.

Ключевые слова: котельная установка, под топки, газовое окно, объем, дымовые газы, температура, номинальный режим, проектный уголь, обогащение, зольность, шлакование, модель теплообмена, аппроксимация, коэффициент излучения, экран.

Гулей Александр Богданович, канд. тех. наук, доцент, тел: +38(050) 4 02 62 12; e-mail: sm261245@gmail.com
Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

ОЦІНКА ТЕМПЕРАТУР ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ В ТОПЦІ КОТЛА ТПП-312А ПРИ ЗМІНІ СКЛАДУ ВУГІЛЛЯ ВІД ЗБАГАЧЕНОГО ДО НИЗЬКОСОРТНОГО

У статті розглянуто питання переходу до використання на теплових електростанціях непроектного вугілля замість дефіцитного проектного палива. Вугілля є сьогодні основним паливом для ТЕС в Україні, а його домінування в сировинному енергетичному балансі України відповідає загальносвітовому тренду. У переважній більшості котли, що експлуатуються на ТЕС України, були спроектовані для спалювання вугілля з зольністю від 18 % до 25 %. За час експлуатації парку котлів теплота згоряння вугілля порівняно з проектними характеристиками зменшилася в 1,5 рази, а ККД котлів на ТЕС знизилася до рівня від 80 % до 82 %. Для компенсації втрат ККД (зокрема для вугілля з), застосовують «підсвічування» факела за рахунок спалювання природного газу або мазуту, часток до 25 % у загальному тепловиділенні. При використанні «підсвічування» докорінно факела на більш реакційний «підсвічувальне» паливо витрачається основна частина окислювача, тому вугільний пил у факелі горить в умовах зниженої концентрації кисню. Це призводить до зростання фізичного недопалювання і, відповідно, до обмеження допустимої нижньої межі для теплоти згоряння використовуються вугілля. Все це, а також висока ціна «підсвічувального» палива обмежує можливості його застосування на ТЕС. Наведено результати попередньої достовірної кількісної оцінки його наслідків. Проаналізовано вплив зольності палива на температурні поля в топці котла, як критерій можливості та ефективності переходу до використання на теплових електростанціях непроектного вугілля замість дефіцитного проектного палива. Наведено розрахунок температурного поля топки котла за допомогою обчислювальної програми «FURNACE (KGTU)». Обґрунтовано вибір методу розрахунку характеристик теплообміну в топці пилувугільного котла.

Ключові слова: котельня установка, під топки, газове вікно, обсяг, димові гази, температура, номінальний режим, проектне вугілля, збагачення, зольність, шлакування, модель теплообміну, апроксимація, коефіцієнт випромінювання, екран.

Gulei Alexander Bogdanovich, cand. teh. sciences, associate professor, тел: +38(050) 4 02 62 12;

E-mail: sm261245@gmail.com.

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, str. Universitetska 16, Kharkiv, Ukraine, 61003;

EVALUATION OF TEMPERATURE OF PRODUCTS OF COMBUSTION OF GAS COAL IN THE BOILER FURNACE TPP-312A CHANGES IN THE COMPOSITION OF COAL FROM THE ENRICHED TO LOW-GRADE

The article covers the issues of transition for use in thermal power plants non-design coal instead of scarce project fuel. Coal is the main fuel for thermal power plants in Ukraine, and its dominance in the energy balance of Ukraine is in line with global trend. The vast majority of boilers, operated at thermal power plants of Ukraine, was designed to burn coals with ash content from 18% to 25 %. During the operation of the Park of boilers calorific value of coal compared with the project performance has decreased in 1,5 times, and the efficiency of boilers at thermal power plants decreased to the level from 80 % to 82 %. To compensate for the efficiency losses (particularly for coal), used the "lighting" of the torch by burning natural gas or fuel oil, 25% stake in the total dissipation. When using "backlight" in the root of the torch on the more reactionary "podsvetchnogo" consumption is the main part of the oxidizer, so the coal dust in the flame burning under conditions of low oxygen concentration. This leads to an increase of physical underburning and, accordingly, to limit the permissible lower limit for the calorific value of used coal. All this, plus the high price of "podsvetchnogo" fuel limits its application in thermal power plants. Given prior reliable quantitative assessment of its consequences. The effect of the ash content of fuel on temperature field in a boiler furnace, as a criterion of the ability and effectiveness of the transition to the use at thermal power plants non-design coal instead of scarce project fuel. The calculation of the temperature field of the furnace of the boiler by means of a computer program "FURNACE (KGTU)". Justification of the choice of method for calculating the characteristics of heat transfer in the furnace of a pulverized coal boiler.

Key words: boiler plant, furnace, gas window, volume, flue gases, temperature, nominal regime, project coal, enrichment, ash content, slagging, heat exchange model, approximation, radiation coefficient, screen.

Введение

Уголь является сегодня основным топливом для ТЭС в Украине, причем доминирование его в сырьевом энергетическом балансе Украины соответствует общемировому тренду что, по-видимому, сохранится на длительную перспективу.

В подавляющем большинстве котлы, эксплуатируемые на ТЭС Украины, произведены в 1950 - 1970-х годах, и они были спроектированы для сжигания углей с зольностью от 18 % до 25 % [1]. Так, согласно [2], за время эксплуатации сегодняшнего парка котлов теплота сгорания угля по сравнению с проектными характеристиками уменьшилась в 1,5 раза. По этой причине, а также из-за физического износа котлов и систем пылеприготовления, КПД котлов на ТЭС снизились до уровня от 80 % до 82 %.

Для компенсации потерь КПД (в частности для угля с $V^2 \leq 20\%$), часто применяют «подсветку» факела за счет сжигания природного газа или мазута, долей до 25 % в общем тепловыделении. При использовании «подсветки» в корне факела на более реакционное «подсветочное» топливо расходуется основная часть окислителя, поэтому угольная пыль в факеле горит в условиях пониженной концентрации кислорода. Это приводит к росту физического недожога и, соответственно, к ограничению допустимого нижнего предела для теплоты сгорания используемых углей. Все это, а также высокая цена «подсветочного» топлива ограничивает возможности его применения на ТЭС.

Эффективным способом обеспечения необходимого качества энергетического угля является его обогащение, то есть уменьшение зольности. За счет этого удастся исключить «подсветку» факела, сохранив полноценное сжигание в котлах пылеугольных ТЭС [3]. Поэтому возникает задача выбора угля и оценки уровня его обогащения. Но цена такого угля высока, и ТЭС Украины чаще всего экономически не готовы к его использованию.

Из вышесказанного следует, что для теплоэнергетики Украины актуально широкое использование на ТЭС низкосортных (непроектных) углей, доля которых в угледобыче страны велика. Термин «проектные» относится к углям, под характеристики которых спроектированы эксплуатируемые на ТЭС котельные установки [4]. Поэтому для ТЭС перспективно обеспечение экономической эффективности сырьевого ресурса путем перехода на использование наиболее дешевых и доступных низкосортных углей [5]. К таким обычно относят угли с теплотой сгорания до 14 МДж/кг, зольностью выше 50 % и влажностью до 40 %. Для Украины такие угли характеризуются средним и высоким содержанием серы, и высоким выходом летучих веществ [6].

Однако использование непроектных углей приводит к нарушению устойчивости горения в топке, шлакованию поверхностей теплообмена, снижению количества и ухудшению качества пыли, и росту вредных выбросов в окружающую среду [4, 5]. Поэтому переход на непроектные угли нуждается в предварительной оценке последствий их использования. По результату такого оценивания оптимизируют поиск замещающих углей, на начальных этапах прогнозируют значимые последствия смены топлива [4, 7], уменьшают затраты на экспериментальную проверку предложенных решений.

Влияние балласта твердого топлива на характеристики процесса горения в топках пылеугольных паровых котлов

Для энергетических марок углей из-за неоднородности угольной массы в первую очередь важны два показателя — содержание золы и серы. С их помощью обеспечивается стабильность качества угля, что является определяющим для энергетиков. Так, например, снижение зольности на 10% увеличивает теплоту сгорания угля почти на 25 % [8].

Увеличение зольности топлива негативно влияет на базовый для работы котла процесс горения в топке, что следует из анализа нижеследующих публикаций.

В работе [9] приведены экспериментальные данные, полученные на котле ТП-100 при сжигании смеси АШ и шлама. На их основании рассмотрена зависимость $\eta_{бр}$ котла от A^p топлива и показано, что за счет роста потерь теплоты q_2 и q_4 величина $\eta_{бр}$ снижается суммарно на величину от 5 % до 7 %. В свою очередь, в работе [10] отмечено, что при сжигании газовых и длиннопламенных углей вклад q_4 в общее снижение $\eta_{бр}$ существенно ниже. Так, для донецких углей ГСШ в диапазонах изменения $Q_n^p =$ от 21,8 МДж/кг до 15,9 МДж/кг и $A^p =$ от 22 % до 40 %, значение q_4 возрастает от 0,32 % до 0,77 %. Суммарное уменьшение $\eta_{бр}$ котла ТПП-312, сжигающего ГСШ в указанном диапазоне изменения Q_n^p , составляет 1,9 % или 0,15 % на каждый МДж/кг.

Изменение зольности топлива существенно сказывается на температуре дымовых газов в топке. В частности, из экспериментальных результатов работы [9] следует, что при сжигании угля марки АШ увеличение A^p топлива приводит к снижению температуры газов в зоне шлаковой летки, а также к росту температуры ϑ_T'' в районе газового окна на выходе из топки. Так, снижение величины Q_n^p на 4 МДж/кг (за счет роста A^p), приводит к росту ϑ_T'' на 150 оС. При изменении A^p топлива от 32 % до 42 % при номинальной нагрузке котла ϑ_T'' возрастает на 60 оС.

В работе [11] для бурых углей расчетным путем (при постоянной горючей массе топлива и изменении его влажности) установлено, что повышение A^c на каждые 10 %

приводит к снижению адиабатической температуры g_a дымовых газов на величину от 40 оС до 100 оС. Температура факела при этом снижается на величину от 30 оС до 90 оС. В свою очередь, уменьшение W^p на 10 % повышает g_a на величину от 100 оС до 160 оС, а температуру в ядре факела на величину от 85 оС до 130 оС (в зависимости от зольности).

В работе [12] результаты расчётного анализа, выполненного для котла ПК-10, показали, что характер изменения g_T'' (при увеличении A^p топлива на величину от 17 % до 46 %) существенно изменяется, проходя через экстремум. При росте A^p на величину от 17 % до 26 % величина g_T'' падает от 1248 оС до 1230 оС, а при дальнейшем росте A^p величина g_T'' достигает 1302 оС. Там же предложено объяснение полученной зависимости температуры g_T'' : снижение g_T'' с ростом A^p до определённого предела происходит за счёт увеличения степени черноты факела, а при дальнейшем увеличении A^p рост g_T'' происходит за счёт преимущественного влияния рассеивания лучистой энергии на частицах золы при возрастании ее концентрации в топке. Выполненный в [12] расчет базируется на трехмерной модели теплообмена в топках пылеугольных котлов [13]. В [12] также отмечается, что похожие в качественном отношении результаты получаются и при расчётах g_T'' по 3-й редакции нормативного метода Теплового расчета котлов [14]. По-видимому, такое сходство объясняется близостью базовых физических моделей радиационного теплообмена в топках котлов, принятых в [13] и [14]. В пользу такого вывода говорят и данные [12] о том, что при подобных расчетах согласно более ранней редакции нормативного метода [15], где эффект рассеивания лучистой энергии не учитывался, результаты для малозольных и высокозольных углей существенно отличались от результатов, полученных согласно [13] и [14].

Из приведенных результатов следует, что при росте A^p угля происходит уменьшение температуры ядра факела, а с ней и температуры газов в ошипованной части топки. При этом температуры g_T'' газов на выходе из топки с увеличением зольности растут, но для низких значений A^p угля возможно и уменьшение g_T'' .

Постановка задачи исследования

Все проблемы, создаваемые использованием непроектных углей, в конечном итоге «оказываются» в топке котла вместе с угольной пылью, где она достаточно (или недостаточно) эффективно сгорает. Поэтому для выбора оптимальных свойств угля необходимы оценки характеристик процесса его горения в топке котла [4].

Из приведенного анализа источников следует, что изменение зольности топлива влияет на температуры дымовых газов, в том числе и в зонах, где шлакование поверхностей тепловых экранов приводит к потере работоспособности котла. Поэтому в качестве объекта исследования мы рассматриваем температурные поля дымовых газов в топке. Предполагается, что температуры шлака равны температурам соответствующих дымовых газов.

Конечной целью данного исследования является выбор угля, который можно сжечь в данном котле с требуемой эффективностью и без шлакования поверхностей тепловых экранов. Критерием для этого выбора являются температуры начала деформации золы и температуры начала нормального жидкого шлакоудаления для исследуемого угля.

Характеристики проектного топлива

Проектное топливо - донецкий уголь марки Г, класс «отсев» (аналог –№ 7 в [14]).

Рабочая масса этого угля: $W^P = 12,0 \%$; $A^P = 35,0 \%$; $C^P = 41,3 \%$; $H^P = 3,0 \%$; $N^P = 0,8 \%$; $S_{к+орг}^P = 3,1 \%$; $O^P = 4,8 \%$. Выход летучих на горючую массу – $V^e = 42 \%$. Нижняя теплота сгорания (рассчитанная по составу рабочей массы) $Q_n^P = 16548$ кДж/кг.

Температура $t_{н.ж.}$ нормального жидкого шлакоудаления для используемого угля $t_{н.ж.} = 1500$ °С [14]. Температура начала деформации шлака $t_A \cong 1200$ °С согласно [16] и по данным технической документации ТЭС. Фракционный состав золы угля - 16,6 мкм.

Конструктивные и режимные характеристики котла ТПП-312А, необходимые для теплового расчета топки

Для решения задачи исследования необходимы данные о конструктивных и режимных характеристиках топки котла, принципиальная схема которого приведена на рис. 1. Паровой котел прямоточный, сверхкритического давления рабочего тела, с промежуточным перегревом пара. Он вырабатывает перегретый пар с давлением 25 МПа и температурой 545 °С. Расход перегретого пара 263,9 кг/с (950 т/ч), расход вторичного пара 216,7 кг/с.

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топка открытая, однокамерная, прямоугольного сечения. В верхней части камеры (под перевалом на высоте 15,2 м) вводятся дымовые газы рециркуляции. Высота до ширмового пароперегревателя - 34 м. Высота топки - 41,5 м. Размеры газового окна: 9 м×17 м. Объем топки - 5100 м³. Подовые экраны и НРЧ до отметки 14 м покрыты зажигательным поясом. Шлакоудаление жидкое через две летки в поду топки. Топка оборудована восьмью вихревыми горелками, встречно расположенными в один ярус на фронтальной и задней стенках. Высота оси горелок - 3,36 м.

Моделирование зависимости расхода угля от его зольности

Расчет номинального режима работы котла выполнен для проектного угля согласно нормативному методу расчета котлов [17]. Получены следующие характеристики: КПД котла brutto $\eta_{бр} = 92,4 \%$; полезно использованная теплота в топке $Q_1^P = 664500$ кВт.

При моделировании зольность изменяют от $A^P = 15\%$ до $A^P = 60\%$ с шагом 5%. Анализ раздельного влияния компонентов балласта топлива предполагает фиксацию содержания в топке котла одного из них (например - влаги) при заданном изменении другого (зольности).

При моделировании это условие можно выполнить лишь приближенно, зафиксировав величину $W^P = \text{const}$. В принципе, это возможно за счет применения разомкнутой схемы пылеприготовления с использованием шнековых сушилок как отдельно, так и в сочетании с шахтными сушилками [5]. Но при этом расход влаги включает и переменную долю, определяемую изменением расхода угля, что приводит к дополнительному тепловому эффекту, который является погрешностью модели (нарушается условие фиксации расхода влаги). Но этот эффект отвечает реальным условиям горения в топке.

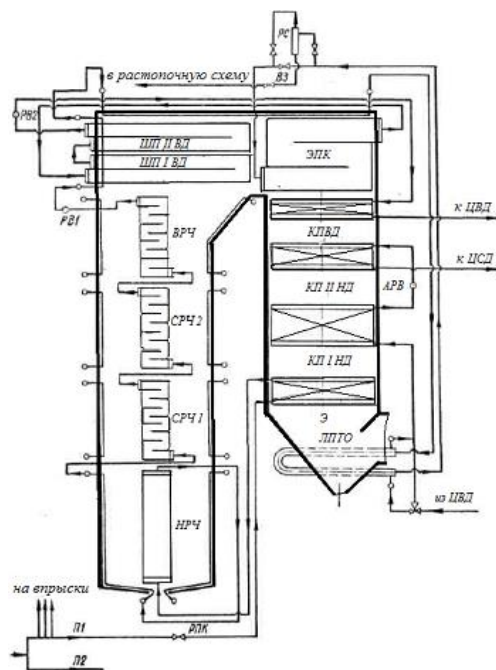


Рис. 1 - Принципиальная тепловая схема котла ТПП-312 А

В работе моделируется подсушка угля в ходе топливоподготовки до постоянной величины $W^P = 10 \%$. Пересчет состава рабочей массы топлива выполняется согласно [17].

По данным [18], для газового угля при изменении расхода в 2 раза величина $\eta_{бр}$ изменяется (падает) в пределах до 2 % от первоначальной. Поэтому принимаем величину $\eta_{бр}$ постоянной на всем диапазоне изменения A^P , и равной 92,4 % (номинальный режим). Величина Q_1^P также принимается постоянной (соответствует номинальному режиму). Результаты расчетов Q_H^P и расхода топлива B_P приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость расчетных величин Q_H^P и B_P от величины A^P угля

$A^P, \%$	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$Q_H^P, \text{кДж/кг}$	23594	22188	20775	19366	17955	16553	15260	13849	12440	10918
$B_P, \text{кг/с}$	30,3	32,3	34,4	37,0	39,9	43,2	46,9	51,7	57,5	65,5

Выбор и обоснование метода расчета характеристик теплообмена в топке пылеугольного котла

Для решения поставленной в работе задачи необходимы оценки температурных полей дымовых газов в объеме топки. Их получение сводится к решению многофакторной стационарной, нелинейной, неоднородной и трехмерной задачи тепломассообмена в топке котла. Это решение базируется на нормативном методе ЦКТИ [14], который дает

возможность получать оценки характеристик теплообмена в топке. Но идеализированная одномерная схема топочного процесса и ряд предположений, которые лежат в ее основе, зачастую недостаточно соответствуют реальным условиям работы топочных устройств. Так, в работе [19] отмечается, что нормативный метод базируется на применении теории подобия к процессам теплообмена, и суммарный теплообмен определяется в зависимости от безразмерных критериев Больцмана (Bo) и критерия Бугера (Bu) в [14]. Фактически, это эмпирический метод, с многочисленными не всегда физически обоснованными поправками от конструктивных, режимных и прочих факторов, а также от свойств топлива. Кроме того, соотношение критериев Bo и Bu индивидуально для каждого котла и обобщающая его зависимость может дать грубое приближение.

Также в [19] делается вывод, что при подготовке эксперимента по сжиганию непроектного угля необходима компьютерная модель горения в топке на физически обоснованных принципах. И таким требованиям отвечает модель зонального метода расчета теплообмена, предложенная в [13, 20]. Автор указывает на то, что тестирование этой модели по результатам исследований достаточно большого количества котлов в ВТИ, УралВТИ, а также по данным испытаний зарубежных котлов [13] показало хорошее соответствие. Метод [13, 20] соединяет в себе возможности, как зональных методов, так и подходов нормативного метода. Принципиальным преимуществом метода является трехмерное описание геометрии топки котла и представление коэффициентов теплообмена нелинейными и неоднородными зависимостями. Также в расчетной модели [20] учитывается рассеяние лучей золовыми частицами, что существенно повышает ее адекватность исследуемым процессам.

При пространственном описании топки согласно [13, 20], ее объем целесообразно разделить на зоны, в пределах которых предполагается идентичность и однородность процессов тепломассообмена, полей температур, скоростей и других переменных состояния рабочей среды и элементов конструкции. Такое разделение оптимально выполнять плоскими параллельными гранями. При этом объемные зоны образуются в виде параллелепипедов, а поверхностные — прямоугольников. В результате действительные непрерывные поля температуры и физических характеристик тел заменяются конечным числом ступенчато-прерывных однородных участков. В каждой объемной зоне задаются тепловыделение и массовые перетечки через все плоскости соприкосновения с соседними объемными зонами, а также радиационные характеристики среды. В каждой поверхностной зоне задаются температуры стенок, температура внутренней среды, тепловые сопротивления и степень черноты внешнего загрязнения стенок.

Расчет температурного поля топки котла с помощью вычислительной программы «FURNACE (KGTU)». Представление исходных данных

Схема аппроксимации объема топки для котла ТПП-312А показана на рис. 2, где топка разбита на объемные зоны (блоки). В свою очередь, каждый блок разбит на кубы одинакового размера (на рисунке не показаны), в пределах которых температура и оптико-геометрические характеристики среды принимаются постоянными.

При этом размеры блоков кратны величине ребра куба, которая вычисляется для каждого случая. Интегральные уравнения теплообмена излучением в топке заменяются при этом конечной системой нелинейных балансовых алгебраических уравнений. Из решения этой системы определяется пространственное поле температур дымовых газов, которое соответствует температурам кубов. Такой подход существенно повышает физическую адекватность модели теплообмена в топке и дает возможность ее более детального исследования.

Схема аппроксимации (рис. 2) объема топки блоками по осям координат задана следующим образом: $X \times Y \times Z = 4 \times 3 \times 11$. В итоге, количество блоков аппроксимации – 144, количество кубов – 828. Размер ребра куба получен равным 1,804 м.

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать возможности свободно распространяемого программного обеспечения (СРПО), которое включает программы, ориентированные на моделирование теплоэнергетических систем [21]. К СРПО относится и вычислительная программа «Furnace (KGTU)», разработанная под

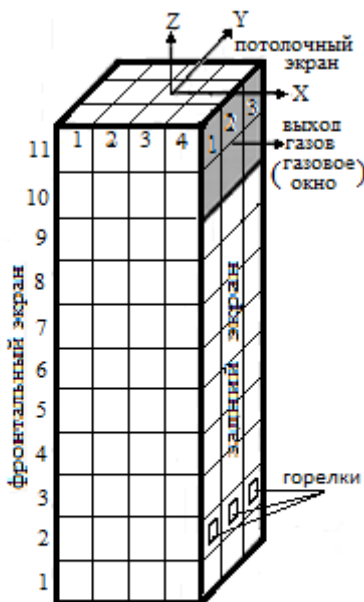


Рис. 2 - Схема аппроксимации блоками объема топки котла ТПШ-312А

руководством д.т.н. Е.А. Бойко (Красноярский государственный технический университет) [22]. Программа предназначена для использования при наладке и эксплуатации топок паровых котлов и позволяет проводить вычислительные эксперименты. В ней реализован зональный метод расчета теплообмена [20]. Программа имеется в свободном доступе в Internet [22]. Для горелок задаются распределения подаваемого в топку воздуха и дымовых газов (приняты двумерными) по глубине и высоте топки. Также задается распределение воздуха и аксиальных массовых скоростей газов в каждом горизонтальном слое.

В программе введена «изотермическая проверка» - сравнение степени черноты объема топки, полученной суммированием тепла излучения от всех объемных зон при одинаковой температуре в них, со степенью черноты, рассчитанной по эффективной толщине газового слоя. Расхождение должно быть не более 10%, но обычно оно не превышает 5%.

Полученная при расчете система нелинейных балансовых уравнений решается методом Ньютона-Рафсона и требует трех-шести итераций.

Результаты исследования влияния зольности угля на температуры в топке парового котла ТПШ-312А. Оценки температур дымовых газов в зоне пода топки

В табл. 2 и на рис. 3 приведены температуры $t_{под}^{min}$ дымовых газов для блока с координатами ($Z=1; X=1; Y=1$) в зоне пода топки в зависимости от зольности угля. Температуры газа в этом блоке соответствуют минимальному уровню в зоне пода топки.

Как следует из таблицы 2, изменение зольности от 15 % до 60 % приводит к уменьшению минимальной температуры газов в зоне пода топки на 152 °С.

Таблица 2

Температуры $t_{под}^{min}$ дымовых газов в зоне пода топки для блока с координатами (Z=1; X=1; Y=1) в зависимости от зольности угля

Зольность топлива, A^p , %	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Температуры газов $t_{под}^{min}$, °C	1666	1656	1642	1635	1623	1620	1591	1554	1533	1514

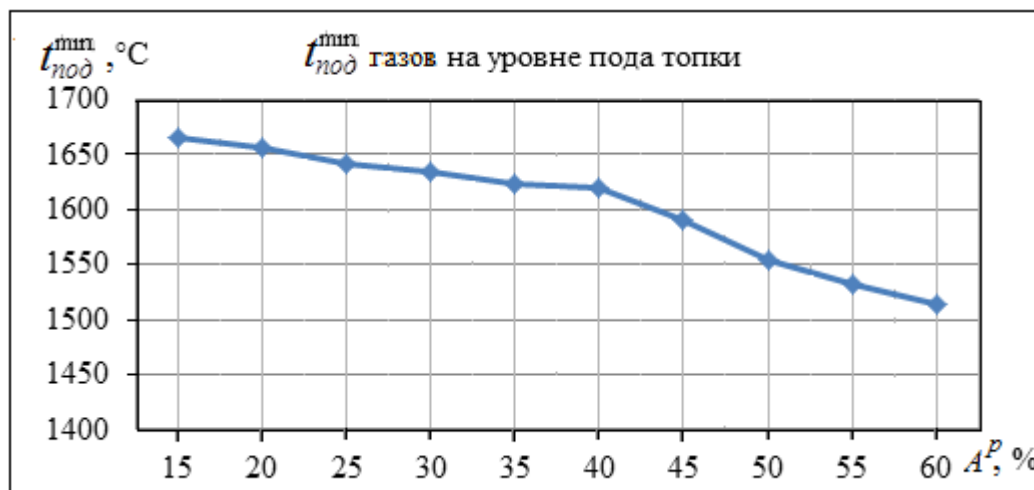


Рис. 3. Температуры $t_{под}^{min}$ газов в зоне пода топки для блока (Z = 1; X = 1; Y=1) в зависимости от зольности угля

Наиболее интенсивное падение температуры происходит в диапазоне изменения зольности от 45 % до 50 % и равно 44 °C, то есть, на 1 % роста зольности приходится 7,4 °C падения температуры. В диапазоне от 35 % до 40 % температура газов практически постоянна.

Оценки температуры дымовых газов на выходе из топки

В табл. 3 и на рис. 4 приведены результаты оценки температуры дымовых газов g_T'' на выходе из топки в зависимости от величины A^p угля.

Таблица 3

Температуры дымовых газов g_T'' на выходе из топки в зависимости от зольности A^p угля

Зольность A^p , %	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
g_{Tmax}'' , °C, блок (Z=10; X=4; Y=2)	1241	1223	1207	1209	1215	1231	1238	1253	1289	1333
g_{Tmin}'' , °C, блок (Z=11; X=4; Y=1)	1106	1087	1070	1072	1079	1096	1107	1149	1193	1262

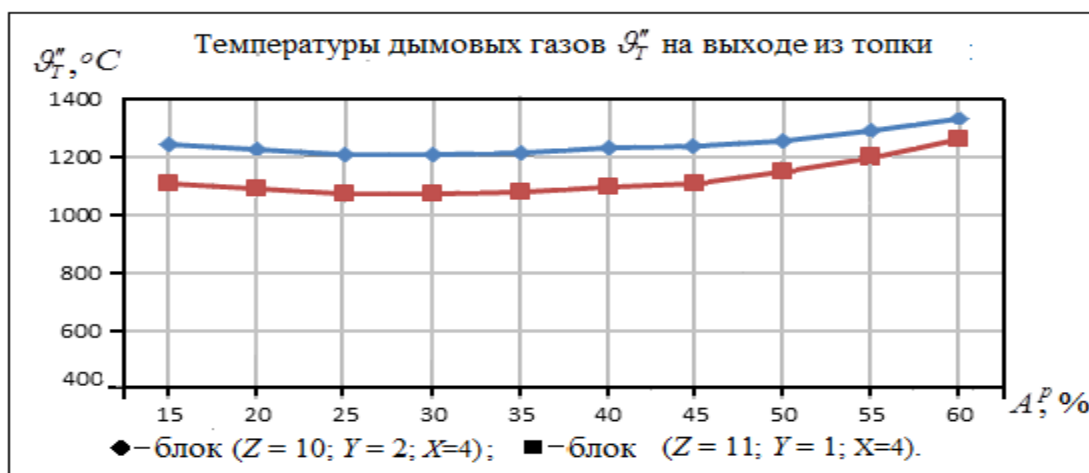


Рис. 4 Зависимость температуры g_T'' дымовых газов на выходе из топки от зольности угля

Из данных табл. 3 следует, что с ростом зольности топлива (от $A^P = 15 \%$ и до $A^P = 25 \%$) на 1% , величина g_T'' падает, в среднем, на $3,4 \text{ }^\circ\text{C}$ в блоке ($Z=10; Y=2; X=4$) и на $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$ в блоке ($Z=11; Y=1; X=4$). На интервале изменения зольности от $A^P = 25 \%$ до $A^P = 30 \%$ величина g_T'' практически постоянна. В свою очередь, с ростом зольности топлива (от $A^P = 30 \%$ и до $A^P = 60 \%$) на 1% , величина g_T'' растет, в среднем, на $20,7 \text{ }^\circ\text{C}$ в блоке ($Z=10; Y=2; X=4$) и на $31,7 \text{ }^\circ\text{C}$ блоке ($Z=11; Y=1; X=4$).

Распределение в плоскости газового окна температур g_T'' газов, средние температуры $g_{T,cp}''$ газов и максимальные градиенты температуры $\Delta g_{T,max}''$ (полная температурная разверка по газу) в зависимости от зольности A^P угля приведены в табл. 4.

Из данных табл. 4 следует, что максимальный перепад $\Delta g_{T,max}''$ между температурами блоков в плоскости газового окна изменяется незначительно - от $135 \text{ }^\circ\text{C}$ для зольности $A^P = 15\%$ до $131 \text{ }^\circ\text{C}$ при $A^P = 45 \%$. При дальнейшем возрастании зольности до максимальной величины $A^P = 60 \%$, $\Delta g_{T,max}''$ падает до $71 \text{ }^\circ\text{C}$. Для проектного угля с $A^P = 35 \%$ величина $\Delta g_{T,max}''$ равна $136 \text{ }^\circ\text{C}$.

Выводы из результатов выполненной работы

1. Существующие расчетные модели горения в топке обеспечивают получение достоверных численных оценок последствий смены проектного угля для температурных режимов работы топки, что важно для возможности оптимального выбора замещающего угля.
2. В нашем случае температура дымовых газов на уровне пода топки падает с переменной скоростью для всего заданного диапазона изменения зольности угля, но минимальная величина этой температуры остается выше температуры нормального жидкого шлакоудаления ($1500 \text{ }^\circ\text{C}$) для используемого угля. Поэтому можно исключить возможность шлакования пода топки и забивания леток.

3. Температура g_T'' газов на выходе из топки при изменении зольности от $A^P = 15\%$ до $A^P = 30\%$ падает (на 34 оС), от $A^P = 30\%$ до $A^P = 35\%$ практически постоянна, а при изменении зольности от $A^P = 35\%$ до $A^P = 60\%$ возрастает (на 118 оС). Такой характер изменения g_T'' можно объяснить влиянием золы на основные характеристики радиационного теплопереноса в запыленных средах.

Таблица. 4

Распределение в плоскости газового окна температур газов g_T'' , средняя температура $g_{T\text{cp}}''$ и максимальные градиенты $\Delta g_{T\text{max}}''$ в зависимости от A^P угля

Зольность $A^P, \%$	Координаты куба	Y=1, X= 4	Y=2, X= 4	Y=3, X= 4	Средняя температура в газовом окне, $g_{T\text{cp}}'', \text{oC}$	Максимальный градиент по газу в газовом окне, $\Delta g_{T\text{max}}'', \text{oC}$
		Температуры g_T'', oC газов в плоскости газового окна				
15	Z=11	1106	1155	1106	1151	135
	Z=10	1109	1241	1190		
25	Z=11	1070	1119	1070	1129	137
	Z=10	1155	1207	1155		
35	Z=11	1079	1129	1079	1138	136
	Z=10	1162	1215	1162		
45	Z=11	1107	1158	1107	1163	131
	Z=10	1185	1238	1185		
55	Z=11	1193	1240	1193	1232	96
	Z=10	1239	1289	1239		
60	Z=11	1262	1301	1262	1291	71
	Z=10	1293	1333	1293		

Так, при увеличении зольности растет коэффициент излучения факела горящего топлива, что приводит к увеличению количества полезно использованного экранами тепла, отчего температура газов уменьшается. Одновременно растет поглощение лучистой энергии более холодными пристеночными газами, от чего величина полезно использованного тепла падает, и температура газов возрастает. В свою очередь, рост зольности потока газов увеличивает рассеяние лучистой энергии факела на частицах золы, что приводит к уменьшению количества полезно использованного тепла, и температура газов возрастает. Таким образом, соотношение вклада каждого из указанных процессов в суммарный эффект определяет величину g_T'' для заданной величины зольности.

- Полученные оценки величин и характер изменения температур газов g_T'' на выходе из топки, не противоречат данным литературных источников, рассмотренных в работе.
- Полученные результаты показали, что для номинального режима работы котла ТПП-312А его надежная работа (без шлакования экранов в зоне газового окна) возможна только для зольности исследованного топлива в интервале от $A^P \approx 25\%$ до $A^P \approx 35\%$ (это без учета свойств первичного слоя золы топлива).

6. С ростом зольности топлива величина максимального температурного градиента $\Delta g_{Tmax}''$ газов на выходе из топки уменьшается в пределах от $137\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $71\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому величину средней по газовому окну температуры g_{Tcp}'' можно использовать для тепловых расчетов только для зольности от $A^p \approx 55\%$ до $A^p \approx 60\%$. В остальных случаях необходимо учитывать максимальную температуру газов в этой плоскости.

Список использованной литературы:

1. Чернявский Н. В. Влияние обогащения энергетических углей на их калорийность и эффективность сжигания на тепловых электростанциях // Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ, Нац. гірн. університет. - 2012. – Вип. 49(90). – С.10-22.
2. Шуваева Н. М. Повышение эффективности подготовки к факельному сжиганию низкореекционных углей Украины / Н. М. Шуваева, О. М. Борисенко, О. А. Борисенко // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2005. – № 6. – С. 124-129.
2. А. Ю. Майстренко Вопросы повышения эффективности использования твердого топлива на ТЭС/ Майстренко, Н. В. Чернявский // Энергетика и электрификация. – 2004. – С. 17-27.
3. Гиль А. В. Применение численного моделирования топочных процессов для практики перевода котлов на непроектное топливо: Монография/А. В. Гиль, А. В. Старченко, А. С. Заворин. –Томск: STT, 2011 –184 с.
4. Белосельский Б. С., Барышев В. И. Низкосортные энергетические топлива: особенности подготовки и сжигания. / Б. С. Белосельский, В. И. Барышев – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 136 с.
5. Ильченко К. Д., Ревенко М. Б. Теплофизические свойства углей Украины / К. Д. Ильченко, М. Б. Ревенко - Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов. – Днепропетровск: издательство НМЕТАУ 2009. – С.110-117.
6. Томилов В.Г. Исследование влияния качества топлива на эффективность котельных агрегатов в условиях задачи изменения топливного баланса ТЭС / В.Г. Томилов, Е.Н. Яганов // Состояние и перспективы развития электротехнологии. Том II Теплоэнергетика: материалы Международн. научн.-техн. конф. – Иваново, 2013. - С. 94-97.
7. Маркова В. Обогащаться углем / В. Маркова, В. Чурашев // Эксперт Сибирь. - 2011. - №15-16. С. 26-30.
8. Капельсон Л. М. Влияние качества АШ на работу котла с полуоткрытой топкой / Л. М. Капельсон, В.Ф. Бусурин и др. // Электрические станции. - 1978. - №5. - С. 20-23.
9. Ларионов В. Ф. Влияние качества твердого топлива на экономичность работы котлов блоков 200 и 300 МВт/ В.Ф. Ларионов, В. И. Кошман, А. Е. Суворов // Энергетика и электрификация. – 1986. - №4. - С. 2-3.
10. Пылеприготовительные системы буроугольных котлов в СССР и за рубежом [Текст]: обзор / НИИ Эинформэнергомаш; отв. ред. В. Н. Бугина. - М.: НИИ Эинформэнергомаш, 1978. - 39 с.
11. Алехнович А.Н. Влияние минеральной части на показатели и характеристики энергетических углей / А.Н. Алехнович // Энергетик. – 2008. – № 3. – С. 8–13
12. Абрютин А.А. Развитие метода и программы трехмерного зонального расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов / А.А. Абрютин, Э.С. Карасина, Б.Н. Лившиц и др.// Теплоэнергетика.- 1998.- №6. – С. 20-24.
13. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и дополн./НПО ЦКТИ, СПб, 1998.-256 с.
14. Резников М. И. Котельные установки электростанций: Учебник для техникумов. 3-изд., перераб. / Резников М. И., Липов Ю. М. – М. Энергоатомиздат, 1987. – 288 с.
15. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). [Под ред. Н. В. Кузнецова]. 1973. М.: Энергия, 1973. - 296с.
16. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (Тепловой расчет парового котла). Учебное пособие / Е.А. Бойко И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.
17. Мадоян А. А. Эффективное сжигание низкосортных углей в энергетических котлах /А. А. Мадоян, Балтян В. Н., Гречаный А. Н. - М: Энергоатомиздат, 1987. (Б-ка теплотехника). – 104 с.
18. Алехнович А.Н. Состояние и проблемы расчёта теплообмена в пылеугольных топках / А. Н. Алехнович. // Электрические станции. - 2015. - № 3. - С.32-36.
19. Карасина Э.С. Опыт применения программы трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов энергоблоков мощностью 350 и 575 МВт/ Э.С. Карасина, Б.Н. Лившиц, Б.Р. Чудновский, А.Е. Таланкер. - Теплоэнергетика, 2010, №10
20. Демиденко Л.Л. Возможность использования свободно распространяемого программного обеспечения при подготовке студентов–теплоэнергетиков / Л.Л. Демиденко., Р.В. Хасанова, А.В. Мурзадеров и др. // Современные информационные технологии. 2013. № 17 (17). С. 239-243.

21. Бойко Е.А. Программа трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]/ Е.А. Бойко//Режим доступа к журн.:// <http://enek.ru>.

Referenses:

1. Chernyavskiy N. V. Vliyanie enriching of power coals on their calorie content and efficiency of incineration on thermal power-stations of // Zbagachennyya korisnikh kopalinn: naukovno-tekhnichniy zbirnik. – Dnpropetrovsk, Nac. grn. universitet. –2012. – Vip. – 49(90). – P. 10–22.
2. Shuvaeva N. M. Povyshenie to efficiency of preparation to torch incineration of nizkoreakcionnykh coals of Ukraine / N. M. of Shuvaeva, O. of M. of Borisenko, O. A. Borisenko // Announcer Nac. tekhn. un-that "KHPI": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Power and heating engineering processes and equipment. it is Kharkov: NTU "KHPI". – 2005. – № 6. – С. 124–129.
3. Maystrenko A. Yu. voprosy increases of efficiency of the use of hard fuel on TES/ And. Yu. Maystrenko, N. V. Chernyavskiy // Energy and electrification. – 2004. – P. 17–27.
4. Gil A. V. Primenenie numeral design of fire-box processes for practice of translation of caldrons on an unproject fuel: Monograph / A. V. Gil, A. V. Starchenko, A. S. Zavorin. it is Tomsk: STT, 2011. – 184 p.
5. Beloselskiy B. S., Baryshev V. I. Nizkosortnye power fuels: features of preparation and incineration. / B. . Belosel'skiy, V. I. Baryshev – M.: Energoatomizdat, 1989. – 136 p.
6. Ilchenko K. D., Revenko M. B. Teplofizicheskie properties of coals of Ukraine / K. D. Ilchenko, M. B. Revenko – Metallurgical heating engineering. Collection of scientific labours. – Dnepropetrovsk: publishing house NMETAU, 2009. – P. 110–117.
7. Tomilov V. G. Issledovanie influences of quality of fuel on efficiency of caldron aggregates in the conditions of task of change of fuel balance of TES / V. Tomilov, E. N. Yaganov the // State and prospects of development of elektrotekhnologii. Tom II Teploenergetika: materials of Mezhdunarodn. nauchn.– tech. konf. – Ivanovo. 2013. – P. 94–97.
8. Markov V. Obogatit'sya by coal / V. Markov, V. Churashev // Expert Siberia.–2011.–№ 15–16. P. 26–30.
9. Kapelson L. M. Vliyanie qualities of ASH to work of caldron with the half-open heating / L. M. of Kapelson, V. F. Busurin and other of // the Electric stations. –1978. –№ 5. – P. 20–23.
10. Larionov V. F. Vliyanie qualities of hard fuel on the economy of work of caldrons of blocks 200 and 300 MVt/ of V. of F. Larionov, V. And. Koshman, A. E. Suvorov // Energy and electrification. – 1986. – № 4.–P. 2–3.
11. Pyleprigotovitel'nye of the system of lignite caldrons in the USSR and abroad [Text]: review / NII of Einformenergomash; otv. red. V. of N. Butine. - M.: of NII of Einformenergomash, 1978. –39 p.
12. Alekhnovich A. N. Influence of mineral part on indexes and descriptions of power coals / A. N. Alekhnovich // Power engineering Specialist. – 2008. – № 3. – P. 8–13
13. Abryutin A. A. Razvitie method and program of three-dimensional zonal calculation of heat exchange in the fire-box chambers of pyleugol'nykh caldrons / And. And. Abryutin, E. P. Karasina, B. N. Livshic and dr.// Teploenergetika. –1998. – № 6. – P. 20–24.
14. Teplovoy calculation of caldrons (normative method). A publ. 3th, pererab. and dopoln. / NPO of CKTI, SPb, 1998. – 256 p.
15. Reznikov M. I. Kotelnye settings of power-stations: Textbook for tekhnikumov. 3-izd., pererab. / Reznikov M. I., Lipov Yu. M. – M. Energoatomizdat, –1987. – 288 p.
16. Thermal calculation of caldron aggregates (normative method). [Under red. N. V. Kuznecova]. 1973. M.: Energy, 1973. – 296 p.
17. Boyko E. A. Kotel'nye settings and parogeneratory (Thermal calculation of steam-boiler). Train aid / E. A. Boyko And. P. Dering, T. And. Okhorzina. it is Krasnoyarsk: IPC KGTU, 2005. – 96 p.
18. Madoyan A. A. Effektivnoe incineration of low-grade coals in the power caldrons of /A. A. Madoyan, Balyan V. N., Grechanyy A. N. – M.: Energoatomizdat, 1987. (B-ka of heating engineer).– 104 p.
19. Alekhnovich A. N. Sostoyanie and problems of calculation of heat exchange in the pyleugol'nykh heatings / A. N. Alekhnovich. // the Electric stations. – 2015. –№ 3. – P.32–36.
20. Karasina E. S. Opyt applications of the program of three-dimensional zonal method of calculation of heat exchange in the fire-box chambers of pyleugol'nykh caldrons of power units by power 350 and 575 MVt/ E. S. Karasina, B. N. Livshic, A. E. Chudnovskiy, A. E. Talanker. – Teploenergetika, 2010, № 10.
21. Demidenko L. L. Vozmozhnost' using of freely expandable software for preparation of studentov–teploenergetikov / L. L. Demidenko., R. V. Khasanova, A. V. Murzaderov and other// Modern information technologies. 2013. № 17 (17). P. 239–243.
22. Boyko E. A. Programma three-dimensional zonal method of calculation of heat exchange in the fire-box chambers of steam-boilers. User's guide. [Electronic resource]/ E. A. Boyko//Rezhim of access to zhurn.:// <http://enek.ru>.

Прийнята до друку 05. 12. 2019

Михайленко Владислав Володимирович, канд. тех. наук, доцент;

Тел. +38(044) 2 36 79 89; E-mail: VladislavMihailenko@i.ua

Святненко Вадим Анатолійович, канд. тех. наук, доцент

Чуняк Юлія Михайлівна, канд. тех. наук, доцент

Ходасевич Валерія Олегівна, асистент

Майкович Ірина Віталіївна, асистент

Наухацька Таміла Анатоліївна, асистент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Перемоги, 37. Київ, Україна, 03056

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДВАДЦЯТИДВОХЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Практика якісного перетворення електричної енергії свідчить про можливість використання в установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшою від частоти змінної напруги промислової мережі. Обґрунтовано доцільність застосування методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. Наведено результати аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Побудовано графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

Запропоновано математичну модель перетворювача із комп'ютерною орієнтацією, що створена за допомогою методу багатопараметричних модулюючих функцій, який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача.

Наведено результати аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. Запропоновано удосконалений метод багатопараметричних функцій в частині розробки нової математичної моделі з багатозонним регулюванням вихідної напруги та визначення модулюючих функцій для аналізу електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм.

Михайленко Владислав Володимирович, канд. тех. наук, доцент;

Тел. +3 8044 236 7989; E-mail: VladislavMihailenko@i.ua

Святненко Вадим Анатольевич, канд. тех. наук, доцент

Чуняк Юлія Михайлівна, канд. тех. наук, доцент

Ходасевич Валерія Олегівна, асистент

Майкович Ірина Віталіївна, асистент

Наухацька Таміла Анатоліївна, асистент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Перемоги, 37. Київ, Україна, 03056

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ПОЛУПРОВІДНИКОВОМУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛІ С ДВАДЦЯТИДВОХЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХОДНОГО НАПРЯЖЕННЯ

Практика якісного перетворення електричної енергії свідчить про можливість використання в установках звено високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшою від частоти змінної напруги промислової мережі. Обґрунтовано доцільність застосування методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. Наведено результати аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідного напруги. Побудовано графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

Предложено математическая модель преобразователя с компьютерной ориентацией, созданная при помощи метода багатопараметричних модулюючих функцій, который предполагает предварительное представление алгоритмического уравнения преобразователя.

Приведены результаты анализа электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми преобразователями. Предложен усовершенствованный метод многопараметрических функций в части разработки новой математической модели с багатозонним регулюванням вихідного напруги и определение модулирующих функций для анализа электрических цепей с полупроводниковыми коммутаторами.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, выходное напряжение и ток.

Mikhailenko Vladislav Vladimirovich, cand. teh. sciences, associate Professor;

Tel.+38(044) 2 36 79 89; E-mail: VladislavMikhailenko@i.ua

Svyatnenko Vadim, cand. teh. sciences, associate Professor

Cunjak Julia M., cand. teh. sciences, associate Professor

Khodasevich, Valeria Olegovna, assistant

Maikovich Irina Vitalievna, assistant

Nowacka Tamila Anatolyevna, assistant

National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute name of Igor Sikorskiy», Pobedy Ave., 37. Kyiv, Ukraine, 03056

ANALYSIS OF ELEKTROMAGNETIC PROCESSES IN SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH TWENTY-SECOND ZONA REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE

Practice high-quality conversion of electric energy indicates the possibility of use in installations of the high frequency link with a switching frequency of the valves is considerably greater frequency of the AC voltage industrial network. The expediency of application of the method of multivariable functions using MATHCAD for the analysis of electromagnetic processes in electric chains with semiconductor converters. The results of the analysis of electromagnetic processes in electric chains with semiconductor switches. The mathematical model for the analysis of electromagnetic processes in semiconductor converters with pulse-width regulation of the output voltage. Graphs reflecting the electromagnetic processes in electric circuits.

A mathematical model of the Converter with computer orientation, created using the method bahatoformatne modulating functions that involves a preliminary understanding of algorithmic equations of the Converter.

The results of the analysis of electromagnetic processes in electric chains with semiconductor converters. Proposed an improved method of multiparameter functions in the development of new mathematical models with baatsona adjustment of the output voltage and determining the modulating functions for the analysis of electric circuits with semiconductor switches.

Key words: electromagnetic processes, output voltage and current.

Вступ

Практика якісного перетворення електричної енергії свідчить про можливість використання в установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшою від частоти змінної напруги промислової мережі.

У роботах [1-10] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітними видами вхідної енергії.

У даній роботі проведено аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ в якості ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів з широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при двадцятидвохзонному керуванні.

Метою роботи є застосування методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами.

Основна частина

Узагальнена структурна схема перетворювача показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних напруг А, В і С відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження.

Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, представляє собою ланку високої частоти перетворювача.

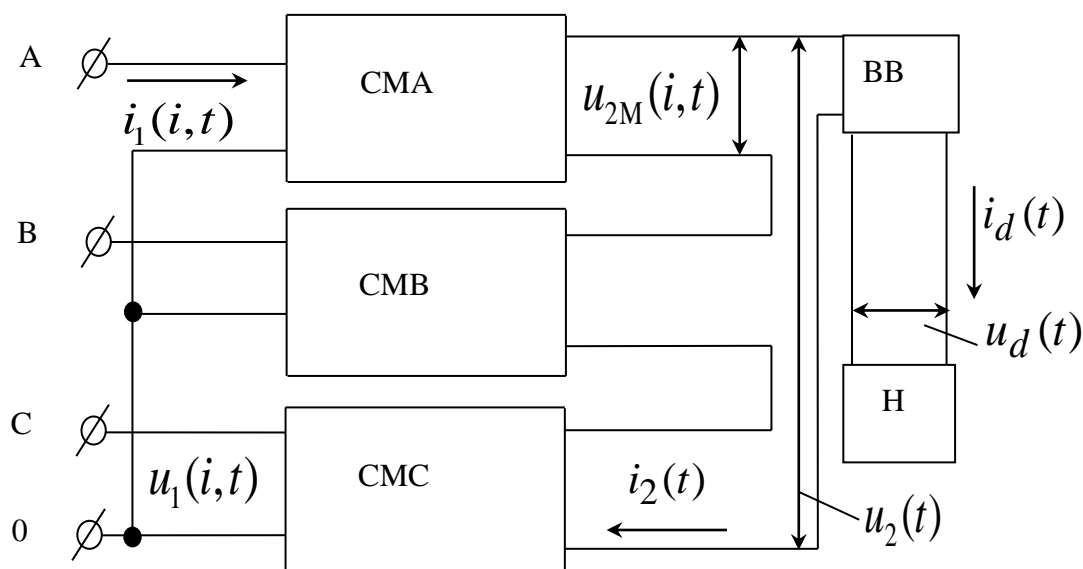


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином кожен СМ має в своєму складі N інверторів випрямленої напруги (ІВН), де N – це число інверторів.

При складанні математичної моделі перетворювача із комп'ютерною орієнтацією використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача.

При цьому приймаємо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Дана структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, при якому в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених фазних напруг $u_1(i,t)$, частоти ω_1 , трифазної енергетичної мережі відповідними еквівалентними модулюючими впливами $\phi(\alpha_p,t)$, частоти ω_2 .

В результаті такої операції на виході кожного з ІВН формується напруга

$$u_{2M}(p,i,t) = k_T u_1(i,t) \phi(i,t) \psi(\alpha_p,t) \quad (1)$$

де:

- $i = 1, 2, 3$ – номери фаз енергетичної мережі;
- k_T – коефіцієнт трансформації узгоджувального трансформатора;

- $p = 1, 2, 3, \dots, n$ – номери зон регулювання вихідної напруги;
- $\phi(i, t)$ – функції прямокутного сінуса, співпадаючі за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі;
- $u_1(i, t)$ – миттєві значення вхідної напруги мережі.

Функції прямокутного сінуса подаються як

$$\phi(i, t) = \text{sign} \left\{ \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right\}, \quad (2)$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(i, t) = U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right), \quad (3)$$

де:

- U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги.

Еквівалентні модулюючі впливи подаються виразом

$$\psi(\alpha_p, t) = \frac{1}{2} \sum_2 \text{sign} \left[\sin(\omega_2 t \pm \alpha_p(t) - \phi) \right], \quad (4)$$

де:

- $\alpha_p(t)$ – кути керування, за рахунок зміни яких забезпечується ШПР вихідної напруги перетворювача;
- ϕ – початкова фаза еквівалентних модулюючих впливів.

Вихідна напруга $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача, згідно з його структурною організацією, відповідно з виразом (1), представляється сумою

$$u_2(t) = \sum_{p=1}^{22} \sum_{i=1}^3 k_T u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(\alpha_p, t), \quad (5)$$

а вихідна напруга перетворювача $u_d(t)$, як випрямлена напруга (5), знаходимо з виразу

$$u_d(t) = \sum_{p=1}^{22} \sum_{i=1}^3 k_T u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(\alpha_p, t) v(t), \quad (6)$$

де:

- $v(t)$ – функція прямокутного сінуса, співпадаюча за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача.

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)) \quad (7)$$

Струм навантаження знайдемо, як реакцію одноконтурного RL-ланцюга на дію напруги (7). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру перетворювача, представимо у вигляді

$$D(t, y) = \frac{u_d(t)}{L} - \frac{R}{L} y_0, \quad (8)$$

де:

- y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Розв’язок (8) відносно струму навантаження визначаємо чисельним методом у вигляді матриці

$$i_d(t) = \text{rkfixed}(y, 0, k, s, D), \quad (9)$$

де:

- y – вектор початкових умов;
- $0, k$ – часовий інтервал рішень;
- s – кількість точок на часовому інтервалі рішень;
- D – вектор функція диференціальних рівнянь.

Вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд

$$i_2(t) = i_d(t)v(t) \quad (10)$$

Для визначення вхідних струмів інверторів i -х фаз для кожної p -ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає в загальному контурі всіх СМ, утвореному послідовно з’єднаними вторинними обмотками узгоджувальних трансформаторів і приймаємо до уваги алгоритмічне рівняння (6) і те, що (2),(4) і (7) є функціями одиничної амплітуди.

При цьому в загальному вигляді

$$i_1(n, i, t) = \frac{i_2(t)\psi(\alpha_p, t)\phi(i, t)}{k_T} \quad (11)$$

Для визначення струмів i -х фаз енергетичної мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги виконаємо підсумовування вхідних струмів інверторів всіх зон регулювання в кожній з i -ї фази.

Враховуючи рівняння (11) загальний вираз для струмів i -х фаз енергетичної мережі має вигляд

$$i_1(i, t) = \sum_{p=1}^{22} i_1(n, i, t) \quad (12)$$

Часові діаграми струму та напруги навантаження та вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (6), (9) та (12) для двадцятидвохзонного регулювання, представлені на рис. 2.

Для того, щоб знайти амплітудні значення струмів, які протікають через силові транзистори ІВН, достатньо проаналізувати струми первинних обмоток узгоджувальних трансформаторів, що знаходяться в колах живлення силових транзисторів.

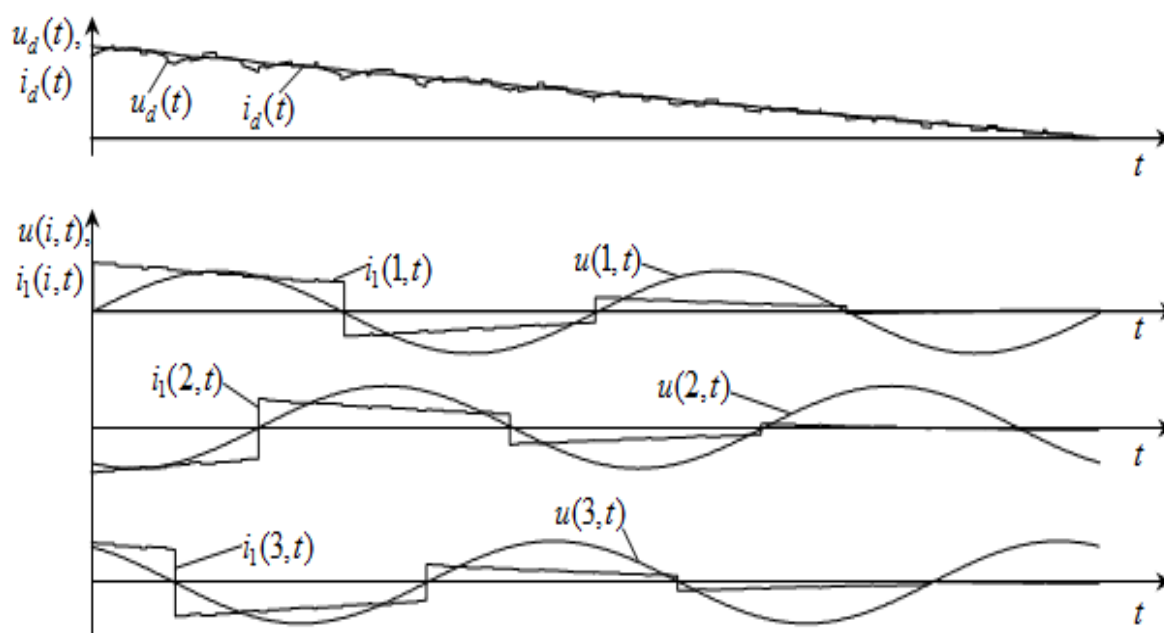


Рис. 2. Часові діаграми струму та напруги навантаження та вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг

Висновки

У даній роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювачів.

У роботі розвинуто метод багатопараметричних функцій в частині розробки нової математичної моделі з багатозонним регулюванням вихідної напруги та визначення модулюючих функцій для аналізу електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

Використання методу багатопараметричних модулюючих функцій у електричних колах змінної структури є доцільним, якщо в їх ланках є не більше трьох незалежних реактивних елементів.

Данні розрахунків порівняно з даними експериментів не відрізняється більше ніж на 1 %.

Список використаної літератури:

1. Макаренко М. П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М. П. Макаренко, В. І. Сенько, М. М. Юрченко – К.: НАН України, ІЕД, 2005. – 241 с.
2. Макаренко М. П. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Тематичний випуск "Силова електроніка та енергоефективність". – 2002. – Ч. 1. – С. 19–22.
3. Макаренко М. П. Деякі аспекти комп'ютерного аналізу напівпровідникових перетворювачів електроенергії з багаторозгалуженими структурами / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн.

- електродинаміка. Тематичний випуск "Силова електроніка та енергоефективність". – 2004. – Ч. 1. – С. 112–115.
4. Макаренко М. П. Деякі аспекти системного аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Вестн. НТУ "Харківський політехнічний інститут". "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика". – 2005. – Вип. 45. – С. 384–385.
 5. Shakweh Y. Assessment of medium voltage PWM VSI topologies for multi-megawatt variable speed drives applications / Y. Shakweh, E. A. Lewis // Proc. IEEE-PESC'99 Conf. – 1999. – P.590–595.
 6. Wheeler P. W. The Technology and Potential of Matrix Converters / P. W. Wheeler, J. C. Clare, L. Empringham, M. Bland // Power Electronics Europe. – 2001, № 5. – P. 25–28.
 7. Gyugyi L. Static Power Frequency Changers / L. Gyugyi, B. R. Pelly – New York, NY: Wiley. – 1976. – 442 p.
 8. Sinha G. A four level inverter based drive with a passive front end / G. Sinha, T.A. Lipo // Proc. IEEE-PESC'99 Conf. – 1999. – P.590–595.
 9. Pena R. A doubly-fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine / Pena R., Clare J. C., Asher G. M. // Proc. IEE. – 1996. – Part B, Vol. 143, № 5. – P. 380–387.
 10. Holmer L. Analysis, design and implementation of the space-vector modular for forced-commutated cycloconverters / L. Holmer, D. Borojevic // IEE Proceedings-B. – 1992, – Vol. 139, №2. – P.103–113.

References:

1. Makarenko, M. P., Senko, V. I., Yurchenko, M. M. (2005), *Sistemnyi analiz elektromagnitnyh procesiv u napivprovodnykovykh peretvoruvachah electroenergii modulacynogo typu*, National academy of the sciences of the Ukraine, Institute of electrodinamiks Publ., Kyiv, Ukraine, 241 p.
2. Makarenko, M. P. Mihaylenko, V. V. (2002), "Analiz elektromagnitnyh procesiv u peretvoruvachah z bagatozonnym reguljuvannjam vuhidnoji naprugy funkciyamy bagatoparametruchnogo vydu", *Technicheskaia elektrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist. Thematic vypusk. Publ., Kyiv, Ukraine, Part 1*, P. 19–22.
3. Makarenko, M. P., Mihaylenko, V.V. (2004), "Deyaki aspekty kompyuternogo analizu napivprovodnykovykh peretvoruvachiv electroenergii z bagatorozgaludgenymy strukturamy", *Technicheskaia elektrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist. Thematic vypusk Publ., Kyiv, Ukraine, Part 1*, P. 112–115.
4. Makarenko, M. P., Mihaylenko, V. V. (2005), "Deyaki aspekty systemnogo analizu elektromagnitnyh procesiv u napivprovodnykovykh peretvoruvachah electroenergii", *Herald national technical "Harikovskiy pollytechnic institute". "Problems automated electrodrive. Theory and practice"* Publ., Kharkiv, Ukraine, Vol. 45, P. 384–385.
5. Shakweh, Y., Lewis, E.A. (1999), "Assessment of medium voltage PWM VSI topologies for multi-megawatt variable speed drives applications", *Proc. IEEE – PESC ' 99 Conf. Publ., London , England*, P.590–595.
6. Wheeler, P. W., Clare, J.C., Empringham L., Bland M. (2001), "The Technology and Potential of Matrix Converters", *Power Electronics Europe Publ., London, England, № 5*, P. 25–28.
7. Gyugyi, L., Pelly, B. R. (1976), *Static Power Frequency Changers*, NY. Wiley, New York, 442 p.
8. Sinha, G. A. , Lipo, T.A. (1999), "A four level inverter based drive with a passive front end", *Proc. IEEE-PESC'99 Conf.*, P.590–595.
9. Pena, R., Clare, J. C., Asher, G. M. (1996), "A doubly-fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine", *Proc. IEE.*, Part B, Vol. 143, № 5, pp. 380–387.
10. Holmer, L., Borojevic, B. D. (1992), "Analysis, design and implementation of the space-vector modular for forced-commutated cycloconverterlmer", *IEE Proceedings*, Vol. 139, №2, pp.103–113.

Прийнята до друку 15.12. 2019

Загранічний А. В., канд. тех. наук, доцент

Рогаль В. В., канд. тех. наук, доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
ФЕЛ, просп. Перемоги, 37. Київ, Україна, 03056

Тел: +38(050) 4 02 62 12; E-mail: fel@kpi.ua

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ЗОНУЮЧОЇ НАПРУГИ В ПРИСТРОЯХ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ

Одним з найбільш інформативних методів вивчення структури і властивостей речовин є метод ядерного магнітного резонансу, що полягає в явищі резонансного поглинання ядрами з спіном $1/2$, що перебувають в магнітному полі Но (спіновою системою), енергії радіочастотного поля Н1, з подальшим вивільненням цієї енергії після припинення дії поля Н1. Для отримання картини про структуру і властивості молекул найефективніше використовувати сигнал Хана, формування якого як зондувальної напруги є досить актуальним завданням. В роботі Розглянуто основні види зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу. Отримано зондувальну напругу, промодульовану по закону $1+\cos(t)$. Проаналізовано способи отримання цієї напруги, вказані їх недоліки та переваги. Показано, що при зміні способу керування змінюється спектральний склад вихідної напруги, а формування зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу можливе на основі амплітудно-імпульсної модуляції, биття або широтно-імпульсної модуляції з подальшою фільтрацією. Показано, що формувати зондувальну напругу для пристроїв ЯМР доцільно за допомогою мостового інвертора напруги з ШІМ. Ця система має значно вищий ККД, однак через наявність вищих гармонік в спектрі вихідного сигналу спотворюється його форма.

Ключові слова: ядерний магнітний резонанс, мостовий інвертор, широтно-імпульсна модуляція.

Загранічний А. В., канд.тех.наук, доцент

Рогаль В. В., канд.тех.наук, доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», ФЭЛ, просп. Победы, 37. Киев, Украина, 03056

Тел: +38(050) 4 02 62 12; E-mail: fel@kpi.ua

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНИРУЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПРИБОРАХ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСА

Одним из наиболее информативных методов изучения структуры и свойств веществ является метод ядерного магнитного резонанса, заключающийся в явлении резонансного поглощения ядрами со спином $1/2$, находящихся в магнитном поле Но (спиновой системой), энергии радиочастотного поля Н1, с последующим высвобождением этой энергии после прекращения действия поля Н1. Обосновано, что для получения картины о структуре и свойствах молекул эффективнее использовать сигнал Хана, формирование которого как зондирующего напряжения является весьма актуальной задачей. В работе Рассмотрены основные виды зонирования напряжения для устройств ядерного магнитного резонанса. Получено зондирующее напряжение, промодульованное по закону $1+\cos(t)$. Проанализированы способы получения этого напряжения, указаны их недостатки и преимущества. Показано, что при изменении способа управления изменяется спектральный состав выходного напряжения, а формирование зондирующего напряжения для устройств ядерного магнитного резонанса возможно на основе амплитудно-импульсной модуляции, биения или широтно-импульсной модуляции с последующей фильтрацией. Показано, что формировать зондирующее напряжение для устройств ЯМР целесообразно с помощью мостового инвертора напряжения с ШІМ. Эта система имеет более высокий КПД, однако, как показало исследование, через наличие высших гармоник в спектре выходного сигнала искажается его форма.

Ключевые слова: ядерный магнитный резонанс, мостовой инвертор, широтно-импульсная модуляция.

Zagranychnyi A. V., cand. teh. sciences, associate Professor

Rogal V. V., cand. teh. sciences, associate Professor

National technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute name of Igor Sikorsky», FEL, Pobedy Ave., 37. Kyiv, Ukraine, 03056

Tel: +38(050) 4 02 62 12; E-mail: fel@kpi.ua

METHODS FOR FORMING ZONING VOLTAGE IN INSTRUMENTS NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE

One of the most informative methods of studying the structure and properties of substances is a method of nuclear magnetic resonance, which consists in the phenomenon of resonant absorption by nuclei with spin 1/2, placed in a magnetic field. But (the spin system), the energy of radio frequency field H1, with the subsequent release of this energy after the termination of the field H1. It is proved that for the picture on the structure and properties of molecules more efficient use of the signal Khan, the formation of which shirousagi voltage is a very important task. In the paper, the basic types of zoning-voltage devices for nuclear magnetic resonance. Received zoniruya voltage, pratulananda by law $1 + \cos(t)$. Analyzed the methods of obtaining this voltage, indicated their advantages and disadvantages. It is shown that the change of the method of control changes the spectral composition of the output voltage, and the formation shirousagi voltage devices for nuclear magnetic resonance is possible on the basis of amplitude-modulation of the heartbeat or pulse width modulation with subsequent filtering. It is shown that forming zoniruya voltage for devices, it is advisable NMR using bridge voltage inverter with PWM. This system has a higher efficiency, however, as the study showed, through the presence of higher harmonics in the spectrum of the output signal is distorted in its shape.

Key words: nuclear magnetic resonance, bridge inverter, pulse width modulation.

Вступ

Одним з найбільш інформативних методів вивчення структури і властивостей речовин є метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР), що полягає в явищі резонансного поглинання ядрами з спіном 1/2, що перебувають в магнітному полі Но (спіновою системою), енергії радіочастотного поля H1, з подальшим вивільненням цієї енергії після припинення дії поля H1.

Для отримання картини про структуру і властивості молекул найефективніше використовувати сигнал Хана [1], формування якого як зондувальної напруги є досить актуальним завданням.

Для проведення геофізичних досліджень нафтових і газових свердловин потрібні зондувальні сигнали з піковою потужністю близько 300 Вт [2].

Способи отримання зондувальної напруги. Для збільшення співвідношення сигнал/шум і покращення динаміки спінової системи застосовується модуляція магнітного поля - використовується сигнал $s(t)$ (рис.1, б), який є амплітудно-модульованим гармонічним сигналом, промодульованим за законом $(1 + \cos(t))$.

Сигнал $s(t)$ можна формується за допомогою: амплітудно-імпульсної модуляції (АІМ), биття або широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

При використанні АІМ сигнал $s(t)$ представляється у вигляді [3]:

$$s(t) = A_0(1 + m\cos\Omega t)\cos\omega_0 t = A_0\left[\cos\omega_0 t + \frac{m}{2}\cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{m}{2}\cos(\omega_0 - \Omega)t\right].$$

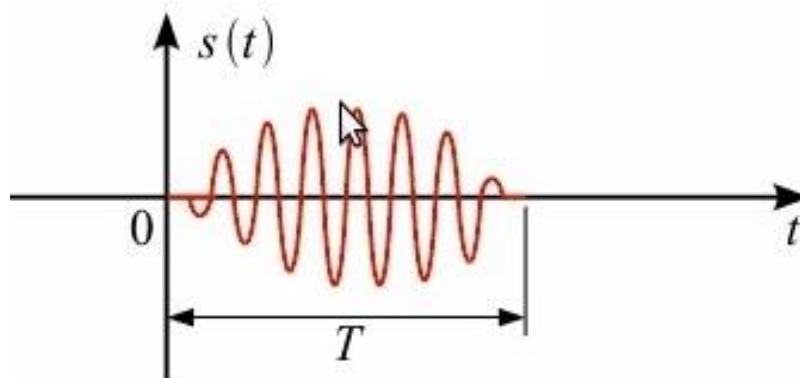


Рис. 1

Очевидно, для формування такого сигналу необхідно використовувати або три генератора синусоїдальних напруг з частотою $\omega_0, \omega_0 + \Omega, \omega_0 - \Omega$ або нелінійний помножувач. Застосовуючи ефект биття, щоб отримати сигнал $s(t)$ необхідної форми необхідно використовувати чотири генератори синусоїдальних напруг.

Недоліками цих способів є низький коефіцієнт корисної дії (ККД) пристрою, складність реалізації нелінійного помножувача та несинусоїдальність вихідної напруги генераторів, що негативно позначається на результуючому сигналі $s(t)$.

Для формування потужних зондувальних сигналів використовують силові перетворювачі в ключовому режимі роботи.

При цьому зондувальний сигнал може бути сформований на основі широтно-імпульсної модуляції з подальшою фільтрацією.

Досить просто такий спосіб реалізується за допомогою мостового інвертора. Для цього була розроблена Matlab Simulink-модель мостового інвертора з ШІМ.

При різних способах керування (симетричне, несиметричне, почергове керування і т.д.) отримується однополярна, двополярна або двополярна з нульовими паузами напруга і т.д.

З урахуванням необхідності подальшої фільтрації доцільно формувати двополярну напругу з нульовими паузами [4].

Для виділення зондувального сигналу $s(t)$ (рис.2) послідовний LC-фільтр налаштовується на резонансну частоту ω_0 .

При використанні різних способів керування змінюється спектральний склад вихідної напруги, що впливає на форму обвідної зондувального сигналу $s(t)$.

В ідеальному випадку необхідно отримати спектр, що складається з трьох гармонік частотою:

$$\omega_0, \omega_0 + \Omega, \omega_0 - \Omega$$

В реальному ж випадку в спектрі присутні вищі гармоніки, що, звичайно, спотворює форму зондувальної напруги.

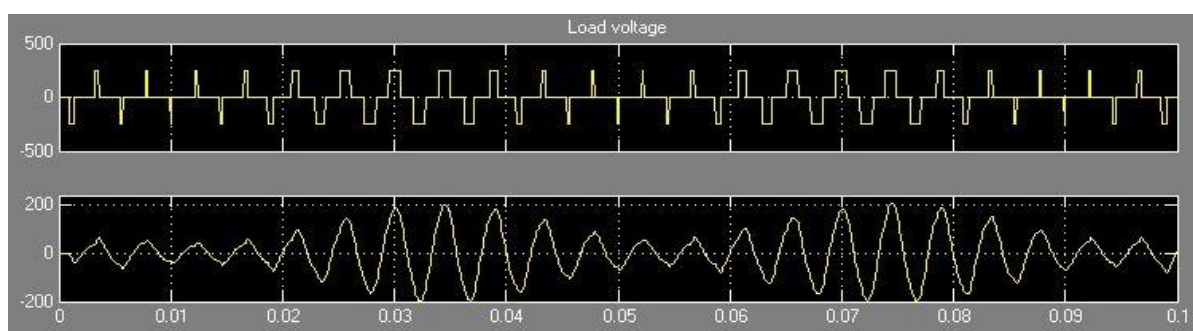


Рис. 2

На рис. 3. зображено спектр отриманої напруги. Як видно з графіку, найбільший вклад вносять гармоніки з частотою $\omega_0, \omega_0 + \Omega, \omega_0 - \Omega$, відповідно 100%, 47% і 45%.



Рис. 3

Інші гармоніки мають амплітуду менше 3 %, окрім гармоніки з частотою $3\omega_0$. Перевагами мостового інвертора з ШІМ є підвищення ККД, простота реалізації.

До недоліків слід віднести спотворення форми вихідного сигналу $s(t)$ через наявність вищих гармонік.

Висновки

Формування зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу можливе на основі: амплітудно-імпульсної модуляції, биття або широтно-імпульсної модуляції з подальшою фільтрацією.

При формуванні зондувального сигналу за допомогою АІМ або биття система містить 3–4 генератора синусоїдальних напруг, що обмежує застосування цих методів.

Доцільно формувати зондувальну напругу для пристроїв ЯМР за допомогою мостового інвертора напруги з ШІМ.

Система має значно вищий ККД, однак через наявність вищих гармонік в спектрі вихідного сигналу спотворюється його форма.

Список використаної літератури:

1. Фаррар Т., Беккер Э. Импульсная и Фурье спектроскопия ЯМР. – М.: Мир, 1973.
2. Джафаров И. С., Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф. Применение метода ядерного магнитного резонанса для характеристики состава и распределения пластовых флюидов. – М.: Химия, 2002.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2000.
4. Ю. П. Гончаров, О. В. Буденный, В. Г. Морозов, Преобразовательная техника. Учебник Ч2. – Харьков: Фолио, 2000 г.

Referenses:

1. Ferar T. Bekker E. Impulsnaya i Fourier spektroskopiya – М.: World, 1973.
2. Dzhafarov I. S. Syngaevskiy P.E., Hafizov S.F. Джафаров И. С., Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф. Primenenie metoda yadernogo magnitnogo rezonansa dla harakteristiki sostava I raspredeleniya plastovykh flyuidov – М.: Chemistry, 2002.
3. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki Electric chains. – М.: Gardariki, 2000.
4. Yu. P. Goncharov, O. V. Budeny, V. G. Morozov. Ю. П. Гончаров, О. В. Буденный, В. Г. Морозов, Preobrazovatel'naya tehnika. Uchebник Ch.2. – Kharkov: Folio, 2000 г.

Прийнята до друку 21.12. 2019

Федюшко Александр Юрьевич, канд. тех. наук

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко, ул. Алчевских, 44, г. Харьков, Украина, 61002

Тел.+38 (050) 4 02 62 12; E-mail: tte_nniekt @ ukr.net

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА С СИСТЕМОЙ ФАЗОВОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

Обеспечение населения плодовой продукцией определяется не только уровнем производства, но и эффективной организацией хранения. Практический опыт показывает, что для хранения плодово-ягодной продукции широкое распространение получил метод хранения плодов в холодильных камерах с регулируемой газовой средой. Существенным недостатком газовой среды является то, что значительная доля потерь плодов (до 30 %) в период хранения, приходится на поражение их физиологическими расстройствами и болезнями (плесень, грибки, споровые бактерии. В связи с чем возникает необходимость в разработке новых, более доступных и менее затратных технологий хранения на основе применения электромагнитных излучений. В статье исследованы флуктуационные процессы в системе ФАПЧ генератора с определением её основных параметров. Теоретический анализ показал, что для уничтожения микроорганизмов на поверхности яблок следует проводить с использованием электромагнитного излучения в диапазоне частот 73–77 ГГц, экспозицией 60–80 с., мощностью 650–750 МВт и относительной нестабильностью частоты 10^{-7} – 10^{-8} . Анализ полученных данных показал, что однокольцевая схема ФАПЧ не может быть использована для создания стабильного по частоте генератора перестраиваемого в диапазоне частот миллиметрового диапазона с коэффициентом умножения 1500 единиц. Для анализа флуктуационных характеристик выходного сигнала генератора предложено математическое описание процесса синхронизации частоты синхронизируемого генератора для однокольцевой системы ФАПЧ.

Ключевые слова: электромагнитное излучение; крайневысокочастотный диапазон; дисперсия фазы колебаний; параметры системы ФАПЧ.

Федюшко Олександр Юрійович, канд. тех. наук

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенко, вул. Алчевських, 44, г. Харків, Україна, 61002

Тел. + 38 (050) 4 02 62 12; E-mail: tte_nniekt @ ukr.net

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА З СИСТЕМОЮ ФАЗОВОГО ПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ

Забезпечення населення плодовою продукцією визначається не тільки рівнем виробництва, а й ефективною організацією зберігання. Практичний досвід показує, що для зберігання плодово-ягідної продукції широкого поширення набув метод зберігання плодів в холодильних камерах з регульованим газовим середовищем. Істотним недоліком газового середовища є те, що значна частка втрат плодів (до 30%) в період зберігання, доводиться на поразку їх фізіологічними розладами і хворобами (цвіль, грибки, спорові бактерії). У зв'язку з цим виникає необхідність в розробці нових, більш доступних і менш витратних технологій зберігання на основі застосування електромагнітних випромінювань. У статті досліджено флуктуаційні процеси в системі ФАПЧ генератора з визначенням їх основних параметрів. Теоретичний аналіз показав, що для знищення мікроорганізмів на поверхні яблук слід проводити заходи з використанням електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 73-77 ГГц, експозицією 60-80 с., потужністю 650-750 МВт і відносною нестабільністю частоти 10^{-7} - 10^{-8} . Аналіз отриманих даних показав, що однокільцева схема ФАПЧ не може бути використана для створення стабільного за частотою генератора та перебудовується в діапазоні частот міліметрового діапазону з коефіцієнтом множення 1500 одиниць. Для аналізу флуктуаційних характеристик вихідного сигналу генератора запропоновано математичний опис процесу синхронізації частоти, який потрібно синхронізувати з генератором для однокільцевої системи ФАПЧ.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання; крайній високочастотний діапазон; дисперсія фази коливань; параметри системи ФАПЧ.

Fedyushko Alexander Yuryevich, candidate of technical sciences

Kharkov National Technical University agriculture them. P. Vasilenko, str. Alchevskikh, 44, Kharkiv, Ukraine, 61002

Tel. + 38 (050) 4 02 62 12; E-mail: tte_nniekt @ ukr.net

THEORETICAL RESEARCH OF THE PARAMETERS OF THE GENERATOR WITH THE SYSTEM PHASE FREQUENCY ADJUSTMENT

Providing the population with fruit products is determined not only by the level of production, but also by the effective organization of storage. Practical experience shows that for storing fruit and berry products, the method of storing fruits in cold rooms with a controlled gas environment has become widespread. A significant drawback of the gas environment is that a significant proportion of fruit loss (up to 30%) during storage is due to their defeat by physiological disorders and diseases (mold, fungi, spore-forming bacteria. Therefore, there is a need to develop new, more affordable and less costly storage technologies based on the use of electromagnetic radiation. The article studies the fluctuation processes in the PLL system of the generator with the definition of its main parameters. It is shown that for the destruction of microorganisms on the surface of apples, it should be carried out using electromagnetic radiation in the frequency range 73–77 GHz, exposure time 60–80 s, power 650–750 MW and relative frequency instability 10⁻⁷–10⁻⁸. The data showed that a single-ring PLL cannot be used to create a frequency-stable oscillator tunable in the frequency range of the millimeter range with a multiplication factor of 1500 units. To analyze the fluctuation characteristics of the generator output signal, a mathematical description of the frequency synchronization process of the synchronized generator for a single-loop PLL system is proposed.

Keywords: *graine of mulberry silkworm; electromagnetic radiation; range of high-purity; dispersion of phase vibrations; parameters of the system phase tuning frequency.*

Введение

Обеспечение населения плодовой продукцией определяется не только уровнем производства, но и эффективной организацией хранения.

Практический опыт показывает, что для хранения плодово-ягодной продукции широкое распространение получил метод хранения плодов в холодильных камерах с регулируемой газовой средой (РГС) [1]. Существенным недостатком газовой среды является то, что значительная доля потерь плодов (до 30 %) в период хранения, приходится на поражение их физиологическими расстройствами и болезнями (плесень, грибки, споровые бактерии и др.) [1, 2]. В связи с чем возникает необходимость в разработке новых, более доступных и менее затратных технологий хранения на основе применения электромагнитных излучений [3]. Применение таких технологий требует проведения как теоретических исследований по определению биотропных параметров ЭМП, так и создания высокостабильных по частоте генераторов в коротковолновой области миллиметрового диапазона для облучения яблок в процессе их длительного хранения [2].

Из литературных источников следует, что создание высокостабильных по частоте источников ЭМ излучения в коротковолновой части миллиметрового диапазона является довольно сложной научно-технической задачей [3].

В настоящее время существующие полупроводниковые приборы позволяют создавать высокостабильные, перестраиваемые по частоте генераторы миллиметрового диапазона, у которых СВЧ часть построена на основе фазовой перестройки частоты (ФАПЧ).

Цель и задачи исследования

Целью настоящей статьи являются исследования флуктуационных процессов в системе ФАПЧ генератора с определением её основных параметров.

Основная часть

Теоретический анализ показал, что для уничтожения микроорганизмов на поверхности яблок следует проводить с использованием электромагнитного излучения в диапазоне частот 73–77 ГГц, экспозицией 60–80 с., мощностью 650–750 МВт и относительной нестабильностью частоты 10⁻⁷–10⁻⁸.

Анализ серийно выпускаемой аппаратуры в миллиметровом диапазоне длин волн показал, что эта аппаратура не удовлетворяет требованиям для уничтожения микроорганизмов на поверхности яблок [4, 5].

Создание стабилизированного по частоте источника, перестраиваемого в диапазоне частот 73–77 ГГц, является трудной научно-технической задачей [6]. Как показал анализ, эту задачу можно решить на основе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) автогенератора по частоте кварцевого генератора.

Решение задачи, связанное с определением структурной схемы высокостабильного электромагнитного источника в диапазоне частот на основе ФАПЧ, сводится к определению элементов системы переноса спектра от кварцевого генератора в миллиметровый диапазон [7, 8].

Применение системы ФАПЧ позволит обеспечить требуемое отношение сигнал/шум на выходе генератора при минимальном значении дисперсии фазы выходного сигнала [8].

Функциональная схема с одним кольцом ФАПЧ показана на рис. 1 [7].

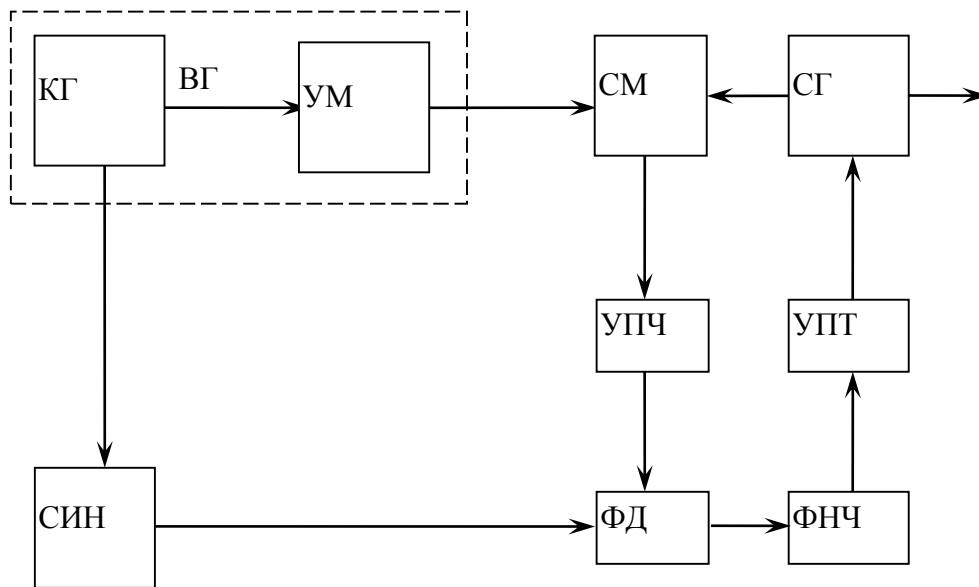


Рис. 1. Схема высокостабильного по частоте генератора с однокольцевой системой ФАПЧ

В схеме (рис. 1) напряжение синхронизируемого генератора (СГ) высокостабильного генератора (ВГ) преобразуются в смесителе (СМ) на промежуточную фазу. На фазовый детектор (ФД) поступает напряжение синтезатора (СИН) и напряжение промежуточной фазы сигнала. При наличии фазового рассогласования между этими напряжениями на выходе ФД появляется управляющее напряжение, которое через фильтр нижних частот (ФНЧ) и усилитель постоянного тока (УПТ) изменяет частоту стабилизируемого генератора. В результате работы системы автоподстройки фаза преобразованного смесителем сигнала поддерживается равной фазе синтезатора. Частота синхронизируемого генератора $\omega_{СГ}$ при этом равна разности частот кварцевого генератора с выхода умножителя (УМ) и синтезатора, то есть $\omega_{СГ} = N \omega_{КГ} - \omega_{СИН}$.

Выходным напряжением системы является напряжение синхронизируемого генератора. Перестройка его частоты осуществляется изменением частоты синтезатора. Величина последней выбирается значительно меньшей, чем частота высокостабильного генератора.

Поэтому относительная нестабильность частоты сформированных системой колебаний определяется в основном нестабильностью частоты кварцевого генератора и умножителя.

Для анализа флуктуационных характеристик выходного сигнала генератора найдем математическое описание процесса синхронизации частоты генератора в схеме, изображенной на рис. 1 [7,9]. В данной схеме на смеситель поступают напряжения от высокостабильного генератора (ВГ) и синхронизируемого генератора:

$$\begin{aligned} U_{ВГ}(t) &= U_{ВГ} \sin \varphi_{ВГ}(t); \\ U_{СГ}(t) &= U_{СГ} \sin \varphi_{СГ}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где:

- $\omega_{ВГ}(t) = \varphi_{ОВГ} + \int_0^t \omega_{ВГ}(t) dt$;
- $\varphi_{ОВГ}$ – начальная фаза высокостабильного генератора;
- $\omega_{ВГ}(t)$ – частота высокостабильного генератора;
- $\omega_{СГ}(t) = \varphi_{ОСГ} + \int_0^t \omega_{СГ}(t) dt$ – фаза синхронизируемого генератора.

На выходе смесителя формируется напряжение, зависящее от разности фаз, которая равна:

$$\varphi_{ИР}(t) = \varphi_{ВГ}(t) - \varphi_{СГ}(t) \quad (2)$$

Напряжение от усилителя промежуточной частоты и синтезатора подаются на вход фазового детектора (ФД), на выходе которого разность фаз $\varphi(t)$ равна:

$$\varphi(t) = \varphi_{ИР}(t) - \varphi_{СИН}(t). \quad (3)$$

Равенство (3) справедливо в том случае, если полоса пропускания УПЧ значительно превышает полосу пропускания ФНЧ [10].

Управляющее напряжение $U_{\varphi}(t)$, снимаемое с фильтра низкой частоты (ФНЧ), связано с напряжением на выходе фазового детектора $U_{Д}(t)$ с помощью линейного дифференциального оператора $K_{\varphi}(p)$:

$$U_{\varphi}(t) = K_{\varphi}(p) \cdot U_{Д}(t) \quad (4)$$

Структурная схема ФАПЧ, поведение которой описывается уравнениями (1)–(4), приведена на рис. 2.

В данной схеме блок 1/p отображает операцию интегрирования, соответствующую интегралу $\int_0^t \omega_{СГ}(t) dt$, а Sy является крутизной регулировочной характеристики синхронизируемого генератора; КУ(p), КУПТ, КСГ – коэффициенты передачи УПЧ, УПТ и СГ.

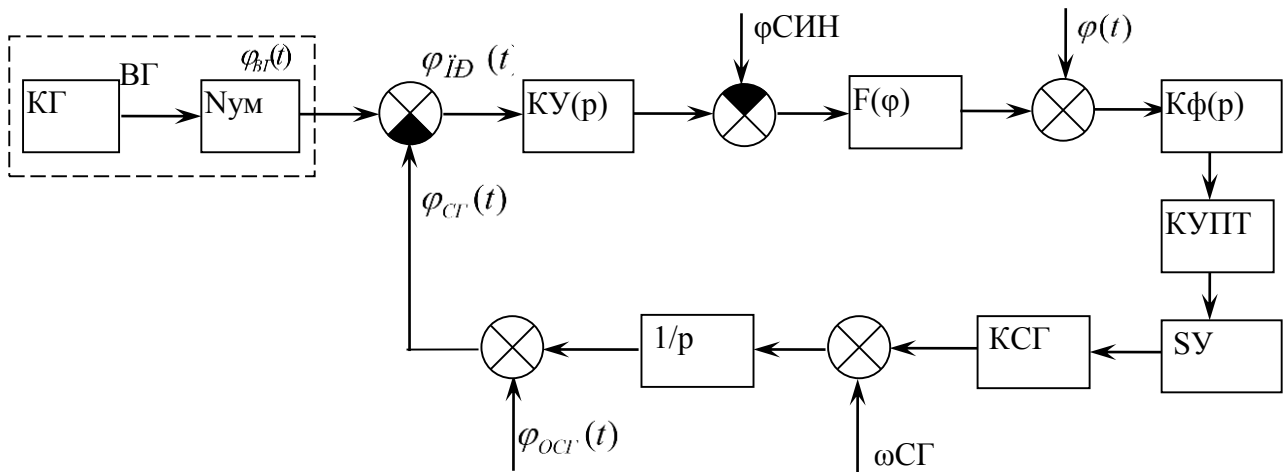


Рис. 2. Структурная однокольцевая схема ФАПЧ

Из рассмотрения структурной схемы (рис. 2) следует, что показатели системы преобразования частоты всецело определяются показателями ФАПЧ: полосами схватывания и удержания, устойчивостью, фильтрующей способностью, числом колец ФАПЧ.

На характеристики ФАПЧ оказывают большое влияние: коэффициент умножения частоты Нумн, запаздывание в трактах усилителя, умножителя и синтезатора частот, применение пропорционально-интегрирующего фильтра после фазового детектора. В реальных схемах указанные особенности обуславливают высокий порядок нелинейного дифференциального уравнения, точно описывающего поведение подобной системы, и сложность его исследования. Строгое исследование нелинейного дифференциального стохастического уравнения с переменными коэффициентами и случайными воздействиями представляют собой практически неразрешимую задачу [10, 11]. При малых случайных воздействиях, когда нелинейными свойствами ФАПЧ можно пренебречь, анализ может быть проведен с помощью метода линеаризации [8, 11].

Считая, что система ФАПЧ находится в состоянии синхронизма, запишем мгновенную разность фаз сигналов на входах фазового детектора следующим образом:

$$\varphi(t) = \bar{\varphi} + \Delta\varphi(t), \tag{5}$$

где:

- $\bar{\varphi}$ – среднее значение разности фаз;
- $\Delta\varphi(t)$ - отклонение мгновенной разности фаз от среднего значения под действием помех.

Разлагая нелинейную характеристику ФД в ряд Тейлора вокруг точки, соответствующей среднему значению фазы, и ограничиваясь линейными членами разложения, напряжение на выходе ФД можно представить следующим образом:

$$U_{\varphi Д}(t) = U_{\varphi Д \max} \cos \bar{\varphi} + U_{\varphi Д \max} |\sin \bar{\varphi}| \Delta\varphi(t) + U_{\varphi Д \max} \cos \bar{\varphi} [\varepsilon_{ВГ}(t) + \varepsilon_{СГ}(t)], \tag{6}$$

где:

- $U_{\varphi Д \max} = K_{Д} U_{ВГ} U_{СГ}$; $K_{Д}$ – коэффициент детектирования.

В выражении (6) первый член представляет собой постоянную составляющую, компенсирующую начальную расстройку генераторов по частоте, второй член – переменную составляющую, пропорциональную мгновенному отклонению разности фаз от ее стационарного значения, а третий член – паразитную амплитудную модуляцию выходного сигнала ФД, обусловленную вариациями амплитуд входных сигналов. Последняя составляющая приводит к паразитной фазовой модуляции СГ. Из выражения (6) следует, что при малых отклонениях фазы от среднего значения $\bar{\varphi}$ приращение напряжения на выходе ФД будет определяться следующим выражением [11]:

$$\Delta U_{\text{ФД}} = K_{\text{ФД}} \Delta \varphi, \quad (7)$$

где:

$K_{\text{ФД}} = -K_{\text{Д}} \sin \bar{\varphi}$ – коэффициент передачи ФД, в лучшем случае равный 1.

Если учесть инерционность выпрямителей, то передаточная функция ФД будет определяться выражением:

$$K_{\text{ФД}}(p) = \frac{K_{\text{ФД}}}{1 + pT_{\text{ФД}}}, \quad (8)$$

где:

- $T_{\text{ФД}} = 4C_{\text{н}}(R_{\text{н}} + R_{\text{i}})$ – постоянная времени ФД;
- R_{i} – внутреннее сопротивление диода.

Полагая, что все запаздывание сосредоточено в УПЧ, и линеаризуя характеристику фазового детектора вблизи точки равновесия, можно процессы в системе с ФАПЧ описать с помощью линейного операторного уравнения [12–14]:

$$p\varphi + \Omega_{\text{y}}K(p)F(\varphi) = \Omega_{\text{н}}, \quad (9)$$

где:

- φ – мгновенная разность фаз на выходе фазового детектора;
- Ω_{y} – полоса удержания системы ФАПЧ;
- $\Omega_{\text{н}}$ – начальная круговая расстройка;
- $K(p)$ – коэффициент передачи разомкнутой системы в операторной форме.

Для анализа данной линейной системы можно использовать хорошо разработанные методы из теории автоматического регулирования [12].

Оптимальные параметры схемы генератора КВЧ диапазона определяются по критерию минимума дисперсии частоты (фазы) колебаний выходного сигнала синхронизируемого генератора с учетом характерных особенностей спектров всех элементов схемы [10, 12, 13]:

$$\sigma_{\varphi_0}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S_{\varphi_0}(\Omega) \frac{1}{1 + (0,5\Omega\tau)^2} d\Omega, \quad (10)$$

где:

- $S_{\varphi_0}(\Omega)$ – энергетический спектр изменения частоты выхода стабилизируемого генератора;
- τ – интервал времени измерения;
- $\sigma_{\varphi_0}^2$ – дисперсия отклонений частоты стабилизируемого генератора.

С целью определения спектральной мощности (СПМ) $S_{\varphi_0}(\Omega)$ рассмотрим фильтрующее действие ФАПЧ на спектр выходного колебания, полагая, что в качестве фильтра низких частот используем пропорционально-интегрирующий фильтр с функцией передачи [13].

$$K(p) = \frac{(1 + pT_2)(1 + pT_3)}{(1 + pT_1)(1 + pT_4)}, \quad (11)$$

где:

- T_1, T_2, T_3, T_4 – постоянные времени фильтра.

Схема пропорционально-интегрирующего фильтра приведена на рис. 3.

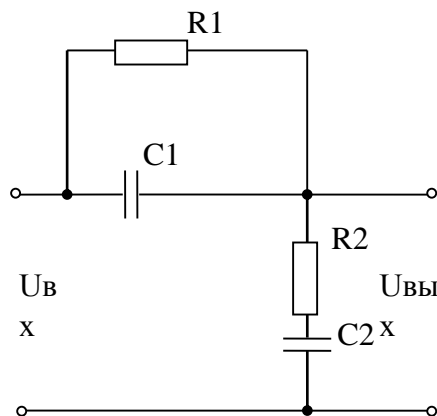


Рис. 3. Схема пропорционально-интегрирующего фильтра

В данной схеме $T_1 = R_1C_1 + (R_1 + R_2)C_2$, $T_2 = R_2C_2$, $T_3 = R_1C_1$, $T_4 = \frac{R_1C_1R_2}{R_1 + R_2}$, $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$, $C_2 > C_1$ и $R_1 > R_2$.

$S_{\varphi_0}(\Omega)$ может быть представлено выражением [8]:

$$S_{\varphi_0}(\Omega) = S_{\varphi_{CG}}(\Omega) \left| \frac{1}{1 + W_p(j\Omega)} \right|^2 + S_{\varphi_{ПИЧ}}(\Omega) \left| \frac{W(j\Omega)}{1 + W_p(j\Omega)} \right|^2, \quad (12)$$

где:

- $S_{\varphi_{CG}}(\Omega)$ – энергетический спектр синхронизируемого генератора;

- $S_{\phi СПЧ}(\Omega)$ – энергетический спектр всех источников флуктуаций, считая, что они некоррелированы между собой;
- $W_p(j\Omega)$ – передаточная функция разомкнутой системы ФАПЧ.

С целью упрощения математических выкладок пренебрежением запаздыванием в трактах умножителя и УПЧ, и будем считать коэффициенты передачи всех звеньев, кроме УПЧ, ФД и ФНЧ, независимыми от частоты в полосе пропускания системы. Кроме того, пренебрежем влиянием ветви синтезатора на передаточную функцию системы и ограничимся учетом собственных шумов синхронизируемого генератора и высокостабильного генератора (ВГ).

Из рассмотрения структурной схемы (рис. 2) следует, что передаточная функция разомкнутой системы будет определяться выражением [8, 9]:

$$\begin{aligned}
 W_{\delta}(j\Omega) &= \frac{\Omega_{\delta\ddot{A}} [1 + (j\Omega)T_2] [1 + (j\Omega)T_3]}{\{ [1 + (j\Omega)\dot{\delta}_0] [1 + (j\Omega)\dot{\delta}_{\ddot{A}}] [1 + (j\Omega)T_1] [1 + (j\Omega)T_4] \} j\Omega} = \\
 &= \Omega_{\delta\ddot{A}} [1 + (j\Omega)T_2] [1 + (j\Omega)T_3] \{ [1 + j\Omega(\dot{\delta}_0 + \dot{\delta}_{\ddot{A}} + \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_4) + \\
 &+ (j\Omega)^2(\dot{\delta}_1\dot{\delta}_0 + \dot{\delta}_0\dot{\delta}_{\ddot{A}} + \dot{\delta}_{\ddot{A}}\dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_0\dot{\delta}_4 + \dot{\delta}_0\dot{\delta}_4 + \dot{\delta}_1\dot{\delta}_4) + \\
 &+ (j\Omega)^3(\dot{\delta}_0\dot{\delta}_{\ddot{A}}\dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_1\dot{\delta}_0\dot{\delta}_4 + \dot{\delta}_0\dot{\delta}_{\ddot{A}}\dot{\delta}_4 + T_{\delta\ddot{A}}\dot{\delta}_1\dot{\delta}_4) + (j\Omega)^4(\dot{\delta}_0\dot{\delta}_{\ddot{A}}\dot{\delta}_1\dot{\delta}_4) \} j\Omega \}^{-1}, \quad (13)
 \end{aligned}$$

где:

- $\Omega_{уд} = K_y \cdot K_{\phi д} \cdot K_{УПЧ} \cdot K_{СГ} \cdot S_y$ – полоса удержания системы ФАПЧ.

Тогда, в соответствии с (12), энергетический спектр синхронизируемого генератора будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 S_{\phi_0}(\Omega) &= S_{\phi СГ}(\Omega) \left| \left\{ [1 + j\Omega(T_y + T_{\phi д} + T_1 + T_4) + \right. \right. \\
 &+ (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\phi д} + T_{\phi д}T_1 + T_yT_4 + T_{\phi д}T_4 + T_1T_4) + \\
 &+ (j\Omega)^3(T_yT_{\phi д}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\phi д}T_4 + T_{\phi д}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\phi д}T_1T_4) \left. \right\} j\Omega \left. \right|^2 \times \\
 &\left| \left\{ [1 + j\Omega(T_y + T_{\phi д} + T_1 + T_4) + (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\phi д} + T_{\phi д}T_1 + T_yT_4 + T_{\phi д}T_4 + T_1T_4) + \right. \right. \\
 &+ (j\Omega)^3(T_yT_{\phi д}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\phi д}T_4 + T_{\phi д}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\phi д}T_1T_4) \left. \right\} j\Omega + \\
 &\Omega_{уд} [1 + (j\Omega)T_2] [1 + (j\Omega)T_3] \left. \right|^{-2} + \quad (14) \\
 S_{\phi ВГ}(\Omega) &\left\{ \left| \Omega_{уд} (1 + j\Omega T_2)(1 + j\Omega T_3) \right|^2 \times \left| [1 + j\Omega(T_y + T_{\phi д} + T_1 + T_4) + \right. \right. \\
 &(j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\phi д} + T_{\phi д}T_1 + T_yT_4 + T_{\phi д}T_4 + T_1T_4) + \\
 &+ (j\Omega)^3(T_yT_{\phi д}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\phi д}T_4 + T_{\phi д}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\phi д}T_1T_4) \left. \right\} j\Omega + \\
 &\Omega_{уд} [1 + j\Omega T_2] [1 + j\Omega T_3] \left. \right|^{-2} \left. \right\}
 \end{aligned}$$

Согласно [8,9,11] СПМ флуктуаций высокостабильного генератора (ВГ) состоит из кварцевого генератора и маломушьящего умножителя частоты.

Кварцевый генератор состоит из возбуждателя, в котором в качестве селективного элемента используется кварцевый резонатор, и буферного усилителя, предназначенного для развязки и усиления выходного сигнала кварцевого генератора. В кварцевом генераторе частота зависит от уровня мощности, рассеиваемой на кварцевом резонаторе, причем изменения частоты растут при увеличении этой мощности. Поэтому генератор выдаёт сигнал малой мощности (десятки мкВт), который затем усиливается с помощью буферного усилителя. СПМ флуктуаций высокостабильного генератора (ВГ) может быть приближенно описана следующим выражением [8, 9]:

$$S_{\varphi_{ВГ}}(\Omega) = \left(\frac{A_1}{\Omega} + A_2 \Omega^2 \right) N^2, \quad (15)$$

где:

- A_1 – коэффициент, характеризующий действие фликкер-шумов, он равен 10-10 Гц²;
- A_2 – коэффициент, характеризующий действие аддитивного шума и равный 10-13 Гц⁻¹.

Спектральная плотность флуктуаций фазы синхронизированного генератора приближенно может быть описана следующим выражением [8]:

$$S_{\varphi_{СГ}}(\Omega) = \frac{\alpha_{СГ}}{\Omega^{\alpha+2}}, \quad (16)$$

где:

- $\alpha_{СГ}$ – коэффициент, характеризующий уровень шума синхронизируемого генератора, зависящий от режима работы активных элементов генератора и нагруженной добротности колебательной системы;
- α – коэффициент, учитывающий частотную зависимость шума.

С целью упрощения дисперсии полагаем $\alpha \approx 2$. Тогда, выражение для спектральной плотности фазовых флуктуаций синхронизируемого генератора может быть записано в виде:

$$S_{\varphi_{СГ}}(\Omega) = \frac{\alpha_{СГ}}{\Omega^4}, \quad (17)$$

А спектральная плотность частотных флуктуаций будет иметь следующее выражение [8]:

$$S_{\varphi_{СГ}}(\Omega) = \frac{\alpha_{СГ}}{\Omega^2}, \quad (18)$$

где:

- $\alpha_{СГ} = 10^{-4}$ Гц³.

Для оценки возможной минимальной дисперсии фазы (частоты) однокольцевой системы ФАПЧ определим максимальное и минимальное возможное значение полосы удержания.

Максимально возможное значение полосы удержания будет определяться значением постоянной времени усилителя промежуточной частоты T_v из условия устойчивости системы:

$$\Omega_{уд} < \frac{1}{2\pi T_v}, \quad (19)$$

Постоянную времени усилителя промежуточной частоты T_v можно определить из выражения [9]:

$$T_v = n \cdot \frac{\alpha_\Delta}{\pi} \cdot \frac{1}{\Delta f}, \quad (20)$$

Где

- n – число каскадов;
- α_Δ – функция, зависящая от типа каскадов усилителя;
- Δf – полоса пропускания усилителя. Обычно $n \geq 3$, $\alpha_\Delta = 1..2$.

Полагая $\Delta f = 1$ МГц, величина T_v будет равна:

$$T_v = 3 \cdot \frac{1}{3,14} \cdot \frac{1}{10^6} \approx 10^{-6} \text{ с,}$$

$\Omega_{уд}$ будет меньше $0,1 \cdot 10^6$ рад. Минимально допустимое значение $\Omega_{уд}$ будет определяться полосой схватывания (F_{CX}) ФАПЧ:

$$\Omega_{уд} > 2\pi F_{CX}, \quad (21)$$

где $F_{CX} \geq (\delta_{КГ} + \delta_{СГ}) \cdot N \cdot f_{КГ}$.

Положим $f_{КГ} = 50$ МГц, $N = \frac{f_{\max}}{f_{КГ}} = \frac{76,5}{0,05} \approx 1530$; $\delta_{КГ} \approx 10^{-10}$; $\delta_{СГ} = 10^{-8}$ при $\tau_u = 100$ с. При таких данных $F_{CX} \geq 7,65 \cdot 10^2$ Гц, а $\Omega_{уд} > 48,04 \cdot 10^2$ рад. Следовательно, $\Omega_{уд}$ лежит в пределах:

$$5 \cdot 10^3 \text{ рад} < \Omega_{уд} < 0,1 \cdot 10^6 \text{ рад} \quad (22)$$

Анализ систем с ФАПЧ показывает, что чем меньше полоса удержания, тем больше запас устойчивости системы [8].

Подставляя (15) и (18) в (14), получим энергетический спектр на выходе синхронизируемого генератора в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 S_{\varphi_0}(\Omega) = & \frac{\alpha_{CF}}{\Omega^2} \left| \left\{ \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\PhiД} + T_1 + T_4) + \right. \right. \right. \\
 & + (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\PhiД} + T_{\PhiД}T_1 + T_yT_4 + T_{\PhiД}T_4 + T_1T_4) + \\
 & \left. \left. \left. + (j\Omega)^3(T_yT_{\PhiД}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\PhiД}T_4 + T_{\PhiД}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\PhiД}T_1T_4) \right] j\Omega \right\} \right|^2 \times \\
 & \left| \left\{ \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\PhiД} + T_1 + T_4) + (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\PhiД} + T_{\PhiД}T_1 + T_yT_4 + T_{\PhiД}T_4 + T_1T_4) + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + (j\Omega)^3(T_yT_{\PhiД}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\PhiД}T_4 + T_{\PhiД}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\PhiД}T_1T_4) \right] j\Omega + \right. \right. \\
 & \left. \left. \Omega_{уд} \left[1 + (j\Omega)T_2 \right] \left[1 + (j\Omega)T_3 \right] \right|^{-2} + \right. \\
 & \left. \left(\frac{A_1}{\Omega} + A_2\Omega^2 \right) N^2 \left\{ \left| \Omega_{уд} (1 + j\Omega T_2)(1 + j\Omega T_3) \right|^2 \times \left| \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\PhiД} + T_1 + T_4) + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\PhiД} + T_{\PhiД}T_1 + T_yT_4 + T_{\PhiД}T_4 + T_1T_4) + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + (j\Omega)^3(T_yT_{\PhiД}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\PhiД}T_4 + T_{\PhiД}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\PhiД}T_1T_4) \right] j\Omega + \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. \Omega_{уд} (1 + j\Omega T_2)(1 + j\Omega T_3) \right|^{-2} \right\}.
 \end{aligned} \tag{23}$$

Для определения оптимальных параметров пропорционально-интегрирующего фильтра используем частотные показатели, которые определяются по квадрату модуля коэффициента передачи замкнутой системы [8, 9]:

$$|W_3|^2 = \left| \frac{W_p(j\Omega)}{1 + W_p(j\Omega)} \right|^2, \tag{24}$$

где:

- $W_p(j\Omega)$ – коэффициент передачи разомкнутой системы.

Квадрат модуля замкнутой системы ФАПЧ (рис.2) будет определяться выражением:

$$\begin{aligned}
 |W_3(j\Omega)|^2 = & \left| \Omega_{уд} (1 + j\Omega T_2)(1 + j\Omega T_3) \right|^2 \times \left| \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\PhiД} + T_1 + T_4) + \right. \right. \\
 & \left. \left. (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\PhiД} + T_{\PhiД}T_1 + T_yT_4 + T_{\PhiД}T_4 + T_1T_4) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + (j\Omega)^3(T_yT_{\PhiД}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\PhiД}T_4 + T_{\PhiД}T_1T_4) + (j\Omega)^4(T_yT_{\PhiД}T_1T_4) \right] j\Omega + \right. \\
 & \left. \left. \Omega_{уд} (1 + j\Omega T_2)(1 + j\Omega T_3) \right|^{-2}.
 \end{aligned} \tag{25}$$

Зависимость квадрата модуля замкнутой системы от частоты при различных параметрах пропорционально-интегрирующего фильтра приведена на рис. 4.

При выборе постоянной фильтра T_2 надо стремиться к тому, чтобы выполнялось

$$T_1 > \frac{1}{\Delta\Omega_{ФАПЧ}},$$

соотношение, где $\Delta\Omega_{ФАПЧ}$ – полоса пропускания системы. В этом случае не происходит ухудшения устойчивости системы при необходимой полосе пропускания $\Delta\Omega_{ФАПЧ} \geq \Omega_{уд}$.

Из рис. 4 следует, что оптимальными параметрами пропорционально-интегрирующего фильтра будут $T_1 = 10^{-2}$ с, $T_2 = 10^{-3}$ с, $T_3 = 10^{-4}$ с, $T_4 = 10^{-5}$ с при полосе пропускания системы $\Delta\Omega_{\text{ФАПЧ}} = 10^4$ рад.

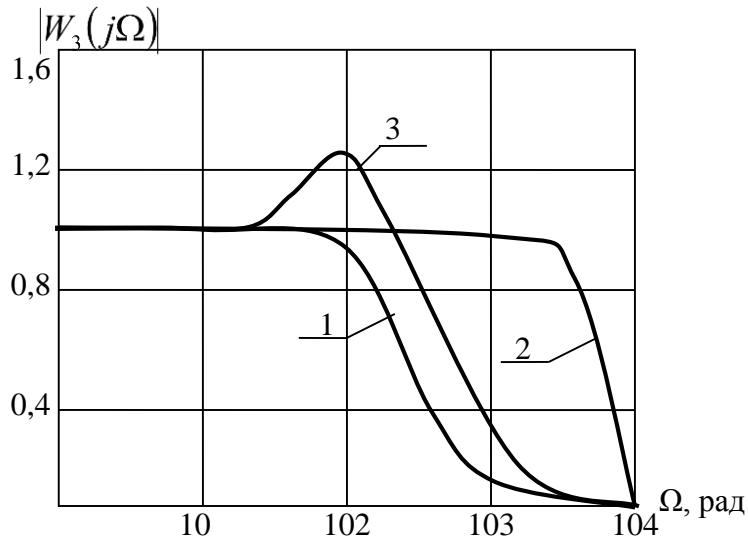


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы ФАПЧ:

- 1 – ТУ = 10-6 с; ТФД = 10-3 с; T1 = 10-3 с; T2 = 10-4 с; T3 = 10-5 с; T4 = 10-6 с; ΩУД = 104 рад;
- 2 – ТУ = 10-6 с; ТФД = 10-3 с; T1 = 10-2 с; T2 = 10-3 с; T3 = 10-4 с; T4 = 10-5 с; ΩУД = 104 рад;
- 3 – ТУ = 10-6 с; ТФД = 10-3 с; T1 = 10-1 с; T2 = 10-2 с; T3 = 10-3 с; T4 = 10-4 с; ΩУД = 104 рад;

С учетом полученных данных (ТУ = 10-6 с; ТФД = 10-3 с; T1 = 10-2 с; T2 = 10-3 с; T3 = 10-4 с; T4 = 10-5 с; ΩУД = 104 рад; N = 1530) относительная среднеквадратическая вариация частоты синхронизируемого генератора за интервал измерения τ_u будет определяться выражением [8]

$$\frac{\sigma(\langle \dot{\phi} \rangle \tau_u)_M}{\omega_{CT}} = \frac{1}{\omega_{CT}} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\dot{\phi}_0}(\Omega) \frac{1}{1 + (0,5\Omega\tau_u)^2} d\Omega}, \tag{26}$$

Анализ показывает, что интеграл в выражении (26) будет расходиться, поэтому пределы интегрирования необходимо ограничить: нижний предел – отношением $\frac{2}{T}$ (время измерения нестабильности частоты сигнала).

Если в течении времени T делится на M за время τ_u , то T будет равно $M\tau_u$.

Принимая $M = 20$ за время 10^{-3} с, нижний предел будет равен 10^2 рад.

Верхний предел интеграла в выражении (26) будет определяться полосой пропускания системы – 10^4 рад.

Численный анализ показал, что относительная нестабильность частоты синхронизируемого генератора для однокольцевой системы ФАПЧ составляет $3,1 \cdot 10^{-3}$ с, а отношение мощности сигнала к мощности шумов D_n / D_ϕ было равно (-5 дБ).

Анализ полученных данных показывает, что однокольцевая схема ФАПЧ не может быть использована для создания стабильного по частоте генератора, перестраиваемого в диапазоне частот миллиметрового диапазона с коэффициентом умножения 1500 единиц.

Эти результаты подтверждают известные положения о том, что при коэффициенте умножения $N \geq 1 \cdot 10^4$ спектр сигнала рассыпается [9]. Поэтому следует рассмотреть систему с двумя кольцами ФАПЧ.

Выводы

1. Численный анализ показал, что относительная нестабильность частоты синхронизируемого генератора для однокольцевой системы ФАПЧ составляет $3,1 \cdot 10^{-3}$ с, а отношение мощности сигнала к мощности шумов D_n / D_ϕ было равно (-5 дБ).
2. Анализ полученных данных показывает, что однокольцевая схема ФАПЧ не может быть использована для создания стабильного по частоте генератора, перестраиваемого в диапазоне частот миллиметрового диапазона с коэффициентом умножения 1500 единиц.

Список использованных источников:

1. Федюшко Ю. М. Анализ технологии хранения фруктоплодов /Ю. М. Федюшко, // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – 2016. – Вип. 175. – С. 160– 162.
2. Каширская Н. Я. Болезни семечковых культур/Н. Я. Каширская. - Мичуринск, 2 006. – 164 с.
3. Мансур М. Высокостабильные СВЧ генераторы для воздействия на личинную стадию вредных насекомых в сельскохозяйственном производстве / М. Мансур, А. Д. Черенков, Е. Л. Пиротти // Вестник национального технического университета «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ», 2002. – № 7. – С. 131–135
4. И. В. Лебедев. Техника и приборы СВЧ. Электроракумные приборы СВЧ / И. В. Лебедев. – М.: Высшая школа, 1972. – Т. II. – 376 с.
5. Касаткина Л. В. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн / Л. В. Касаткина, В. Е. Чайка. – Севастополь: Вебер, 2006. – 319 с.
6. Клейман А. С. Некоторые вопросы создания и применения широкодиапазонных КВЧ источников колебаний/ А. С. Клейман, П. А. Кравченко, А. Д. Черенков, Л. Ф. Кучин // Украинский метрологический журнал. –1999. – № 2. – С. 20 –23.
7. Черенков А. Д. Анализ методов построения источников КВЧ излучения с высокой стабильностью частоты / А. Д. Черенков, Н. П. Кунденко// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. –№ 2/8 (56). – С. 18– 22.

8. Кварцевые и квантовые меры частоты / [И. И. Акулов и др.] под ред. Б. И. Макаренко. – М.: МО СССР, 1976. – 409 с.
9. Черенков А. Д. Анализ флуктуационных характеристик двухкольцевой системы фазовой автоподстройки частоты стабилизируемого генератора/А. Д. Черенков, А. Е. Пиротти // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». –2004. – С.82–85.
10. Каганов В. И. Системы автоматического регулирования в радиопередатчиках/ В. И. Каганов. – М.: Связь,1969. –250 с.
11. Черенков А. Д. Теоретический анализ системы преобразования частоты в генераторах миллиметрового диапазона на основе фазовой автоподстройки частоты / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». –2013. – Вип. 141. – С. 107–111.
12. Норенков И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических систем и устройств/ И.П. Норенков. – М.: Высшая школа,1980. – 380 с.
13. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учеб. Для вузов по спец. «Радиоавтоматика». – М.: Высшая школа,1990. – 335 с.
14. Первачев С.В. Радиоавтоматика: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1982. – 296 с.

Referenses:

1. Fedyushko Ju. M. Analiz of tekhnologii khraneniya fruktoplodov /Yu. M. Fedyushko, // Announcer of the Kharkiv national technical university of agriculture the name P. Vasilenko «Problems of energozabezpechennya and energy-savings in APK of Ukraine» – 2016. – Vip.175. – P. 160– 162.
2. Kashirskaya N. Ya. Illnesses of pip kul'tur/N. I. Kashirskaya. – Michurinsk, 2 006. – 164 p.
3. Mansur M. High-stable SVCH generators for affecting the lichinnuyu stage of harmful insects in an agricultural production / M. Mansur, A. D. Cherenkov, Ye.L. Pirotti // Vestnik of national technical university of «KHPI». – Kharkiv: NTU «KHPI», 2002. – № 7. – P. 131–135
4. I. V. Lebedev Technique and devices SVCH. Elektrovakuumnye devices SVCH / I. V. Lebedev. – М.: Higher school, 1972. – Т. II. – 376 p.
5. Kasatkina L. V. Semiconductor devices of range of millimetric waves / L. V. Kasatkina, V. E. Chayka – Sevastopol, Veber, 2006. – 319 p.
6. Kleyman A. S. Some questions of creation and application of the wide-range KVCH sources of kolebaniy/ A. S. Kleyman, P. A. Kravchenko, A. D. Cherenkov, L. F. Kuchin // Ukrainian metrology magazine. –1999. – № 2. – P. 20 –23.
7. Cherenkov A. D. Analysis of methods of construction of sources of KVCH of radiation with high stability of frequency / A. D. Handles, N. P. Kundenko// i Vostochno-evropeyskiy magazine of front-rank technologies. – 2012. –№ 2/8 (56). – P. 18– 22.
8. Quartz and quantum measures of frequency / [[I. I. Akulov and other] under red. B. I. Makarenko. – М.: МО СССР, 1976. – 409 p.
9. Cherenkov A. D. Analysis of fluctuation descriptions of the twocircular system of the phase self-tuning of frequency of the stabilized generator /A. D. Cherenkov, Ye. L. Pirotti //Vestnik of national technical university of «KHPI». – Kharkiv: NTU «KHPI». –2004. – P.82–85.
10. V. I. Kaganov. Systems of automatic control in radiopredatchikakh / V. I. Kaganov. – М.: Connection,1969. – 250 p.
11. Cherenkov A. D. Theoretical analysis of the system of transformation of frequency in the generators of millimetric range on the basis of the phase self-tuning of frequency / A. D. Cherenkov A. D., N. G. Kocelina, Ye. L. Pirotti //Vestnik of national technical university of «KHPI». – Kharkiv: NTU «KHPI», «Problemi energozabezpechennya that energozberezhennya in APK of Ukraini». –2013. Vip. 141. – P. 107–111.
12. Norenkov I.P Introduction to the automated planning of the technical systems and ustroystv/ I.P. Norenkov. – М.: Higher school,1980. – 380 p.
13. Konovalov G. F. Radioautomation: Studies. For the institutes of higher to on special. «Radioautomation». – М.: Higher school,1990. – 335 p.
14. Pervachov S. V. Radioautomation: Textbook for the institutes of higher. – М.: of Radio and connection, 1982. – 296 p.

Прийнята до друку 14.12. 2019

Михайленко Владислав Володимирович, канд. тех. наук, доцент;
Тел. +38 (044) 2 36 79 89; E-mail: VladislavMihailenko@i.ua
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Перемоги, 37. Київ, Україна, 03056

МЕТОД БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ З НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ КОМУТАТОРАМИ

Однією з найбільш складних задач при аналізі розгалужених електричних кіл з комутаторами є задача дослідження перехідних процесів в таких колах при використанні високочастотного перемикання. Запропоновано математичну модель для аналізу перехідних процесів в напівпровідникових перетворювачах установок електроімпульсної обробки різних середовищ. Наведено графіки, що відображають перехідні процеси у електричних колах. Запропоновано спрощений аналіз розрахунку електромагнітних процесів в таких колах за рахунок використання методу багатопараметричних модулюючих функцій та спеціалізованого програмного пакету MATHCAD. Обґрунтовано доцільним використання проміжних напівпровідникових перетворювачів (НПП) частоти для зменшення модуляції напруги ФРІ. Показано, що такий підхід по суті використовує багаторазове перетворення змінної напруги у постійну і навпаки, що вимагає використання методів швидкої оцінки стану напівпровідникових комутаторів (ключів) і аналізу режимів, які виникають у ланках НПП. Наведено аналіз використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для аналізу перехідних процесів в розрядно-імпульсних системах з високочастотними напівпровідниковими комутаторами та обґрунтовано доцільність його використання. Представлено результати дослідження для визначення параметрів системи перетворення частоти мм генератора, які забезпечують мінімум дисперсії фази коливань вихідного сигналу. Запропоновано метод зменшення нестабільності режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

Ключові слова: перехідні процеси, напівпровідникові комутатори.

Михайленко Владислав Володимирович, канд. тех. наук, доцент;
Тел. +38 (044) 2 36 79 89 ; E-mail: VladislavMihailenko@i.ua
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Победы, 37. Киев, Украина, 03056

МЕТОД МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ КОММУТАТОРАМИ

Одной из самых сложных задач при анализе разветвленных электрических цепей с коммутаторами является задача исследования переходных процессов в таких цепях при использовании высокочастотного переключения. Предложена математическая модель для анализа переходных процессов в полупроводниковых преобразователях установок электроимпульсной обработки различных сред. Приведены графики, отражающие переходные процессы в электрических цепях. Предложен упрощенный анализ расчета электромагнитных процессов в таких цепях за счет использования метода многопараметрических модулирующих функций и специализированного программного пакета MATHCAD. Обосновано целесообразным использование промежуточных полупроводниковых преобразователей (ППП) частоты для уменьшения модуляции напряжения ФРИ. Показано, что такой подход по сути использует многократное преобразование переменного напряжения в постоянное и наоборот, что требует использования методов быстрой оценки состояния полупроводниковых коммутаторов (ключей) и анализа режимов, возникающих в звеньях ППП. Приведены результаты анализа использования метода многопараметрических функций с использованием пакета MATHCAD для переходных процессов в разрядно-импульсных системах с высокочастотными полупроводниковыми коммутаторами и обоснована целесообразность его использования. Представлены результаты исследования для определения параметров системы преобразования частоты мм генератора, которые обеспечивают минимум дисперсии фазы колебаний выходного сигнала. Предложен метод уменьшения нестабильности режимов в технологических нагрузках и режимов потребления электроэнергии от сети электропитания.

Ключевые слова: переходные процессы, полупроводниковые коммутаторы.

Mikhailenko Vladislav Volodimirovich, candidate of technical Science, Associate Professor;
Tel +38 (044) 2 36 79 89; E-mail: VladislavMihailenko@i.ua
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute of the Institute of Igor Sikorsky», Peremogi Avenue, 37. Kyiv, Ukraine, 03056

METHOD MANY-PARAMETRIC FUNCTIONS FOR ANALYSIS OF THE CONNECTING PROCESSES IN ELECTRIC CIRCUIT WITH SEMICONDUCTOR COMMUTATORS

One of the most challenging tasks in analyzing rozgaluzhenih electric power with switches is the task to complete the transition process in such stake with vikoristanny high-frequency remix. A mathematical model has been invoked for the analysis of the transition processes in the on-demand transfer of installations of the electrical pulse processing of the open mediums. Indicated graphs, scho vidobrazuyayut pereh_dni processes in electric kolakh. The protests of the analysis of the electromagnet processes in such cola for the round wrap of the method of bagoparametric modular functions and the special MATHCAD software package are spread. Primed by the major industrial and industrial frequency retarder (NPP) frequency for the change of the FRI modulus. It is shown that such a piddid by the day of Victorian Bagatorov's overtake of the most varied tasks at the post office and at the same time, the methods of the quick assessment of the public relations (key mode). An analysis is made of the method of bagoparametric functions for the Victoria MATHCAD package for the analysis of intermittent processes in discharge-pulse systems with high-frequency voltage switches that are primed with the highest frequency. The results of accession for the visualization of the system and frequency conversion of the mm generator are presented, as well as the minimum dispersion phase of the output signal is secured. The method of changing the uninterrupted mode of operation is monitored.

Key words: connecting processes, semiconductor commutators.

Вступ

Однією з найбільш складних задач при аналізі розгалужених електричних кіл з комутаторами є задача дослідження перехідних процесів в таких колах при використанні високочастотного перемикачів [1, 3]. У зв'язку з можливістю виникнення в них критичних електричних режимів доцільним є використання спеціалізованих математичних моделей.

Аналіз розрахунку електромагнітних процесів в таких колах можна спростити за рахунок використання методу багатопараметричних модулюючих функцій [2, 4] та спеціалізованого програмного пакету MATHCAD.

При електромагнітних процесів в електричних колах тиристорних формувачів постійної напруги (ФПН) та формувачів розрядних імпульсів (ФРІ) електрична нестабільність параметрів ФРІ збільшується при зростанні їх частоти розрядних імпульсів. Оскільки частота розрядних імпульсів у декілька разів перевищує частоту мережі електроживлення, стає доцільним використання проміжних напівпровідникових перетворювачів (НПП) частоти для зменшення модуляції напруги ФРІ.

Такий підхід по суті використовує багаторазове перетворення змінної напруги у постійну і навпаки, що вимагає використання методів швидкої оцінки стану напівпровідникових комутаторів (ключів) і аналізу режимів, які виникають у ланках НПП. Тому метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для аналізу перехідних процесів в електричних колах з високочастотними напівпровідниковими комутаторами.

Аналіз перехідних процесів в розрядно-імпульсних системах

В роботі була розроблена математична модель для аналізу перехідних процесів в НПП установок електроімпульсної обробки різних середовищ.

На функціональній схемі такого перетворювача, приведеної на рис. 1, позначено:

СМ – силовий модулятор,

ВЧВ – однофазний високочастотний випрямляч вихідної напруги СМ,

H – активно-індуктивне навантаження, VS_1 та VS_2 – зарядний та розрядний тиристорні ключі, які працюють по чергову,

CY – система управління, L_0, L_1 – індуктивності, R_{L_0}, R_{L_1} – активні опори котушок L_0 і L_1 відповідно; C_0, C_1 – ємності конденсаторів.

Вихідну напругу $u_d(t)$ на виході ВЧВ запишемо співвідношенням виду

$$u_d(t) = u_M(t)\psi_1(t)\psi_2(t)\psi_3(t), \quad (1)$$

де:

- $u_M(t) = U_{dm} \sin(\omega_1 t + \varphi)$ – напруга мережі живлення;
- $U_{dm} = 220\sqrt{2}$ В – максимальне значення напруги живлення;
- φ – початкова фаза напруги $u_M(t)$;
- ω_1 – кругова частота;
- $\psi_1(t)$ і $\psi_2(t)$ – комутуючі функції, які відображають роботу випрямляча і інвертора СМ;
- $\psi_3(t)$ – комутуюча функція, яка відображає роботу ВЧВ;
- $\alpha(t)$ – кут управління.

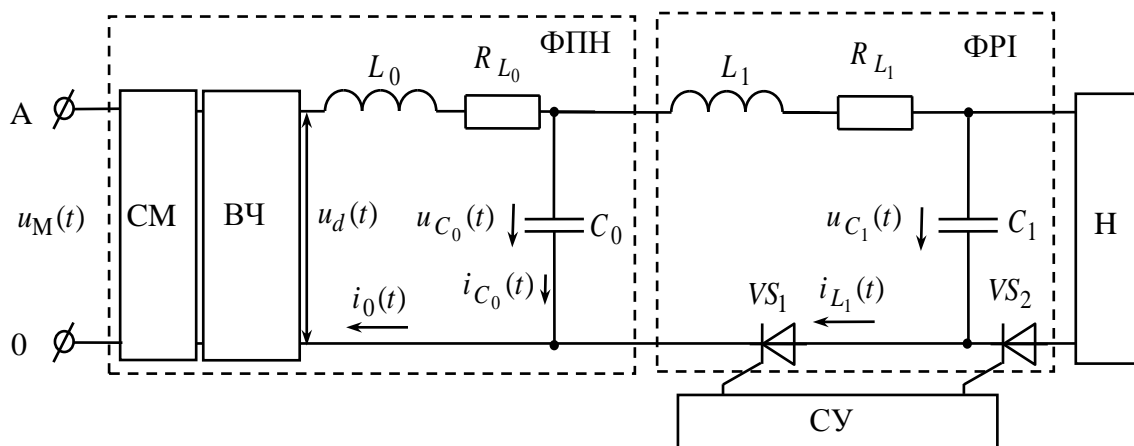


Рис. 1

Зробимо припущення, що індуктивність L_0 та активний опір R_{L_0} дорівнюють нулю і розглянемо роботу контуру $C_0, L_1, R_{L_1}, C_1, VS_1$:

На інтервалі часу $t_{п1} = 0 \dots t_{к1} = t_1 = 0,0004$ с напругу $u_{C_{01}}(t)$ на C_0 визначаємо з диференціального рівняння виду

$$\frac{d^2 u_{C_{01}}(t)}{dt^2} = \frac{-R_{L_1} du_{C_{01}}(t)}{L_1 dt} - \frac{(C_1 + C_0) u_{C_{01}}(t)}{L_1 C_0 C_1} + \frac{U_{dm}}{L_1 C_1}, \quad (2)$$

де:

- L_1 – індуктивність фільтру;
- R_{L_1} – активний опір котушки L_1 ;
- C_0, C_1 – ємності конденсаторів.

Рішення (2) визначимо за допомогою методу Рунге-Кутта на часовому інтервалі $t_{п1} = 0 \dots t_{к1}$ у вигляді матриці $U_{C_{01}}$ миттєвих значень напруги $u_{C_{01}}(t)$ та їхніх похідних, розрахованих з вибраним кроком P_1

$$U_{C_{01}} = \text{rkfixed}(u_{C_{01}}, t_{п1}, t_{к1}, P_1, D_{C_{01}}), \quad (3)$$

де:

- $D_{C_{01}}$ – вектор-стовпець проміжних рішень відносно напруги $u_{C_{01}}(t)$ на конденсаторі C_0 .

Далі проводимо уточнення значення напруги $u_{C_{01}}(t)$ знайденої в рівнянні (3) на інтервалі $t_{п1} = 0 \dots t_{к1}$ порівнюючи її з випрямленою напругою $u_d(t)$:

$$u'_{C_{01}}(t) = \text{if}(t < t_1 = 0,0004 \text{ с}, \text{if}(u_{C_{01}}(t) < u_d(t), u_d(t), u_{C_{01}}(t)), 0) \quad (4)$$

Оскільки на інтервалі $t_{п2} = t_1 = 0,0004 \text{ с} \dots t_{к2} = t_2 = 0,005 \text{ с}$ тиристор VS_1 закритий, то напругу $u_{C_{02}}(t)$ на C_0 на цьому інтервалі визначаємо з виразу виду

$$u_{C_{02}}(t) = \text{if}(t < t_1 = 0,0004 \text{ с}, 0, \text{if}(t \leq t_2 = 0,005 \text{ с}, \text{if}(u'_{C_{01}}(t_1) < u_d(t_1), u_d(t_1), u'_{C_{01}}(t_1)), 0)) \quad (5)$$

Аналогічно знаходимо напруги $u'_{C_{03}}(t)$ і $u_{C_{04}}(t)$ на інтервалах $t_{п3} = t_2 = 0,005 \text{ с} \dots t_{к3} = t_3 = 0,0054 \text{ с}$ і $t_{п4} = t_3 = 0,0054 \text{ с} \dots t_{к4} = t_4 = 0,01 \text{ с}$ відповідно.

Тоді сумарну напругу $u_{C_0}(t)$ на C_0 за один період зміни напруги живлення $u_M(t)$ знаходимо підсумовуючи напруги знайдені у виразах (4) і (5) та напруги $u'_{C_{03}}(t)$ і $u_{C_{04}}(t)$

$$u_{C_0}(t) = u'_{C_{01}}(t) + u_{C_{02}}(t) + u'_{C_{03}}(t) + u_{C_{04}}(t) \quad (6)$$

Знайдемо напругу на конденсаторі C_1 . На інтервалі $t_{п1} = 0 \dots t_{к1} = t_1 = 0,0004 \text{ с}$ напругу $u_{C_{11}}(t)$ на конденсаторі C_1 визначаємо з рівняння виду

$$\frac{d^2 u_{C_{11}}(t)}{dt^2} = \frac{-R_{e1} du_{C_{11}}(t)}{L_1 dt} - \frac{(C_0 + C_1 u_{11}(t)) u_{C_{11}}(t)}{L_1 C_1 C_0} + \frac{u_1(t)}{L_1 C_1}, + \quad (7)$$

де:

- $u_1(t) = \text{if}(u_{C_{01}}(t) < u_d(t), u_d(t), U_{dm})$ та $u_{11}(t) = \text{if}(u_{C_{01}}(t) < u_d(t), 0, 1)$ – еквівалентні напруги, які залежить від співвідношення напруг $u_{C_{01}}(t)$ та $u_d(t)$;
- $R_{e1} = \text{if}(u_{C_{01}}(t) < u_d(t), 0, R_{L1})$ – еквівалентний сумарний опір на інтервалі часу $t_{п1} \dots t_{к1}$.

Рішення (7) визначимо на інтервалі $t_{п1} \dots t_{к1}$ у вигляді матриці $U_{C_{11}}$ миттєвих значень напруги $u_{C_{11}}(t)$ на C_1 та їхніх похідних, розрахованих з вибраним кроком p_1 , як

$$U_{C_{11}} = \text{rkfixed}(u_{C_{11}}, t_{п1}, t_{к1}, p_1, D_{C_{11}}), \quad (8)$$

де:

- $D_{C_{11}}$ – вектор-стовпець проміжних рішень відносно напруги $u_{C_{11}}(t)$ на конденсаторі C_1 .

На інтервалі $t_{п2} = t_1 = 0,0004\text{с} \dots t_{к2} = t_2 = 0,005\text{с}$ тиристор VS_1 закритий, а тиристор VS_2 відкритий і тоді напругу $u_{C_{12}}(t)$ на C_1 на інтервалі визначили з рівняння

$$\frac{d^2 u_{C_{12}}(t)}{dt^2} = \frac{-R_H du_{C_{12}}(t)}{L_H dt} - \frac{u_{C_{12}}(t)}{L_H C_1}, \quad (9)$$

де:

- L_H, R_H – індуктивність навантаження і активний опір кола навантаження.

Рішення (9) визначимо на інтервалі $t_{п2} \dots t_{к2}$ у вигляді матриці $U_{C_{12}}$ миттєвих значень напруги $u_{C_{12}}(t)$ та їхніх похідних, розрахованих з вибраним кроком p_2

$$U_{C_{12}} = \text{rkfixed}(u_{C_{12}}, t_{п2}, t_{к2}, p_2, D_{C_{12}}), \quad (10)$$

де:

- $D_{C_{12}}$ – вектор-стовпець проміжних рішень відносно напруги $u_{C_{12}}(t)$ на C_1 .

Аналогічно знаходимо напруги $u_{C_{13}}(t)$ і $u_{C_{14}}(t)$ на інтервалах $t_{п3} = t_2 = 0,005\text{с} \dots t_{к3} = t_3 = 0,0054\text{с}$ і $t_{п4} = t_3 = 0,0054\text{с} \dots t_{к4} = t_4 = 0,01\text{с}$ відповідно.

Тоді сумарну напругу $u_{C_1}(t)$ на C_1 за один період зміни напруги живлення $u_M(t)$ знаходимо підсумовуючи напруги знайдені у виразах (8) і (10) та напруги $u_{C_{13}}(t)$ і $u_{C_{14}}(t)$

$$u_{C_1}(t) = u_{C_{11}}(t) + u_{C_{12}}(t) + u_{C_{13}}(t) + u_{C_{14}}(t). \quad (11)$$

Струм $i_{L_1}(t)$ знаходимо шляхом диференціювання напруги $u_{C_1}(t)$, знайденої з рівняння (11)

$$i_{L_1}(t) = \text{if} \left(\frac{du_{C_1}(t)}{dt} > 0, C_1 \frac{du_{C_1}(t)}{dt}, 0 \right) \quad (12)$$

Струм $i_{C_0}(t)$ який протікає через конденсатор C_0 знаходимо шляхом диференціювання напруги $u_{C_0}(t)$, знайденої з рівняння (6), з виразу виду

$$i_{C_0}(t) = C_0 \frac{du_{C_0}(t)}{dt} \quad (13)$$

Струм $i_0(t)$ через індуктивність L_0 знаходимо підсумовуючи вирази (12) та (13)

$$i_0(t) = i_{L_1}(t) + i_{C_0}(t) \quad (14)$$

Діаграми напруг $u_{C_0}(t)$ на C_0 і $u_{C_1}(t)$ на C_1 та струмів $i_{L_1}(t)$ і $i_0(t)$ з $C_0 = 2200 \text{ мкФ}$, $C_1 = 100 \text{ мкФ}$, $R_H = 3 \text{ Ом}$ та $R_{L_1} = 0,05 \text{ Ом}$, для мережі електроживлення частотою $f_M = 50 \text{ Гц}$, напругою $U_{M\text{max}} = 311 \text{ В}$ при $L_1 = 162 \text{ мкГн}$ та $L_H = 1 \text{ мкГн}$, при частоті високочастотних імпульсів $f_{\text{IM}} = 5000 \text{ Гц}$, показані на рис. 2.

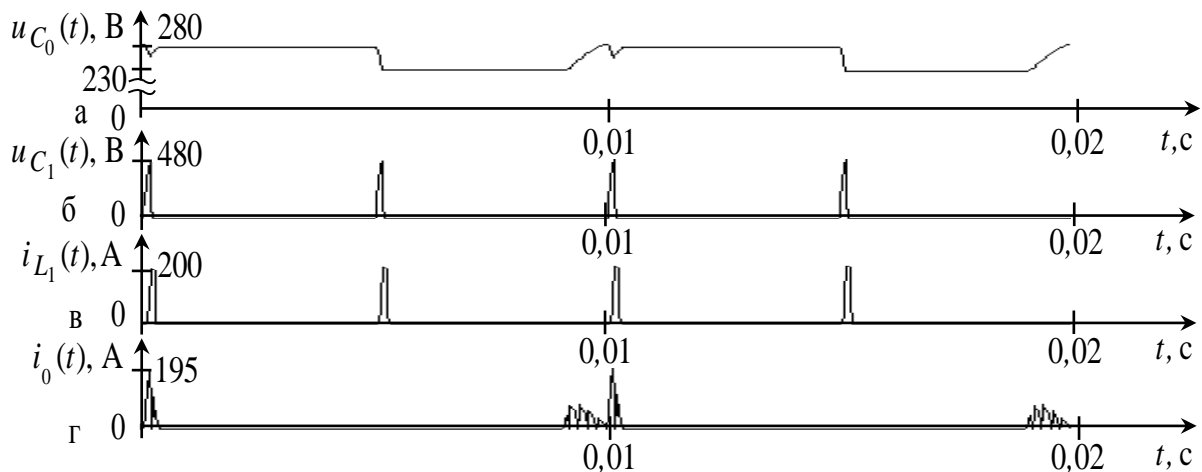


Рис. 2

З діаграм видно, що використання програмного пакету МATHCAD забезпечує аналіз перехідних та усталених режимів в зарядно-розрядних колах НПП електроімпульсних установок.

Підвищення частоти високочастотних імпульсів модулюючого впливу $\psi_2(t)$ на інверторі СМ зменшує нестабільність параметрів розрядних імпульсів ФРІ при тих же величинах L_1 , C_0 та C_1 .

Збільшення величини ємності C_1 та частоти її зарядно-розрядних циклів призводить до підвищення нестабільності параметрів розрядних імпульсів в навантаженні та збільшує нестабільність режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення. Збільшення величини ємності \tilde{N}_0 зменшує нестабільність параметрів розрядних імпульсів, але підвищує нестабільність режимів споживання електроенергії від мережі живлення.

Висновки

1. Обґрунтовано доцільність використання програмного пакету MATHCAD для аналізу перехідних процесів та оптимізації параметрів НПП в яких виникають процеси зарядки і розрядки ємнісного накопичувача електроенергії зі змінними початковими умовами. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.
2. Показано, що доцільним є використання високочастотного модулюючого впливу $\psi_2(t)$ на інвертор СМ. Це забезпечує зменшення нестабільності вихідної напруги ФПН і відповідно напруги розрядних імпульсів ФПН.

Список використаної літератури:

1. Лившиц А. Л., Отто М. А. Импульсная Электротехника. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 352 с.
2. Макаренко М. П., Михайленко В. В. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду // Технічна електродинаміка. Силова електроніка та енергоефективність – Тематичний випуск. – 2002. – Ч.1. – С.19–22.
3. Щерба А. А. Тиристорные схемы электропитания технологических установок с параметрической стабилизацией выходных характеристик // В сборнике “Преобразование и стабилизация параметров электрической энергии”. Киев: Институт электродинамики АН Украины, 1996. – С. 18–27.
4. Щерба А. А., Михайленко В. В., Захарченко С. М. Математичне моделювання перехідних процесів в напівпровідникових перетворювачах параметрів електроенергії розрядно-імпульсних електротехнологічних систем // Технічна електродинаміка. Силова електроніка та енергоефективність. – Тематичний випуск. – 2008. – Ч.3. – С.19–24.

Referenses:

1. Livshic A. L., Otto M. A. Pulsed Elektrotehnika. – Moskva: Energoatomizdat, 1983. – 352 p. (Rus.)
2. Makarenko M.P., Mihaylenko V.V. The Analysis of the electromagnetic processes in converter with much zoned regulations of the output voltage function multivariable type// Technicheskaiia elektrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist - Thematic vypusk. – 2002. – Part 1. – P. 19–22 (Ukr.)
3. Scherba A.A. The Thyristor schemes of the power supply of the technological installation with parametric stabilization of the output features // In collection "Transformation and stabilization parameter to electric energy". The Kiev: Institute of Electrodynamics Academy of Science of Ukraine, 1996. – P. 18–27 (Rus.)
4. Scherba A. A., Mihaylenko V. V., Zaharchenko S. M. Mathematical modeling of the connecting processes in semiconductor parameter of the electric energy is discharged pulsed electro technological systems // Technicheskaiia elektrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist - Thematic vypusk. – 2008. – Part 3. – P. 19–24 (Ukr.)

Прийнята до друку 24.12. 2019

Черенков Игорь Александрович, канд. тех. наук; Тел: +38 (050) 4 02 62 12; E-mail: sm261245@gmail.com
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичёва, 2,
 г. Харьков, Украина, 61002

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НОВОСТНОГО ПОТОКА ПОСРЕДСТВОМ АССОЦИАТИВНЫХ ПРАВИЛ

В динамически меняющейся рыночной среде актуальным является решение проблемы прогнозирования данных, представленных в виде временных рядов, в частности, прогнозирования цен. Среди существующих методов решения задачи ценового прогнозирования наибольшее распространение получили методы математической статистики, в частности экспоненциального сглаживания и авторегрессионные модели. Для этих методов характерно, что прогнозирование осуществляется на основе значений цены продукта, при этом факторы, влияющие на формирование цены, включается в прогноз опосредственно через исторические ценовые значения, что негативно сказывается на качестве прогноза, поскольку разные наборы внешних и внутренних факторов могут приводить к одинаковому значению цены. Точность прогнозов может быть повышена как за счёт оптимизации алгоритма прогноза на основе ассоциативных правил, так и за счёт оптимизации методов идентификации событий в новостном потоке. Экспериментально подтверждено превосходство методов ценового прогнозирования на основе новостного потока посредством ассоциативных правил над регрессионными методами. Обосновано, что его применение целесообразно в тех случаях, когда необходима максимальная точность прогнозов, т.к. суммарные затраты на прогноз, включая формирование множества ассоциативных правил, значительно больше, чем для регрессионных методов. Рассмотрены методы краткосрочного ценового прогнозирования на примере рынка полимеров, которые могут быть применены к рынку электроэнергетики.

Ключевые слова: ценовое прогнозирование; ARIMA; экспоненциальное сглаживание; ассоциативные правила.

Черенков Ігор Олександрович, канд. тех. наук; Тел: +38 (050) 4026212; E-mail: sm261245@gmail.com
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, г. Харків,
 Україна, 61002

ПРОГНОЗУВАННЯ НА ОСНОВІ НОВОСТНОГО ПОТОКУ ПОСЕРЕДНИЦТВОМ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ

У динамічно мінливому ринковому середовищі актуальним є вирішення проблеми прогнозування даних, представлених у вигляді часових рядів, зокрема, прогнозування цін. Серед існуючих методів вирішення задачі цінового прогнозування найбільшого поширення набули методи математичної статистики, зокрема експоненціального згладжування і авторегресійні моделі. Для цих методів характерно, що прогнозування здійснюється на основі значень ціни продукту, при цьому чинники, що впливають на формування ціни, включаться в прогноз опосередковано через історичні цінові значення, що негативно позначається на якості прогнозу, оскільки різні набори зовнішніх і внутрішніх факторів можуть призводити до однакового значенням ціни. Точність прогнозів може бути підвищена як за рахунок оптимізації алгоритму прогнозу на основі асоціативних правил, так і за рахунок оптимізації методів ідентифікації подій в новостном потоці. Експериментально підтверджено перевагу методів цінового прогнозування на основі новинного потоку за допомогою асоціативних правил над регресійний методами. Обґрунтовано, що його застосування доцільно в тих випадках, коли необхідна максимальна точність прогнозів, тому що сумарні витрати на прогноз, включаючи формування безлічі асоціативних правил, значно більше, ніж для регресійних методів. Розглянуті методи короткострокового цінового прогнозування на прикладі ринку полімерів, які можуть бути застосовані до ринку електроенергетики.

Ключові слова: цінове прогнозування; ARIMA; експоненціальне згладжування; асоціативні правила.

Cherenkov Igor Alexandrovich, cand. tech. Science; Tel: +38 (050) 4 02 62 12 ; E-mail: sm261245@gmail.com
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", str. Kyrpychova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002

FORECASTING BASED ON THE NEWSLETTER THROUGH ASSOCIATIVE RULES

In a dynamically changing market environment, it is relevant to solve the problem of forecasting data presented in the form of time series, in particular, price forecasting. Among the existing methods for solving the problem of price forecasting, the most widespread methods are mathematical statistics, in particular exponential smoothing and autoregressive models. It is typical for these methods that forecasting is carried out on the basis of product price values, while factors affecting the formation of prices are included in the forecast directly through historical price values, which negatively affects the quality of the forecast, since different sets of external and internal factors can lead to the same value of the price. The accuracy of forecasts can be improved both by optimizing the forecast algorithm based on associative rules, and by optimizing the methods for identifying events in ovostnom stream. The superiority of the methods of price forecasting based on news flow through associative rules over regression methods has been experimentally confirmed. It is proved that its use is advisable in those cases when the maximum accuracy of forecasts is necessary, because the total forecast costs, including the formation of many associative rules, are much larger than for the regression methods. Short-term price forecasting methods are considered on the example of the polymer market, which can be applied to the electricity market.

Key words: price forecasting; ARIMA; exponential smoothing; associative rules.

Введение

В динамически меняющейся рыночной среде актуальным является решение проблемы прогнозирования данных, представленных в виде временных рядов, в частности, прогнозирования цен. Задача анализа и прогнозирования временных рядов заключается в определении регулярной составляющей, включающей тренд и сезонную компоненту. Тренд является некоторой линейной или нелинейной зависимостью, отображающей главную закономерность в данных. Сезонная компонента отображает влияние циклических процессов на данные. Наибольший интерес для краткосрочного прогнозирования представляет периодическая, сезонная компонента. Эта компонента выражается зависимостью порядка k между каждым i -м и каждым $(i-k)$ -м элементом. Не существует универсального способа определения регулярной составляющей временного ряда.

Постановка задачи. Сравним существующие способы краткосрочного прогнозирования, базирующиеся на математическом аппарате временных рядов, с подходами прогнозирования на основе новостного потока посредством поиска ассоциативных правил на примере рынка полимеров.

Основная часть. Среди существующих методов решения задачи ценового прогнозирования наибольшее распространение получили методы математической статистики, в частности экспоненциального сглаживания и авторегрессионные модели. Для этих методов характерно, что прогнозирование осуществляется на основе значений цены продукта, при этом факторы, влияющие на формирование цены, включаются в прогноз опосредственно через исторические ценовые значения, что негативно сказывается на качестве прогноза, поскольку разные наборы внешних и внутренних факторов могут приводить к одинаковому значению цены.

Опишем группу методов экспоненциального сглаживания. В основе этих методов лежит построение экспоненциально взвешенных, усреднённых значений по всему временному ряду.

Так для исходного ряда $X = \{x_1, \dots, x_T\}$ метод экспоненциального сглаживания подразумевает построение ряда по следующей рекуррентной формуле [1]:

$$F_t = \begin{cases} x_t, & t = 1, \\ \alpha x_{t-1} + F_{t-1}(1 - \alpha), & t > 1, \end{cases} \quad (1)$$

где:

- F_t – сглаженный ряд;
- α – коэффициент сглаживания $\alpha \in (0,1)$, который задаёт уровень подавления колебаний и шума исходного ряда.

Метод экспоненциального сглаживания довольно часто используется для задач краткосрочного прогнозирования временных рядов, однако, у данного метода есть существенный недостаток. Область его применения сводится исключительно к краткосрочному прогнозированию, т.к. в модели не учитываются сезонные колебания и тренд.

Для учёта этих двух составляющих используют, среди прочих методов, модель Хольта-Уинтерса [2]. Для временного ряда $X = \{x_1, \dots, x_T\}$ будущее значение определяются по формуле:

$$\begin{aligned} F_{t+m} &= (s_t + mb_t)c_{t-L+((m-1) \pmod L)}, \\ s_t &= \alpha \frac{x_t}{c_{t-L}} + (1-\alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}), \\ b_t &= \beta(s_t - s_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1}, \\ c_t &= \gamma \frac{x_t}{s_t} + (1-\gamma)c_{t-L}, \end{aligned} \tag{2}$$

где:

- s_t – сглаженное значение прогноза;
- b_t – составляющая тренда;
- c_t – сезонная компонента;
- α – параметр сглаживания модели $\alpha \in (0,1)$;
- β – параметр сглаживания тренда $\beta \in (0,1)$;
- γ – параметр сезонного сглаживания $\gamma \in (0,1)$.

Правильный подбор параметров (α, β, γ) определяет качество функционирования модели и её прогнозов. Другая часто используемая группа методов включает подходы, основанные на авторегрессионных моделях, для которых построение будущих значений ряда осуществляется по формуле:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i X_{t-i} + \varepsilon_t, \tag{3}$$

где: ϕ_i – параметры модели; c – константа; ε_t – белый шум.

Задача исследователя заключается в расчете параметров.

Для моделирования случайных ошибок ряда используют модель скользящего среднего:

$$X_t = \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t, \tag{4}$$

где: θ_i – параметры модели; $\varepsilon_{t-q}, \dots, \varepsilon_t$ – ошибки.

Производными моделями от вышеописанных являются авторегрессионные модели скользящего среднего ARMA (p, q) и ARIMA (p, d, q), содержащих p авторегрессионных составляющих и q скользящих средних:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Модель ARIMA (p, d, q) предназначена для моделирования нестационарных процессов, разности временного ряда порядка d подчиняются модели ARMA (p, q) [2]:

$$\Delta^d X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (6)$$

На данном этапе развития информационных технологий, эффективнее будет построение ценовых прогнозов, основанных на новостном потоке, в результате чего сохраняется причинно-следственная связь между событием и его влиянием на цену. Подобное решение задачи прогнозирования на основе новостного потока может быть реализовано с помощью подходов на основе ассоциативных правил [3].

К недостаткам подходов на основе новостных потоков посредством ассоциативных правил следует отнести невозможность явного учёта тренда в прогнозах. Также подход прогнозирования с помощью ассоциативных правил предполагает предварительную добычу множества правил, что связано с дополнительными затратами. На данный момент существует довольно много алгоритмов поиска ассоциативных правил, главное отличие которых в быстродействии и эффективности используемой памяти.

Опишем подход прогнозирования на основе новостных потоков посредством ассоциативных правил. Для множества добытых правил $\{r_i\}, r_i \in R, i \in I$, где r_i – есть последовательность (набор) событий, предшествующая изменению цены, задача краткосрочного ценового прогнозирования на основе множества ассоциативных правил формулируется как задача правильной идентификации сложившейся рыночной ситуации, в виде соответствующей ей правила r_i . Каждому добытому правилу r_i в процессе добычи данных ставятся в соответствие два атрибута: s_i – поддержка, характеризующая абсолютную частоту появления правила в исходной выборке; c_i – достоверность, в данном случае вероятность возникновения ценового изменения при появлении набора событий из r_i . Проблематика данного подхода заключается в следующем: при идентификации сложившейся ситуации и выборе правила может возникнуть неопределённость, т.к. добываемые ассоциативные правила r_i обладают разной достоверностью и поддержкой, что делает определение сложившейся ситуации нетривиальной задачей. Правило может иметь как очень высокую поддержку, т.е. быть очевидным правилом, так и напротив иметь очень низкую, являясь неочевидным правилом. Как следствие качество прогнозов напрямую зависит от используемого алгоритма идентификации сложившейся ситуации. Предлагается использовать следующий алгоритм:

Для заданного уровня достоверности C и поддержки S отобрать все правила, для которых $c_i \geq C$, $s_i \geq S$ соответственно. Для выбранного времени (дня) $t \in T$ найти наиболее подходящее правило на основе следующей последовательности.

1. Задать $n = 1$;
2. Отобрать множество правил $\{r_i\}_t^n$, удовлетворяющих текущей ситуации на рынке в момент времени $t \in T$;
3. Если найдено только одно правило, то сформировать прогноз;

4. Если найдено больше одного правила, сравнить прогнозные значения, если прогноз направлен одну сторону (вверх/вниз), то сформировать суммарный прогноз;
5. Если найдено больше одного правила и прогнозные значения противоречивы, то сформировать из множества $\{r_i\}_t$ множество $\{r_i\}_t^c$ путём исключения менее достоверных правил в соответствие с условием:

$$\tilde{c}_i^{\max} - c_i \leq \Delta C, \quad (7)$$

где: \tilde{c}_i^{\max} – правило с наибольшим параметром достоверности в текущем множестве правил; $\Delta C = \alpha \tilde{c}_i^{\max}$ – допустимая погрешность; α – коэффициент погрешности.

Аналогично сформировать множество правил $\{r_i\}_t^s$ путём исключения менее неочевидных правил в соответствие с условием:

$$\tilde{s}_i^{\max} - s_i \leq \Delta S, \quad (8)$$

где: \tilde{s}_i^{\max} – правило с наибольшим параметром поддержки в текущем множестве правил; $\Delta S = \beta \tilde{s}_i^{\max}$ – допустимая погрешность; β – коэффициент погрешности.

6. Задать $n=n+1$, сформировать новое множество $\{r_i\}_t^n = \{r_i\}_t^s \cup \{r_i\}_t^c$.
7. Если $\{r_i\}_t^n \neq \{r_i\}_t^{n-1}$ перейти к п.3. Иначе в соответствии с принципом бритвы Оккама выбрать наиболее очевидное правило с \tilde{c}_i^{\max} из $\{r_i\}_t^s$ и сформировать прогноз.

Следует отметить, что значения C и S непосредственно влияют на качество прогнозов, и определение их оптимальных значений является отдельной исследовательской задачей.

Экспериментальная часть. Вышеописанные методы краткосрочного прогнозирования были применены к временным рядам цен рынка полимеров Российской Федерации. В качестве входной информации использовались выборка ценовых значений по ПВХ за 2010 – 2011 гг. и соответствующий ей новостной поток. Размер выборки ценовых значений составил 800 записей, новостной выборки – 2700, при этом в качестве обучающей выборки были взяты первые 600 значений цены и соответствующие им 2100 новостных событий. Из оставшихся значений были сформированы две контрольные выборки. В рамках краткосрочного прогнозирования горизонт прогноза цены составлял +1 день.

Качество работы методов прогнозирования оценивалось на основе моделей, построенных с минимизированным значением функции правдоподобия. Множество ассоциативных правил было получено с помощью алгоритма SPADE [4]. Для метода прогнозирования на основе ассоциативных правил были использованы следующие значения $C = 80\%$ и $S = 7$.

Для оценки качества прогнозов использовался критерий MAPE, отражающий усреднённую абсолютную величину ошибок в процентах, в соответствии с формулой:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|p_i - \tilde{p}_i|}{p_i} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где: p_i – оригинальное значение ряда; \tilde{p}_i – прогнозируемое значение; N – размер ряда.

Полученные значения ошибок прогнозов MAPE позволяют оценить качество работы методов прогнозирования. Экспериментальные значения MAPE приведены в табл.1.

Таблица 1

Экспериментальные значения MAPE

Метод	Выборки	
	Контрольная 1	Контрольная 2
Экспоненциальное сглаживание	2,2%	21,5%
ARIMA	19,4%	19,1%
Ассоциативные правила	12,9%	13,2%

Выводы

1. Таким образом, прогнозы, получаемые на основе ассоциативных правил на 6% точнее, чем прогнозы на основе методов регрессионного анализа. Большая точность достигается благодаря тому, что прогнозы на основе новостных потоков посредством ассоциативных правил позволяют непосредственно включать события, влияющие на формирование цены, в прогнозное значение, в то время как регрессионные методы, включают эти события опосредственно.
2. Точность прогнозов может быть повышена как за счёт оптимизации алгоритма прогноза на основе ассоциативных правил, так и за счёт оптимизации методов идентификации событий в новостном потоке.
3. В целом, метод прогнозирования на основе новостного потока посредством ассоциативных правил является перспективным и требует дальнейших исследований. Его применение целесообразно в тех случаях, когда необходима максимальная точность прогнозов, т.к. суммарные затраты на прогноз, включая формирование множества ассоциативных правил, значительно больше, чем для регрессионных методов.

Список использованной литературы:

1. Афанасьев В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев // М. – Инфра-М, 2010. – 320 с.
2. Керимов А. К. Анализ и прогнозирование временных рядов / А. К. Керимов // Издательство Российского Университета дружбы народов: М. – 2005. – 140 с.
3. Черенков И. А. Автоматический поиск данных из новостей на примере рынка полимеров / И. А. Черенков // Системы обработки информации: Харьков. – 2011. – № 8. – С. 156 – 159.
4. Zaki M. Spade: an Efficient Algorithm for Mining Frequent Sequences / M. Zaki // Machine Learning.: Kluwer Academic Publishers. – 2001. – Vol. 42. – P. 31 – 60.

Referenses:

1. Afanasj'ev V. N. Analiz vremennykh rjadov y proghnozyrovanye / V. N. Afanasj'ev, M. M. Juzbashev // М. – Ynfra-M, 2010. – 320 s.
2. Kerymov A. K. Analiz y proghnozyrovanye vremennykh rjadov / A. K. Kerymov // Yzdateljstvo Rossyjskogho Unyversyteta druzhby narodov: M. – 2005. – 140 s.
3. Cherenkov Y. A. Avtomatycheskij poysk dannykh yz novostej na prymere rыnka polymerov / Y. A. Cherenkov // Systemy obrabotky ynformacyu: Kharjkov. – 2011. – # 8. – S. 156 – 159.
4. Zaki M. Spade: an Efficient Algorithm for Mining Frequent Sequences / M. Zaki // Machine Learning.: Kluwer Academic Publishers. – 2001. – Vol. 42. – P. 31 – 60.

Прийнята до друку 18.12. 2019

Мехович Сергій Анатолійович, доктор економічних наук, професор; Тел. (+38) 050-402-62-12; E-mail: sm261245@gmail.com
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 21, Харків, Україна, 61002

ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ЇЇ ФІНАНСОВА СКЛАДОВА

У статті проведено системний аналіз підходів до вирішення проблеми фінансової безпеки економіки підприємства. Фінансова безпека являє такий стан підприємства, яке дозволяє забезпечити конкурентоспроможність, фінансову рівновагу, стійкість, платоспроможність і ліквідність підприємства в довгостроковому періоді. Викладено суть фінансової безпеки підприємства, яка полягає в його здатності самостійно розробляти і проводити фінансову стратегію з метою забезпечення сталого розвитку. У структурі економічної безпеки фінансова складова займає особливе місце. Фінанси є основою будь-якої економічної системи, завдяки фінансам забезпечується реалізація поточних і стратегічних цілей і завдань. У зв'язку з цим система управління повинна враховувати альтернативні шляхи забезпечення безпеки підприємства, при цьому вибір конкретного проекту повинен відповідати фінансовій стратегії і фінансовій політиці підприємства. Запропонована система управління фінансовою безпекою підприємства та визначено місце стратегії фінансової безпеки в системі економічної безпеки підприємства. Визначено стратегічні пріоритети в системі управління фінансовою безпекою підприємства та підвищенні стійкості грошово-кредитної системи до існуючих загроз і викликів, які складаються у підтримці малого і середнього бізнесу, створенні умов для здійснення масштабного технологічного реінжинірингу промислових підприємств та сприяттні процесам кластеризації вітчизняних підприємств.

Ключові слова: підприємство, фінансова безпека, стратегічні пріоритети, система управління, кластерна політика.

Мехович Сергей Анатольевич, доктор эконом. наук, профессор; Тел. +38 (050) 4 02 62 12; E-mail: sm261245@gmail.com
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 21, Харьков, Украина, 61002

ЕКОНОМІКА ПЕРЕДПРИЯТТЯ І ЇЇ ФІНАНСОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ

В статье проведен системный анализ подходов к решению проблемы финансовой безопасности экономики предприятия. Финансовая безопасность представляет такое состояние предприятия, позволяет обеспечить конкурентоспособность, финансовое равновесие, устойчивость, платежеспособность и ликвидность предприятия в долгосрочном периоде. Изложена суть финансовой безопасности предприятия, которая заключается в его способности самостоятельно разрабатывать и проводить финансовую стратегию с целью обеспечения устойчивого развития. В структуре экономической безопасности финансовая составляющая занимает особое место. Финансы являются основой любой экономической системы, благодаря финансам обеспечивается реализация текущих и стратегических целей и задач. В связи с этим система управления должна учитывать альтернативные пути обеспечения безопасности предприятия, при этом выбор конкретного проекта должен соответствовать финансовой стратегии и финансовой политики предприятия. Предложенная система управления финансовой безопасностью предприятия и определено место стратегии финансовой безопасности в системе экономической безопасности предприятия. Определены стратегические приоритеты в системе управления финансовой безопасностью предприятия и повышении устойчивости денежно-кредитной системы в существующих угрозах и вызовах, которые состоят в поддержке малого и среднего бизнеса, создании условий для осуществления масштабного технологического реинжиниринга промышленных предприятий и содействии процессам кластеризации отечественных предприятий.

Ключевые слова: предприятие, финансовая безопасность, стратегические приоритеты, система управления, кластерная политика.

Sergii Mekhovych, Dr. Ekon. sciences, professor; Tel. +38 (050) 4 02 62 12; E-mail: sm261245@gmail.com
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kirpichova str., 21, Kharkiv, Ukraine, 61002

ECONOMY OF AN ENTERPRISE AND ITS FINANCIAL COMPONENT

The article presents a systematic analysis of approaches to solving the problem of Financial security of the enterprise. Financial security represents this state of the enterprise, Please allow Provide Competitiveness, financial balance, sustainability, Solvency and liquidity of the enterprise in the long term. An account of the essence of the financial security of the enterprise, which lies in the ability of the enterprise to independently develop and implement a financial strategy to ensure competitiveness and sustainable development. The instability of the Ukrainian economy and the deepening of the economic crisis have a very negative impact on business development in Ukraine. The situation in the national economy is characterized by a high level of uncertainty and aggressiveness of the market environment, which cause the emergence of external and internal threats, which directly affect the development of enterprises. In these circumstances, it is especially important to ensure their functioning and sustainable development, which is directly dependent on financial security. In the structure of economic security, financial components occupy a special place. Finance is the basis of any economic system. Thanks to finances, the realization of current and strategic goals and objectives is ensured. In connection with this, the management system should take into account the Alternative ways to ensure the security of the enterprise, while choosing a specific project must comply with the financial strategy and financial policies of the enterprise. Based on the foregoing, the article describes the financial security management system of the enterprise and provides a place for the financial security strategy in the economic security system of the enterprise. They also identified Strategic Priorities in the enterprise financial security management system. The effectiveness of business entities mainly due to their finances, making it necessary to address the problems of financial security enterprises. The methodological support for the creation and development of new forms of cluster interaction should be developed on the basis of regional cluster policy. Regional cluster policy, as a concept, has been widely developed and integrates regional, economic and industrial policy. Cluster policy is an action taken by national or regional authorities to establish and support clusters in certain territories.

Key words: enterprise, financial security, strategic priorities, management system.

Постановка проблеми

Для стану, що склався у виробничому секторі України, характерний високий рівень невизначеності і агресивності ринкового середовища. Це обумовлює появу зовнішніх і внутрішніх загроз, які безпосереднім чином впливають на розвиток підприємств.

У цих умовах особливо актуальним стає забезпечення їх функціонування та сталого розвитку, що безпосередньо залежить від фінансової складової економіки підприємства. Фактично фінансова складова характеризує рівень фінансової безпеки, тому ці поняття розглядаються як тотожні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теоретичні основи управління фінансовою складовою підприємства відображені в роботах вітчизняних і зарубіжних науковців, таких як І. Бланк, О. Барановський, Т. Васильців, Ю. Воробйов, А. Воронкова, К. Горячева, Л. Донець, С. Ілляшенко, Г. Задорожний, Л. Костирко, О. Ляшенко, Є. Олійник, В. Пономарьов, Р. Сайфулін, О. Терещенко, А. Шеремет, В. Шликов та інших.

Фінансову складову підприємства в теорії економіки підприємства можна розглядати з точки зору двох концептуальних підходів. Перший полягає в тому, що фінансова складова постає як видове поняття по відношенню до поняття «економічна безпека» та субвидовим поняттям по відношенню до категорії «національна безпека».

Суть другого підходу полягає в тому, що, володіючи властивістю дифузійності, фінансова безпека проникає в усі структурні елементи економічної безпеки, виступаючи в цьому сенсі наскрізною інтегральною категорією, що характеризує як актуальні, так і потенційні якості всіх видових і субвидових складових національної безпеки країни [1]. Ефективність діяльності суб'єктів господарювання обумовлено переважно станом їх

фінансів, що призводить до необхідності розгляду проблем забезпечення фінансової безпеки підприємств.

Вирішення проблеми забезпечення фінансової безпеки підприємства вже на другому етапі гальмується відсутністю узгодженої позиції відносно трактуванню сутності цього поняття.

Наприклад, Л.В. Харківська вважає, що фінансова безпека є універсальною категорією, що відображує захищеність суб'єктів соціально-економічних відношень на усіх рівнях [2].

Д. Ванькович розуміє фінансову безпеку як «... захищеність від негативних впливів зовнішнього середовища, а також як здатність швидко усунути різні варіантні загрози, або пристосуватися до існуючих умов, які не позначаються негативно на його діяльності», тим самим висуваючи на перший план захисну функцію цієї функціональної складової [3, с. 132].

О. Барановський доводить, що фінансова безпека перш за все – це «... стан найбільш ефективного використання корпоративних ресурсів», що відповідає ресурснофункціональному підходу. [4, 122 с.].

Н.Носик розглядає зміст фінансової безпеки як характеристику системи, життєздатність якої залежить від її здатності захистити фінансові захоплення, протидіяти зовнішнім та внутрішнім загрозам, зберігаючи при цьому стійкість та рівновагу «... за рахунок ефективного використання фінансового потенціалу» [5, с. 168].

У працях зазначених та інших науковців розкрито сутність поняття фінансової безпеки та сформовані методичні засади відносно оцінки її рівня. У той же час, низка запитань, пов'язаних із визначенням стратегічних пріоритетів забезпечення фінансової безпеки, потребують уточнення.

Метою дослідження є визначення стратегічних пріоритетів в системі управління фінансовою складовою економіки підприємства.

Матеріали та методи

При написанні статті використано переважно економіко-статистичні та економіко-математичні методи аналізу, а саме: групування інформації, детермінованого та кореляційного факторного аналізу, аналізу динаміки та структури, порівняльного аналізу. При визначенні причинно-наслідкових зв'язків застосовано логічні методи: синтезу, індукції та дедукції.

Інформаційно-фактологічну базу дослідження становлять закони України, інші нормативні акти, що регулюють валютний і грошово-кредитний ринки, постанови, розпорядження та звітно-аналітична інформація Національного банку України, офіційні матеріали Державної служби статистики України, Світового банку, Міжнародного валютного фонду, публікації зарубіжних і вітчизняних фахівців з питань фінансової безпеки.

Результати дослідження

Узагальнення наведених вище підходів доводить висновку, що фінансова безпека є ключовою складовою економічної безпеки підприємства, а для управління фінансовою безпекою потрібна певна організаційно-економічна система.

Для цієї системи характерно існування складових, що в процесі своєї діяльності впливають на її стан та динаміку.

Такими складовими є:

- банківська безпека,
- боргова безпека,
- валютна безпека,
- безпека небанківського фінансового сектору,
- бюджетна безпека
- грошово-кредитна безпека.

Розглянемо сутність кожного із зазначених факторів.

Банківська безпека

Питання безпеки банку є актуальною не тільки для банків і підприємств, а майже для всіх учасників ринкових відносин.

Основний напрям фінансової безпеки банків повинен мати своєю метою зростання обсягів та ефективності використання фінансових ресурсів. Привабливими для споживачів цих ресурсів є якість та безпека їх отримання і користування.

Джерелами зовнішніх і внутрішніх загроз та небезпеки банку є банки-конкуренти, зарубіжні й міжнародні організації, конкуруючі юридичні та фізичні особи, які проводять агресивну фінансову політику. Чи не менше безпеку представляють злочинність, корупція, зовнішні та внутрішні банківські ризики.

Фінансово-економічна криза в Україні 2008 року істотно змінила пріоритети та довіру до Банківських установ. У 2013 р. кількість комерційних банків становила 179 установ, у 2014 р. – 150, у 2015 р. – 117, у 2016 р. – 99, у 2017 р. – 88, станом на жовтень 2018 р. – 82 банківські установи [6].

Банківська система виступає результатом дії як об'єктивного, так і суб'єктивного чинників впливу на формування, реалізацію и розвиток фінансової безпеки держави. Негативний вплив на банківську діяльність мають низька рентабельність підприємств і низькі доходи населення. У свою чергу, незадовільний фінансовий стан позичальників потребує створення в банківських установах значних резервів, що в умовах відсутності стабільних джерел надходження ресурсів ускладнює формування ресурсної бази та кількості комерційних банків. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що рівень фінансової безпеки банківської системи України є середнім, а значення показників фінансової безпеки підконтрольні банківській системі, у той час, як підприємства не мають можливість на них впливати.

Боргова безпека

Для України проблема забезпечення боргової безпеки є однією з найбільш гострих в умовах політичної нестабільності та економічної невизначеності. За сучасних умов господарювання відбувається постійне зростання її зовнішнього та внутрішнього боргу [7]. Боргова безпека обумовлена головним чином державним боргом. Розрахунки показали, що динаміка значної кількості показників боргової безпеки має негативні довгострокові тенденції, які потенційно загрожують фінансовій безпеці підприємств [8]. Загрози впливу державного боргу на фінансову безпеку залежать від його співвідношенням із ВВП. Станом

на початок 2019 року воно складало 60,9%. За розрахунком експертів МВФ, максимально допустимий розмір зовнішнього боргу для країн з низькими та середніми рівнями доходів є 49,7% ВВП. При перевищенні цього показника ймовірність фінансових криз зростає до 66,8%. Водночас ряд емпіричних досліджень свідчать, що, вже при нагромадженні зовнішнього боргу понад 30-35% ВВП вплив зовнішньо-боргових операцій на економічне зростання стає негативним [9]. Отже, стан державного боргу оцінюється як загрозовий для фінансової безпеки учасників ринкових відносин та для України в цілому.

Валютна безпека

Валютна безпека включає в себе систему показників і критеріїв, які покликані дати оцінку стану валютного ринку, рівень захищеності його суб'єктів у всіх ланках фінансової системи держави, здійснюваних валютних операцій та наявних на належному рівні золотовалютних запасів країни. Більшість авторів трактують «валютну безпеку» як ступінь забезпеченості держави валютними коштами, достатніми для дотримання позитивного сальдо платіжного балансу, виконання міжнародних зобов'язань, накопичення необхідного обсягу міжнародних резервів, підтримання стабільності національної грошової одиниці [2]. Проти такого підходу немає заперечень. Відповідно методичним рекомендаціям щодо розрахунку рівня економічної безпеки України – це стан курсоутворення, який характеризується високою довірою суспільства до національної грошової одиниці, її стійкістю, створює оптимальні умови для поступального розвитку вітчизняної економіки, залучення в країну іноземних інвестицій, інтеграції України до світової економічної системи, а також максимально захищає від потрясінь на міжнародних валютних ринках. Стан валютного сектору можуть визначати відповідні індикатори та їх порогові значення [10]. Аналіз основних показників валютного ринку свідчить про те, що валютна безпека України існує в умовах наступних загроз: підвищений ризик доларизації економіки; «слабкість» національної валюти; політична нестабільність та зниження рівня довіри населення до органів влади; недостатній рівень міжнародних резервів України та неефективне управління ними; існування обмежень на конвертованість валюти. Перелічені загрози не дозволяють оцінювати валютний ринок як привабливий.

Безпека небанківського фінансового сектору

Відповідно до Методичних рекомендацій оцінки рівня економічної безпеки, серед складових фінансової безпеки держави важливе місце належить безпеці фондового ринку [11]. Загостренню проблеми падіння рівня безпеки фондового ринку сприяє цілий ряд чинників. Одним з найвагоміших чинників є зростання рівня державного боргу, оскільки його неконтрольоване зростання та перевищення допустимого рівня ВВП породжує зниження довіри до національного фондового ринку як внутрішніх, так і зовнішніх інвесторів. Іншим чинником є загострення фінансової та іпотечної кризи. Надмірне завищення цін на нерухомість (від 3 до 5-6 тис. дол. США за м² в обласних центрах, яке мало місце до початку фінансової кризи і було аналогом цін у столицях провідних країн світу) в наслідок міграційних процесів, а також іпотечна та фінансова криза у США призвела до падіння ринку нерухомості в Україні, що в свою чергу призвело до банківської паніки та проблем у секторі небанківського фінансового посередництва. [12] Суттєвою загрозою для фінансової безпеки держави є значний рівень валютизації економіки (близько 30%). Прив'язка цін на товари та послуги (особливо це стосується об'єктів нерухомості) до долара США чи євро (так звані умовні одиниці), переважна частка заощаджень населення, переважно у цій же валюті та фактична фіксація курсу долара США у відношенні до української гривні призводить до паніки на валютному ринку під час загострення ситуації

на валютному ринку США. Спекуляції на фінансовому ринку України зі сторони іноземних банків та інших фінансово-кредитних установ також не сприяють підвищенню рівня безпеки фондового ринку.

Бюджетна безпека

Найбільшу питому вагу у складі фінансової безпеки підприємства займає саме бюджетна безпека, що визначається як стан забезпечення фінансової стійкості та платоспроможності державних фінансів, що надає можливість органам державної влади максимально ефективно виконувати покладені на них функції. Згідно Методичним рекомендаціям щодо оцінки рівня економічної безпеки країни стан бюджетної безпеки оцінюється за наступними індикаторами [13]. *Індикатор бюджетної безпеки* дає можливість проаналізувати вплив фіскальної політики держави на стан фінансової системи, платіжного балансу та на обсяги внутрішнього попиту. Показник протягом досліджуваного періоду має від'ємне значення, тобто спостерігається дефіцит державного бюджету. Оптимальним вважається значення цього показника на рівні 2%, а перевищення 6%, що характерне для України, свідчить про критичний стан державного бюджету. Значення показника коливаються від оптимального до небезпечного стану, що свідчить про значну незбалансованість державних фінансів країни [14, с.131]. Рівень перерозподілу ВВП через зведений бюджет відображає обсяг фінансових ресурсів держави, які перерозподіляються через систему державних фінансів і свідчить про рівень централізації фінансової системи держави. У той же час, масштаби перерозподілу ВВП через зведений бюджет є одним з основних факторів, що впливають на індикатори бюджетної безпеки України [13-14; 15, с. 50-51; 16]. За останній період рівень перерозподілу ВВП через зведений бюджет України майже весь час знаходився у задовільному стані. Але в останні два роки значення індикатору збільшилося, що є негативною тенденцією. В той же час слід зазначити, що у багатьох розвинутих країнах таких, як Швеція, Данія, Франція, Австрія, Фінляндія, рівень бюджетного перерозподілу ВВП перевищує 50%, але при цьому в цих країнах більш рівним є розподіл доходів, вони є менш олігархізованими та більш соціально-орієнтованими, ніж у країнах з низьким рівнем перерозподілу ВВП. Це означає, що нарощення бази ВВП не втрачаючи соціальної орієнтації економіки України є пріоритетом номер один. Індикатор, що показує відношення обсягу сукупних платежів з обслуговування та погашення державного боргу до доходів державного бюджету.

Відношення обсягу сукупних платежів з погашення та обслуговування державного боргу до доходів державного бюджету

Останні десять років простежується тенденція зростання частки боргових платежів у доходах державного бюджету України. Така ситуація обумовлена високими валютними ризиками зовнішньої заборгованості, нестабільною ситуацією з рефінансуванням боргів попередніх років, тиском боргових виплат на державні фінанси (фінансуванням за рахунок державних запозичень значного дефіциту державного бюджету, сформованого під впливом істотного зростання видатків на оборону та на обслуговування боргу) [17, с. 31].

Грошово-кредитна безпека

У сучасному українському законодавстві бракує чіткого визначення загроз безпеці у грошово-кредитній сфері. Передбачається, що загальний перелік загроз економічної безпеки, визначено у Законі України «Про основи національної безпеки України», в новій редакції Стратегії національної безпеки України, Концепції забезпечення національної безпеки у фінансовій сфері поширюється і на грошово-кредитну сферу [18]. Аналіз

законодавчо визначених загроз в економічній безпеці доводить до висновку, що грошово-кредитна система України має суттєві недоліки, що створюють значні загрози економічній безпеці підприємств. Причини мають комплексний характер і пов'язані з макроекономічними дисбалансами, недосконалістю сформованої банківської системи, відсутністю гнучкої грошово-кредитної політики. Зокрема, в Україні не створений дієвий емісійний механізм, механізм гнучкого забезпечення потреб економіки у грошовій масі. Багато питань виникає до інституціональної системи, що повинна забезпечити обіг грошей, що відноситься до обов'язків банків. Потребують врегулювання взаємовідносини між банківською та фіскальною системами. На відміну від розвинутих країн, не задіяно ефективні кредитні механізми фінансування потреб економічних суб'єктів та не забезпечена стабільність національних грошей.

На фінансову безпеку підприємства здійснюють вплив як об'єктивні фактори, що перелічені вище, так і суб'єктивні фактори. Слід зазначити, що виробничі підприємства на об'єктивні фактори безпосереднього впливу не мають. Вони тільки можуть здійснювати моніторинг свого положення і застосовувати певні засоби щодо протидії небажаного впливу. У той же час кожне підприємство додає зусиль для того, щоб адаптуватися до оточуючого середовища та заощадити свої фінанси. Це не простий процес, особливо для малих та середніх підприємств, чий бізнес знаходиться на грані беззбитковості. Підприємство повинно мати власні, захисні інструменти збереження фінансів. Мова йде про створення свого власного захисного середовища, в якому будуть створюватись бар'єри для руйнівних зовнішніх впливів конкурентів, представників корупційних структур, кримінальних структур, тощо. Насамперед, такі структури потрібні для фінансової підтримки та гарантування попиту на створювану продукцію. Іншими словами, забезпечувати та підтримувати конкурентоспроможність. Одним із таких «сховищ» для підприємства є інноваційно-виробничий кластер [19]. Світовою практикою доведено переваги цих мережевих структур. По-перше, в кластерах відновлюються виробничі зв'язки, що є гарантією підтримки бізнесу. Відновлення таких зв'язків на старій технологічній базі не має сенсу та взагалі неможливо. До того ж, вирішальне значення у міжгалузевій інтеграції має технологічна сумісність. Тобто, первинним є технологія та обладнання, вторинним, або супутнім – міжгалужева кооперація. Саме на її забезпечення спрямовано технологічний реінжиніринг. Під технологічним реінжинірингом (ТР) розуміється фундаментальне переосмислення і радикальне перепроєктування основних технологічних процесів виробничої бази підприємств і їх матеріально-технічного забезпечення для досягнення істотних поліпшень показників результативності на основі повної зміни структури і процедур виробничих процесів з послідовним відтворенням коопераційних виробничих зв'язків. Методологія технологічного реінжинірингу – це система маркетингових, інжинірингових, організаційно-економічних, соціальних та логістичних заходів стратегічного значення. Вона виходить із постулату, що технологія є базовою конкуренто утворюючою основою виробництва і розглядається як концепція, що покликана поєднати усі ланки виробничого сектору країни у реалізації стратегії комплексного розвитку як індустріальної держави. Впровадження методології технологічного реінжинірингу засновано на уявленні про тенденції розвитку світового машинобудування та їх впливу на вітчизняну промисловість і базуються на визнанні пріоритетної ролі машинобудівного комплексу України. Методологія технологічного реінжинірингу передбачає створення нового змісту промислової політики та розробку нових моделей у контексті формування міжгалузевої кооперації, що слід розглядати як альтернативу галузевому принципу управління. Методичне забезпечення створення та розвитку нових форм кластерної взаємодії слід розвивати на основі регіональної кластерної політики. Регіональна кластерна політика, як концепція, отримала широкий розвиток та інтегрує регіональну, економічну і промислову політику. Кластерна політика – це заходи,

які проводяться органами державної або регіональної влади зі створення та підтримки кластерів на певних територіях. Система комплексної підтримки кластерів створена в Європі. Із 31 європейської країни 26 мають національні кластерні програми, при чому 24% кластерів є світовими лідерами, 12% – європейськими лідерами, 37% – національними та ще 24% кластерів лідирують як економічні суб'єкти з високим рівнем виробництва праці. Від галузевої моделі до кластерної перейшло державне управління у Фінляндії. Документом, в якому сформульовані основні завдання регіональної кластерної політики, є Європейський кластерний Меморандум країн – членів Європейського Союзу. Аналіз світового досвіду та національних особливостей кооперації дозволив сформулювати основні принципи регіональної кластерної політики щодо України та пріоритетні напрямки її розвитку. Участь у кластерних програмах виробничих підприємств, включаючи малий та середній бізнес, забезпечить можливість відтворення замкнутих технологічних циклів виробництва та ланцюгів отримання доданої вартості, що сьогодні особливо актуально для підприємств оборонно-промислового комплексу [18]. Таким чином, кластеризація створює не тільки привабливе інституційне середовище, а й об'єктивні умови забезпечення фінансової безпеки підприємства.

Висновки з проведеного дослідження

Підвищення стійкості грошово-кредитної системи до існуючих загроз і викликів потребує суттєвого вдосконалення існуючих монетарних інструментів та, взагалі, грошово-кредитної політики держави. Стратегічними пріоритетами, на нашу думку, слід визначити підтримку малого і середнього бізнесу, створення умов для здійснення масштабного технологічного реінжинірингу промислових підприємств, сприяння процесам кластеризації вітчизняних підприємств.

Список використаної літератури:

1. Мельник С.І. Система управління фінансовою безпекою підприємства. Формування ринкових відносин в Україні. 2019. № 3 (214) С. 76-82.
2. Харьковская Л.В., Харьковский М.Б. Управление финансовой безопасностью предприятия. Синергия. 2017. № 4, С. 51-57.
3. Ванькович Д. Роль фінансової безпеки підприємства в управлінні його фінансовими ресурсами. Актуальні проблеми економіки перехідного періоду. 1999. Вип.
4. С. 131-135. 4. Барановський О.І. Фінансова безпека: монографія. Інститут економічного прогнозування. Київ: Фенікс, 1999. 338 с.
5. Пойда-Носик Н.Н. Дослідження теоретичних аспектів сутності фінансова безпека. Вісник Донецького національного університету. Сер. В: Економіка і право. 2011. Вип. 2. С. 164-170.
6. Сайт НБУ. URL: <https://www.bank.gov.ua/control/uk/index> (дата звернення: 19.04.2019).
7. Вахненко Т.П Особливості формування державного боргу та управління його складовими в період фінансової кризи. Фінанси України 2010. №6. URL: <https://naub.oa.edu.ua/2015/впливдержавногоборгу-нафінансову-безпеку/> (дата звернення: 19.04.2019).
8. Портал ЛІГА: ЗАКОН: URL: (дата звернення: 19.04.2019).
9. Державний борг України. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/debtgov/> (дата звернення: 19.04.2019).
10. Статистичні матеріали Національного банку України. Грошово-кредитна та фінансова статистика, архів 2008-2015 рр. Національний банк України URL: http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=57897 (дата звернення: 19.04.2019).
11. Методичні рекомендації щодо оцінки рівня економічної безпеки України/ За ред. акад. НАН України С.І. Пиріжкова. К.: НІМБ, 2003. 42 с.
12. Макроекономічний та монетарний огляд. Департамент монетарної політики та економічного аналізу Національного банку України. Грудень 2015. URL: http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=17612907&cat_id=26799937 (дата звернення: 19.04.2019).

13. Паєнтко Т.В., Поплавська М.В. Безпека фондового ринку в контексті зміцнення фінансової безпеки держави Збірник наукових праць Національного університету державної податкової служби України, 2011. № 2. С. 215-221.
14. Рудик, Н.В. Фінансова безпека в системі управління державними фінансами. Науковий вісник Херсонського державного університету. 2014. Вип. 5, Ч. 4. С. 128-133.
15. Serebrianskiy D.M., Vdovychenko A.M., Zubrytskyi, A.I. (2017) Otsinka rivnia ta efektyvnosti pererozpodilu VVP cherez publichnyi sektor ekonomiky Ukrainy. *Finansy Ukrainy*, 4, 45-57.
15. Марків, Г., Синявська Л., Рубай О. Вплив державного боргу на боргову безпеку України. *Аграрна економіка*. 2014. Т. 7, № 3-4. С. 29-37.
16. Про основи національної безпеки України: закон України від 19.06. 2003 р. № 964-IV (станом на 13.06.2012 р.) URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/main/a#Find> (дата звернення: 19.04.2019).
17. Мехович С.А. Регіони України: стратегія і політика розвитку: монографія. Харків: ТОВ «Планетапринт», 2016. 436 с.

References:

1. Melnik S.I. (2019) Sistema upravlinnja finansovuju bezpekoju pidpriemstva Formuvannja rinkovih vidnosin v Ukraini. no. 3(214), pp. 70-82.
2. Harkovskaja L.V., Harkovskij M.B. (2017) Upravlenie finansovoj bezopasnost'ju predprijatija Sinergija. no. 4, pp. 51-57.
3. Van'kovich D. (1999) Rol' finansovoi bezpeki pidpriemstva v upravlinni jogo finansovimi resursami Aktual'ni problemi ekonomiki perehidnogo periodu. vol. 4, pp. 131-135.
4. Baranovskij O.I. (1999) Finansova bezpeka Institut ekonomichnogo prognozuvannja. Kiyv: Feniks.
5. Pojda-Nosik N.N. (2011) Doslidzhennja teoretichniha spektiv sutnosti finansova bezpeka Visnik Donec'kogo nacional'nogo universitetu. Ser. V: Ekonomika i pravo. vol. 2, pp. 164-170.
6. Sajt NBU. Available at: <https://www.bank.gov.ua/control/uk/index>. (accessed 19 April 2019).
7. Vahnenko T.P. (2010) Osoblivosti formuvannja derzhavnogo borгу ta upravlinnja jogo skladovimi v period finansovoi krizi Finansi Ukraini. no. 6. Available at: <https://naub.oa.edu.ua/2015/vpliv-derzhavnogoborguna-finansovu-b/> (accessed 19 April 2019).
8. Portal LIHA: ZAKON Available at: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ME131588.html (accessed 19 April 2019).
9. Derzhavnyi borh Ukrainy Available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/debtgov/> (accessed 19 April 2019).
10. Statistichni materiali Nacional'nogo banku Ukraini. Groshovo-kreditna ta finansova statistika, arhiv 2008-2015 rr. Nacional'nij bank Ukraini. Available at: http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=57897 (accessed 19 April 2019).
11. Pirizhkov S.I. (ed.) (2003) Metodichni rekomendacii shhodo ocinki rivnja ekonomichnoi bezpeki v Ukraini K.: NIMB.
12. Makroekonomichnij ta monetarnij ogljad. Departament monetarnoi politiki ta ekonomichnogo analizu Nacional'nogo banku Ukraini. Gruden' 2015. Nacional'nij bank Ukraini Available at: http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=17612907&cat_id=26799937 (accessed 19 April 2019).
13. Paentko T.V., Poplavs'ka M.V. (2011) Bezpeka fondovogo rинку v konteksti zmцennja finansovoi bezpeki derzhavi Zbirnik naukovih prac' Nacional'nogo universitetu derzhavnoi podatkovoї sluzhbi Ukraini, no. 2, pp. 215-221.
14. Rudik N.V. (2014) Finansova bezpeka v sistemi upravlinnja derzhavnimi finansami Naukovij visnik Hersons'kogo derzhavnogo universitetu. vol. 5, no. 4, pp. 128-133.
15. Serebrianskiy D.M., Vdovychenko A.M., Zubrytskyi A.I. (2017) Otsinka rivnia ta efektyvnosti pererozpodilu VVP cherez publichnyi sektor ekonomiky Ukrainy. *Finansy Ukrainy*, no. 4, pp. 45-57.
16. Markiv G., Sinjavs'ka L., Rubaj O. (2014) Vpliv derzhavnogo borгу na borgovu bezpeku Ukraini *Аграрна економіка*. vol. 7, no. 3-4, pp. 29-37.
17. Pro osnivi nacional'noi bezpeki Ukraini: zakon Ukraini vid 19.06. 2003 r. № 964-IV (stanom na 13.06.2012 r.) Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/main/a#Find> (accessed 19 April 2019).
18. Mehovich S.A. (2016) Regiony Ukraini: ctrategija i politika rozvitku Kharkiv: TOV «Planeta-print».

Прийнята до друку 23.12.2019

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

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

За 12 місяців 2019 року, за фактичними даними, обсяг виробництва електроенергії електростанціями України, які входять до Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, у цілому склав 153964,8 млн кВт·г, що на 5385,8 млн кВт·г, або на 3,4 менше, ніж за 12 місяців 2018 року. При цьому, тепловими електростанціями генеруючих компаній вироблено 44914,9 млн кВт·г, що на 2877,0 млн кВт·г, або на 6,0% менше, ніж за 12 місяців 2018 р. Теплоелектроцентралями та когене-раційними установками вироблено 10869,7 млн кВт·г, що на 146,2 млн кВт·г, або на 1,3% менше, ніж за відповідний період минулого року. Атомними електростанціями вироблено 83002,6 млн кВтг, що у порівнянні з відповідним періодом 2018р. менше на 1395,6 млн кВт·г, або на 1,7%. Гідроелектростанціями та гідроакмулюючими електростанціями за 12 місяців 2019 р. було вироблено 7869,0 млн кВт·г, що на 4139,4 млн кВт·г, або на 34,5% менше, ніж за 12 місяців 2018 року.

Виробіток ТЕС та ТЕЦ за 12 місяців 2019 року від загального по ОЕС склав 36,2%, виробіток електроенергії АЕС склав 53,9%, а виробіток ГЕС та ГАЕС – 5,1%. За 12 місяців 2018 р. частка виробітку ТЕС та ТЕЦ, АЕС, ГЕС та ГАЕС складала відповідно 36,9%, 53,0% і 7,5%.

Виробництво електроенергії блок-станціями та іншими джерелами за 12 місяців 2019 року склало 1766,3 млн кВт·г, що на 262,8 млн кВтг, або на 17,5% більше, ніж за відповідний період минулого року.

Виробництво електроенергії альтернативними джерелами (ВЕС, СЕС, біомаса) за 12 місяців 2019 року склало 5542,3 кВтг (3,6% загального виробництва електроенергії за рік), що на 2909,6 млн кВтг, або на 110,5% більше, ніж за відповідний період 2018 року.

За 12 місяців 2019 р. тепловими та атомними електростанціями і районними котельнями Мінекоенерго відпущено 21479,7 тис. Гкал тепла, що на 1322,8 тис. Гкал або на 5,8% менше показника за 12 місяців 2018 р.

Динаміка і структура виробництва електроенергії по Україні

	12 місяців 2018 р.		12 місяців 2019 р.		+/- до 2018р.	
	млн кВт·г	у % до заг. виробн.	млн кВт·г	у % до заг. виробн.	млн кВт·г	%
Виробіток електроенергії – всього	159350,6	100,0	153964,8	100,0	-5385,8	-3,4
у тому числі:						
ТЕС та ТЕЦ, з них:	58807,8	36,9	55787,6	36,2	-3023,2	-5,1
ТЕС ГК - всього	47791,9	30,0	44914,9	29,2	-2877,0	-6,0
ТЕЦ та когенераційні установки	11015,9	6,9	10869,7	7,1	-146,2	-1,3
ГЕС та ГАЕС, з них:	12008,4	7,5	7869,6	5,1	-4139,4	-34,5
ГЕС	10429,4	6,5	6521,9	4,2	-3907,5	-37,5
ГАЕС	1579,0	1,0	1347,1	0,9	-231,9	-14,7
АЕС. всього	84398,2	53,0	83002,6	53,9	-1395,6	-1,7
Альтернативні джерела (ВЕС, СЕС, біомаса)	2632,7	1,7	5544,3	3,6	2911,6	110,6
<i>Блок-станціями та інш. джерелами</i>	1503,5	0,9	1766,3	1,1	252,9	16,8

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-грудня 2019 року склав 25593,8 тис. тонн, що на 54,9 тис. тонн менше, ніж за 12 місяців 2018 року. Від підприємств вугільної галузі України – 19566,7 тонн, що на 950,6 тис. тонн менше, ніж за 12 місяців 2018 року. Витрати вугілля склали 24282,0 тис. тонн. Запас вугілля станом на 01.01.2020р. – 2786,5 тис. тонн.

Запаси вугілля на 01.01.2020 р. на складах підвідомчих Мінекоенерго підприємств становили 2786,5 тис. тонн, що на 1311,8 тонн більше, ніж у 2018 році (1474,7 тис. тонн) при номінальній місткості вугільних складів 5080 тис. тонн.

Топкового мазуту за 12 місяців 2019 р. спожито 48,5 тис. тонн, що на 89,1 тис. тонн менше, ніж за відповідний період 2018 р. Запас мазуту на 01.01.2020 р. на підвідомчих Міністерству підприємствах склав 32,0 тис. тонн.

Використання природного газу на теплових електростанціях України за 12 місяців 2019 р. становило 4229,2 млн куб. м, що на 121,0 куб. м більше, ніж за цей період 2018 р. При цьому ТЕС енергогенеруючих компаній спожили 315,8 млн куб. м, що на 107,4 куб. м більше, ніж за 12 місяців 2018 р.

Станом на 01.01.2020 в українських підземних сховищах газу знаходилось 18,9 млрд куб. м природного газу, що на 5,0 млрд куб. м або на 36,5% більше запасу газу порівняно з 01.01.19 р. Відбір газу за 2019 рік склав 7,74 млрд куб. м.

За 12 місяців 2019 року спостерігається зменшення електроспоживання (брутто), яке склало 150214,8 млн кВт·г, що на 2979,6 млн кВт·г, або на 1,9% менше, ніж за 12 місяців 2018 року. Споживання електроенергії (нетто) галузями національної економіки та населенням склало 120219,4 млн кВт·г проти 122143,5 млн кВт·г за 12 місяців 2018 року.

Динаміка і структура споживання електроенергії за 12 місяців 2019 р.

Групи споживачів	Ел.споживання 2019р. млн кВт·г	+ / - до 2018 р. млн кВт·г	+ / - до 2018 р. %	Питома вага, % 2018 р.	Питома вага, % 2019 р.
Споживання ел.ен. (брутто)	150234,8	-2979,6	-1,9		
Споживання ел.ен. (нетто)	120219,4	-1924,2	-1,6	100,0	100,0
у тому числі:					
1.Промисловість	51154,6	-868,5	-1,7	42,6	42,6
у тому числі:					
Паливна	3396,4	-146,8	-4,1	2,9	2,8
Металургійна	28694,2	-864,6	-2,9	24,2	23,9
Хімічна та нафтохімічна	3747,7	632,3	20,3	2,6	3,1
Машинобудівна	3666,1	-418,4	-10,2	3,3	3,0
Будів.матеріалів	2263,9	32,8	1,5	1,8	1,9
Харчова та переробна	4486,1	-50,2	-1,1	3,7	3,7
Інша	4900,1	-53,7	-1,1	4,1	4,1
2.Сільгоспспоживачі	3710,0	-157,8	-4,1	3,2	3,1
3.Транспорт	6603,3	-351,8	-5,1	5,7	5,5
4.Будівництво	967,4	3,0	0,3	0,8	0,8
5.Ком.-побутові споживачі	15066,2	-440,2	-2,8	12,7	12,5
6.Інші непромисл. споживачі	7482,0	601,8	8,7	5,6	6,2
7.Населення	35236,0	-710,8	-2,0	29,4	29,3

Зменшення електроспоживання (нетто) відбулося, переважно, за рахунок зменшення обсягу споживання електричної енергії металургійною промисловістю (на 2,9%), транспортом (на 5,1%) та комунально-побутовими споживачами (на 2,8%) та населенням (на 2,0%).

Видобуток вугілля. За 12 місяців 2019 р. вугледобувними підприємствами України видобуто **31,22 млн тонн** вугілля, що на 2062,0 тис. тонн (або на 6,2%) менше порівняно із січнем-груднем 2018 р.

В цілому видобуток енергетичного вугілля склав **24,9 млн тонн**, він зменшився на 2575,9 тис. тонн (або на 9,4%), коксівного – склав **6,32 млн тонн**, що більше на 513,9 тис. тонн (або на 8,8%).

Упродовж січня-грудня 2019 року вугледобувними підприємствами, що підпорядковані Мінекоенерго України, видобуто вугілля **3,57 млн тонн**, що на 130,7 тис. тонн (або на 37,1%) менше, ніж за цей період 2018 року.

Видобуток енергетичного вугілля зменшився на 132,2 тис. тонн (або на 45,2%) порівняно з відповідним періодом 2018 року і коксівного збільшився на 1,5 тис. тонн (або на 2,5%), а видобуток відповідно склав **2,72 та 0,85 млн тонн**.

Видобуток нафти та газу. З початку 2019 року в Україні видобуто **2,086 млн тонн** нафти з газовим конденсатом і **20,30 млрд куб. м.** газу. У минулому році, відповідно, ці показники становили – 2,104 млн тонн нафти з газовим конденсатом та 20,50 млрд куб. м газу.

Підприємства НАК "Нафтогаз України" видобули за січень-грудень 2019 року **1,951 млн тонн** нафти з конденсатом (у 2018 році – 1,889 млн тонн) і **15,7 млрд куб. м** газу (у 2018 р. – 16,3 млрд куб. м).

Інші підприємства за 12 місяців 2019 року видобули **0,094 млн тонн** нафти з газовим конденсатом (у 2018 році 0,180 млн тонн) і **4,5 млрд куб. м** газу (у 2018 році – 4,2 млрд куб. м).

Поставка та переробка нафти. У січні-грудні 2019 р. на Дрогобицький нафтопереробний завод (НПЗ) та Шебелинський газопереробний завод (ГПЗ) поставлено **877,1 тис. тонн нафтової сировини** українських родовищ (нафта з газовим конденсатом). Обсяг переробки газового конденсату з нафтою Шебелинським ГПЗ у січні-грудні 2019 р. склав **472,7 тис. тонн**, що на 4,1% більше обсягу переробки у 2018 році.

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-грудні 2019 р. було завантажено на 48,2% (у 2018 році на 46,5%).

Транспортування нафти. У січні-грудні 2019 р. обсяг транспортування нафти підприємствами магістральних нафтопроводів збільшився порівняно з 2018 р. на 73,2 тис. тонн (або на 0,5%) і склав **15508,9 тис. тонн**. При цьому транзитом до країн Західної Європи (Словаччини, Угорщини, Румунії, Польщі, Молдови) протранспортовано **13126,6 тис. тонн**, що на 1,6% (або на 208,1 тис. т) менше порівняно із аналогічним показником 2018 р., а для потреб України – **2382,3 тис. тонн**, що на 13,4% (або на 281,3 тис. т) більше у порівнянні з відповідним періодом 2018 р.

За січень-грудень 2019 року транзитні обсяги перекачки у загальному обсязі складають **84,6%**, а на нафтопереробні підприємства України – **15,4%**.

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

ФОРМА РОЗПОДІЛУ (про надходження коштів з оплати послуг за розподіл електроенергії)	Обсяги розподілу електричної енергії	Нараховано за послуги розподілу електроенергії	Надходження коштів з оплати послуг за розподіл електроенергії	Борг/ Переплата станом на 01.01.2020
	тис. кВт·год	тис. грн	тис. грн	тис. грн
Разом	111 374 255,1	50 728 701,3	53 701 156,5	-2 970 490,2
АТ «Вінницяобленерго»	2 848 140,1	1 944 108,4	1 915 318,1	28 790,3
ПрАТ «Волиньобленерго»	1 573 823,2	1 097 058,9	1 088 390,8	8 668,1
АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»	17 202 808,2	4 423 085,3	4 979 797,6	-556 714,8
АТ «ДТЕК Донецькі електромережі»	2 926 302,1	2 164 909,5	2 542 881,0	-377 971,5
АТ «Житомиробленерго»	2 347 431,0	1 738 914,4	1 815 117,3	-76 256,1
ПрАТ «Закарпаттяобленерго»	1 778 196,8	1 598 454,5	1 542 337,3	56 117,2
ПАТ «Запоріжжяобленерго»	7 721 646,2	2 376 595,3	2 326 603,4	49 991,9
АТ «Прикарпаттяобленерго»	2 352 030,5	1 591 493,6	1 629 502,0	-38 008,4
ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»	9 272 783,6	2 254 659,9	3 197 294,5	-940 021,2
ПрАТ «Київобленерго»	6 009 750,6	3 146 064,9	3 443 153,1	-297 088,2
ПрАТ «Кіровоградобленерго»	1 876 294,0	1 451 313,0	1 543 293,0	-91 980,0
ТОВ «Луганське енергетичне об'єднання»	1 183 307,4	1 197 059,8	1 203 815,3	-10 641,2
ПрАТ «Львівобленерго»	4 095 680,6	2 623 285,6	2 729 898,7	-106 613,9
АТ «Миколаївобленерго»	2 565 160,8	1 431 544,9	1 492 637,3	-61 092,4
АТ «Одесаобленерго»	5 723 427,5	3 609 068,7	3 594 980,7	14 088,0
АТ «Полтаваобленерго»	4 984 715,2	1 878 070,3	2 325 180,6	-443 971,4
ПрАТ «Рівнеобленерго»	2 156 033,6	1 178 386,9	1 217 121,4	-38 734,4
ПАТ «Сумиобленерго»	1 940 775,6	1 465 532,6	1 475 731,0	-10 198,5
ВАТ «Тернопільобленерго»	1 285 409,7	1 115 379,5	1 183 543,8	-68 164,3
АТ «Харківобленерго»	6 023 797,3	3 190 630,5	3 119 738,9	70 891,5
АТ «Херсонобленерго»	2 285 333,2	1 487 595,2	1 544 402,5	-56 807,3
АТ «Хмельницькобленерго»	2 181 969,6	1 610 742,0	1 608 837,2	1 904,8
ПАТ «Черкасиобленерго»	2 920 266,2	1 446 668,4	1 460 092,6	-13 424,2
АТ «Чернівціобленерго»	1 320 654,8	942 384,4	991 362,4	-48 628,6
АТ «Чернігівобленерго»	1 707 226,0	1 360 100,7	1 404 985,7	-44 885,0
ПрАТ «ДТЕК ПЕМ- Енерговугілля»	415 929,7	89 238,5	80 883,4	8 498,4
ДП «Регіональні електричні мережі»	1 295 053,6	337 600,4	201 916,8	135 683,5
ТОВ «ДТЕК Високовольтні мережі»	6 293 694,8	293 197,9	317 685,4	-24 487,5
ПрАТ «ПЕЕМ «Центральна енергетична компанія»	720 151,0	365 201,0	409 620,6	-44 720,7
ДПЕМ ПрАТ «Атомсервіс»	743 771,2	45 741,9	45 583,9	158,0
АТ «Укрзалізниця»	5 586 300,5	1 252 562,1	1 248 721,7	3 803,7
КП «Міські електричні мережі»	36 390,1	22 052,2	20 728,3	1 323,9

Електропостачальники (Універсальна послуга)	Відпущено енергії за звітний період	Оплачено за спожиту енергію за звітний період		Борг за спожиту енергію станом на 01.01.2020
		Всього		
	тис. грн	тис. грн	% від вартості відпущеної енергії	тис. грн
Разом	80 727 196	77 050 831	95,4	3 688 998
ТОВ «Енера Вінниця»	2 664 572	2 575 730	96,7	101 112
ТОВ «Волиньелектрозбут»	1 804 135	1 700 293	94,2	103 842
ТОВ «Дніпровські енергетичні послуги»	7 151 726	6 970 776	97,5	180 949
ТОВ «Донецькі енергетичні послуги»	3 270 294	3 076 693	94,1	193 601
ТОВ «Житомирська обласна енергопостачальна компанія»	2 259 805	2 139 624	94,7	120 181
ТОВ «Закарпаттяенергозбут»	2 637 326	2 555 299	96,9	82 027
ТОВ «Запоріжжяелектропостачання»	3 942 640	3 697 781	93,8	235 525
ТОВ «Прикарпатенерготрейд»	2 221 897	2 085 597	93,9	136 300
ТОВ «Київські енергетичні послуги»	7 522 154	7 496 910	99,7	25 245
ТОВ «Київська обласна енергопостачальна компанія»	6 122 303	5 636 816	92,1	485 487
ТОВ «Кіровоградська обласна енергопостачальна компанія»	1 829 832	1 727 524	94,4	102 308
ТОВ «Енера Схід»	1 177 616	1 178 932	100,1	-1 317
ТОВ «Львівенергозбут»	4 529 620	4 278 092	94,4	251 528
ТОВ «Миколаївська електропостачальна компанія»	2 198 783	2 075 341	94,4	123 442
ТОВ «Одеська обласна енергопостачальна компанія»	6 550 544	6 132 487	93,6	418 057
ТОВ «Полтаваенергозбут»	2 703 730	2 777 951	102,7	-74 221
ТОВ «Рівненська обласна енергопостачальна компанія»	1 994 398	1 870 170	93,8	124 228
ТОВ «Енера Суми»	1 874 675	1 780 285	95,0	94 390
ТОВ «Тернопільелектропостач»	1 663 901	1 550 997	93,2	112 904
ПрАТ «Харківенергозбут»	5 359 572	5 053 529	94,3	306 043
ТОВ «Херсонська обласна енергопостачальна компанія»	3 218 008	3 068 343	95,3	149 665
ТОВ «Хмельницькенергозбут»	2 311 961	2 157 472	93,3	154 489
ТОВ «Черкасиенергозбут»	2 178 114	2 084 244	95,7	93 870
ТОВ «Чернівецька обласна енергопостачальна компанія»	1 709 628	1 657 474	96,9	61 851
ТОВ «Енера Чернігів»	1 829 963	1 722 473	94,1	107 490

Постачальник «останньої надії»	Відпущено енергії за звітний період	Оплачено за спожиту енергію за звітний період		Борг за спожиту енергію станом на 01.01.2020
		Всього		
	тис. грн	тис. грн	% від вартості відпущеної енергії	тис. грн
ДПЗД «Укрінтеренерго»	3 167 391	1 697 352	53,6	1 468 197

Електропостачальники (Вільні ціни)	Відпущено енергії за звітний період	Оплачено за спожиту енергію за звітний період		Борг за спожиту енергію станом на 01.01.2020
		Всього		
	тис. грн	тис. грн	% від вартості відпущеної енергії	тис. грн
Разом	39 745 156	41 070 664	103,3	-1 437 201
ТОВ «Енера Вінниця»	1 334 779	1 276 504	95,6	-54 362
ТОВ «Волиньелектрозбут»	453 967	448 527	98,8	5 440
ТОВ «Дніпровські енергетичні послуги»	6 246 008	6 645 875	106,4	-399 867
ТОВ «Донецькі енергетичні послуги»	2 742 376	2 729 185	99,5	13 191
ТОВ «Житомирська обласна енергопостачальна компанія»	1 026 003	1 016 122	99,0	9 881
ТОВ «Закарпаттяенергозбут»	459 622	480 516	104,5	-20 894
ТОВ «Запоріжжяелектропостачання»	861 561	895 607	104,0	-30 958
ТОВ «Прикарпатенерготрейд»	1 166 334	1 125 838	96,5	40 496
ТОВ «Київські енергетичні послуги»	8 091 737	8 864 902	109,6	-773 164
ТОВ «Київська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана			
ТОВ «Кіровоградська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана			
ТОВ «Енера Схід»	994 968	1 044 782	105,0	-49 813
ТОВ «Львівенергозбут»	3 192 153	3 098 519	97,1	93 634
ТОВ «Миколаївська електропостачальна компанія»	1 167 616	1 144 389	98,0	23 227

ТОВ «Одеська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана			
ТОВ «Полтаваенергозбут»	2 356 115	2 555 175	108,4	-199 060
ТОВ «Рівненська обласна енергопостачальна компанія»	Інформація не була надана			
ТОВ «Енера Суми»	1 690 436	1 673 956	99,0	16 742
ТОВ «Тернопільелектропостач»	715 297	703 755	98,4	11 542
ПрАТ «Харківенергозбут»	2 700 805	2 821 934	104,5	-121 129
ТОВ «Херсонська обласна енергопостачальна компанія»	939 756	912 898	97,1	26 858
ТОВ «Хмельницькенергозбут»	869 912	856 465	98,5	13 447
ТОВ «Черкасиенергозбут»	1 157 486	1 180 580	102,0	-23 094
ТОВ «Чернівецька обласна енергопостачальна компанія»	559 197	580 036	103,7	-34 870
ТОВ «Енера Чернігів»	949 001	927 012	97,7	21 989
ДПЗД «Укрінтеренерго»	70 026	88 087	125,8	-6 438

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	4 991 511,0	27 720 897,8
АТ «Вінницяобленерго»	255 102,0	203 413,0	54 314,0
ПрАТ «Волиньобленерго»	140 419,0	126 067,0	13 065,0
АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»	655 829,1	-466 524,0	926 827,8
АТ «ДТЕК Донецькі електромережі»	946 400,0	244 698,0	731 954,0
АТ «Житомиробленерго»	161 395,0	130 021,0	23 266,0
ПрАТ «Закарпаттяобленерго»	148 912,0	121 173,0	23 125,0
ПАТ «Запоріжжяобленерго»	2 080 834,0	416 662,0	1 670 203,0
АТ «Прикарпаттяобленерго»	225 418,0	212 558,0	12 860,0
ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»	271 461,0	-59 196,4	304 764,1
ПрАТ «Київобленерго»	540 854,0	448 497,5	92 356,5
ПрАТ «Кіровоградобленерго»	152 902,0	130 495,0	17 622,0
ПАТ ДТЕК «Крименерго»	506 048,2	0,0	506 048,2
ВАТ «Луганськобленерго»	851 586,6	0,0	851 586,6

ТОВ «Луганське енергетичне об'єднання»	2 051 086,0	59 477,0	1 990 628,0
ПрАТ «Львівобленерго»	356 448,0	333 920,0	19 124,0
АТ «Миколаївобленерго»	212 302,0	135 415,0	83 182,0
АТ «Одесаобленерго»	612 429,0	496 435,5	115 993,5
АТ «Полтаваобленерго»	280 223,0	138 717,0	138 855,0
ПрАТ «Рівнеобленерго»	130 327,0	118 822,3	11 159,7
ПАТ ЕК «Севастопольенерго»	65 224,0	0,0	65 224,0
ПАТ «Сумиобленерго»	436 655,0	154 081,0	282 413,0
ВАТ «Тернопільобленерго»	118 844,0	104 253,0	16 312,0
АТ «Харківобленерго»	2 583 486,0	662 015,0	1 568 971,0
АТ «Херсонобленерго»	299 818,0	199 458,0	91 316,0
АТ «Хмельницькобленерго»	148 155,0	134 232,0	13 923,0
ПАТ «Черкасиобленерго»	2 035 222,0	338 423,0	1 697 856,0
АТ «Чернівціобленерго»	275 787,0	236 471,0	150 176,0
АТ «Чернігівобленерго»	171 955,0	138 944,0	25 158,0
ПрАТ «ДТЕК ПЕМ-Енерговугілля»	2 313 967,0	73 389,0	2 302 800,0
ДП «Регіональні електричні мережі»	13 698 650,7	13 561,0	13 685 124,4
ТОВ «ДТЕК Високовольтні мережі»	379 693,7	146 033,1	234 689,9

Довідка про перерахування коштів за електричну енергію виробникам та іншим учасникам ОРЕ за січень-червень 2019 р. Всього сплачено 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), Закарпаттяобленерго 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 за січень-червень 2019 р. 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-грудень 2019 року склала **109,7 млрд куб. м** (за відповідний період 2018 року – 106,6 млрд куб. м).

За зовнішньоекономічними контрактами до України надійшло **89,6 млрд куб. м** природного газу (за відповідний період 2018 року – 86,8 млрд куб. м).

Споживачі України за цей період 2019 року використали **29,1 млрд куб. м** природного газу (за відповідний період 2018 р. – 31,4 млрд куб. м).

Запаси газу в ПСГ на 01.01.2020 становлять **18,9 млрд куб. метрів**, що на 5,0 млрд куб. м більше ніж у відповідний період 2019 року.

Відбір природного газу з ПСГ за 2019 рік склав **7,74 млрд куб. метрів** (за відповідний період 2018 року – 10,1 млрд куб.м).

За січень-грудень 2019 року, за фактичними даними, протранспортовано через територію України (транзит) природного газу всього **89,6 млрд куб. м**, що на 2,8 млрд куб. м (або на 3,3%) більше ніж за відповідний період 2018 року.

Імпорт газу за січень-грудень 2019 року склав **14200 млн куб. метрів**.

Капітальні інвестиції галузей ПЕК (без врахування нафтогазового комплексу)

Протягом **2019 року** підприємствами галузей ПЕК, що належать до сфери управління Мінекоенерго України, за рахунок усіх джерел фінансування освоєно **25 849,6 млн грн** капітальних вкладень, що на 18,8% більше відповідного показника 2018 року.

В енергетиці освоєно **25 787,4 млн грн** капітальних вкладень, що на 19,2% більше порівняно з аналогічним показником минулого року.

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

У вугільній галузі освоєно **62,2 млн грн** капітальних вкладень, що на 53,0% менше порівняно з аналогічним показником минулого року.

Розвиток галузей ПЕК та технічний стан підприємств

Протягом 2019 року підприємствами галузей ПЕК, що належать до сфери управління Мінекоенерго України, за рахунок усіх джерел фінансування освоєно **25849,6 млн грн** капітальних вкладень на 18,8% більше відповідного показника 2018 року.

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

Плановими обсягами асигнувань з Державного бюджету на 2019 рік передбачено видатки за бюджетною програмою «Ліквідація вугледобувних та торфодобувних підприємств» у сумі **159,0 млн гривень**.

За оперативними даними з початку року підприємствам, що знаходяться на стадії ліквідації та підготовки до ліквідації, а також з утримання водовідливних комплексів спрямовано **126,7 млн гривень**, у тому числі:

- шахти, які готуються до ліквідації – 63,1 млн грн;
- ДП «Укршахтгідрозахист» - 13,6 млн грн;
- ДП «ОК «Укрвуглереструктуризація» - 50,0 млн грн.

Підсумки роботи підприємств ядерної енергетики та атомної промисловості за грудень та з початку 2019 р. у порівнянні з аналогічним періодом 2018 р.

Атомні електростанції. У грудні 2019 року ДП «НАЕК «Енергоатом» ви-роблено **8339,1 млн кВт•г**, що на 257,6 млн кВт•г більше порівняно з відповідним періодом 2018 року. Коефіцієнт використання встановленої потужності у грудні 2019 р. становив **80,8 %**, що на 2,5% більше показника минулого року.

Частка АЕС у виробництві електроенергії в Україні у січні-грудні 2019 р. становила 53,9%. До Енергоринку за 12 місяців 2019 р. відпущено 78198,7 млн кВтг електроенергії, що на 410,3 млн кВтг менше у порівнянні з січнем-груднем 2018 року.

У грудні 2019 року відбулося 1 порушення у роботі АЕС – на ЗАЕС №4. З початку 2019 року зафіксовано 13 порушень у роботі енергоблоків АЕС: (на РАЕС-3 (5), на ЗАЕС

№1 (2), №6, №3, №5, ХАЕС №1, на ЮУАЕС №3). Зазначені порушення не обліковуються за шкалою ІНЕС рівня 1.

Паливна програма. У 2019 році відбулося 15 поставок свіжого ядерного палива на енергоблоку українських АЕС, у тому числі 9 поставок – від АТ «ТВЕЛ» і 6 поставок – від компанії «Вестінгауз» та 5 рейсів з вивезення відпрацьованого ядерного палива.

З початку 2019 року відбулось 15 поставок свіжого ядерного палива – 6 від «Вестінгауз» і 9 від АТ «ТВЕЛ» та 5 рейсів вивезення відпрацьованого ядерного палива.

Ремонтна кампанія. З початку 2019 року, станом на **09.01.2020** виконано:

- 14 планово-попереджувальних ремонтів – СПР: на ЗАЕС №3, 6, 4, 5, на ЮУАЕС №2, 1, на РАЕС №3, 4, на ХАЕС №2;
КПР: на РАЕС №1, 2, на ЗАЕС №2, 1, на ЮУАЕС №3;
- 5 позапланові поточні ремонтів – РАЕС №3 (3) та ЗАЕС №1, 3.

Станом на 09.01.2020 виконуються:

- 3 середні ремонтів – ХАЕС №1, ЗАЕС №6, РАЕС №1;
- 1 капітальний ремонт – ЗАЕС №3 (з 20.12.2019 до 03.05.2020).

Товарна продукція. З початку 2019 року ДП «НАЕК «Енергоатом» вартість товарної продукції (без ПДВ) ДП «НАЕК «Енергоатом» становила 48 485,3 млн кВт•г, що на 4 583,58 млн кВт•г більше порівняно з відповідним періодом минулого року, у тому числі АЕС – 47 858,85 млн кВт•г, що на 4 584,57 млн грн більше проти відповідного періоду минулого року.

Тарифна політика. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів від 05.06.2019 № 483 «Про затвердження Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії» (із змінами і доповненнями внесеними постановами Кабінету Міністрів України від 12.06.2019 № 512, від 21.08.2019 № 803 та від 09.12.2019 № 1003) на ДП «НАЕК «Енергоатом» покладено спеціальні обов'язки для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії.

Тариф ДП «НАЕК «Енергоатом» на відпуск електричної енергії у грудні 2019 року становив **61,79 коп. за 1 кВт•г** (без ПДВ).

Тариф ДП «НАЕК «Енергоатом» на виробництво теплової енергії у грудні 2019 року становив **92,05 грн/Гкал** (без ПДВ).

У ДП «НАЕК «Енергоатом» станом на **09.01.2020** заборгованості із виплат заробітної плати немає.

Підприємства атомно-промислового комплексу

ДП «СхідГЗК»

У грудні 2019 року комбінатом вироблено **0,6 тонн** уранового оксидного концентрату (УОК) на суму 1,2 млн гривень. Порівняно з відповідним періодом минулого року продукції вироблено на 199,2 тонн менше. З початку 2019 року **вироблено 800,9 тонн УОК на суму 1 872,8 млн грн**, що на 378,6 тонн менше порівняно з показниками 2018 року.

У ДП «Схід ГЗК» станом на **09.01.2020** заборгованості із виплат заробітної плати немає.

ДП «Смоли»

У грудні 2019 року ДП «Смоли» вироблено 58,2 тонн основної продукції (іонообмінних смол) на суму 12,6 млн гривень. Порівняно з відповідним періодом минулого

року продукції вироблено на 41,97 тонн більше. З початку 2019 року **вироблено 144,2 тонн іонообмінних смол на суму 42,7 млн грн**, що на 26,2 тонн більше порівняно з показником 2018 року.

У ДП «Смоли» станом на **09.01.2020 заборгованість із виплати заробітної плати становить близько 2,107 млн грн (за листопад 2019 року).**

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

Для забезпечення проходження осінньо-зимового максимуму 2019-2020 рр. станом на 31.12.2019 відповідно до затвердженого графіка:

На **теплових електростанціях енергогенеруючих компаній (ТЕС)** відремонтовано всіма видами ремонтів 49 (11800 МВт) енергоблоків, а саме:

- поточним ремонтом 37 (8800 МВт) енергоблоків;
- середнім ремонтом 6 (1515 МВт) енергоблоків;
- капітальним ремонтом 6 (1485 МВт) енергоблоків.

На **теплових електроцентралях (ТЕЦ)** відремонтовано 9 (1670 МВт) енергоблоків, 15 (3217 т/год) парових котлів та 8 (326,8 МВт) турбоагрегатів.

На **гідроелектростанціях** виконано капітальний ремонт і реконструкцію 18 (816,88 МВт) гідроагрегатів.

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

- 14 планово-попереджувальних ремонтів, 9 середніх і 5 капітальних ремонтів – СПР: на ЗАЕС №3, 6, 4, 5, на ЮУАЕС №1, 2; КІР: на РАЕС №1, 2; ЗАЕС №1, 2; ЮУАЕС №3;
- 5 позапланових поточних ремонтів – РАЕС №3 (3) та ЗАЕС №1, 3.

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 2018 року на **6,8 г/кВт·г**.

Середньомісячна заробітна плата. На січень-грудень 2019 року розмір заробітної плати штатного працівника на підприємствах, що належать до сфери управління Мінекоенерго, у розрізі галузей становить (01.01.2020):

- електроенергетика – 14596 грн (*збільшення до відповідного показника 2018 р. становить 25,3%*);
- атомно-промисловий комплекс – 24612 грн (*більше на 33,7%*);
- нафтогазовий комплекс – 11732 грн (*більше на 18,4%, до показників держпідприємств нафтогазового комплексу, що належать до сфери управління Мінекоенерго*);
- вугільна галузь – 11541 грн (*більше на 16,6% 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 01.01.2020 року на підприємствах, що належать до сфери управління Мінекоенерго України і що розташовані на території, яка контролюється українською владою, становила **356,6 млн грн** і збільшилась за рік на **183,3 млн грн (або на 105,7%)**:

- електроенергетична галузь – зменшилась на 10278,8 тис. грн;
- атомно-промисловий комплекс – збільшилась на 2773,1 тис. грн;
- вугільна галузь – збільшилась на 189063,0 тис. грн;
- нафтогазовий комплекс – збільшилась на 1693,6 тис. грн.

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

Технологічні витрати електроенергії в електричних мережах

За 12 місяців 2019 року загальні технологічні витрати електроенергії на її транспортування електричними мережами всіх класів напруг склали на рівні **16,4 млрд кВтг** або **11,6 %** від загального відпуску електроенергії в мережу. У порівнянні із аналогічним періодом 2018 р. відбулося їх зменшення на **0,6 млрд кВтг, або на 3,5%** (17,0 млрд кВтг або 11,6% у минулому році).

Нормативна (технічна) складова технологічних витрат електроенергії за 12 місяців 2019 року склала **18,2 млрд кВтг** або **12,9 %** від загального відпуску електроенергії в мережу, у порівнянні з минулим роком зменшилась на **0,9 млрд кВтг** або на **4,7 %** (19,1 млрд. кВтг або 13,1 % у минулому році).

Понаднормативна (нетехнічна) складова технологічних витрат електроенергії за 12 місяців 2019 року склала **-1,8 млрд кВтг** або **-1,3%** від загального відпуску електроенергії в мережу.

За рахунок виконання організаційно-технічних заходів зі зниження технологічних витрат електроенергії в електричних мережах 0,38-800 кВ за 12 місяців 2019 року заощаджено **184,2 млн кВтг** електричної енергії (**185,9 млн кВтг** за відповідний період минулого року).

Експорт електроенергії, вугілля, нафтопродуктів

За 12 місяців 2019 року **експорт електроенергії становить 6469,3 млн кВтг**, що на 303,6 млн кВтг (або на 4,9%) більше ніж за 12 місяців 2018 року, у тому числі в країни СНД (в Молдову) 644,0 млн кВтг, в країни Східної Європи (Угорщина – 3927,5 млн кВтг, Словаччина – 118,0 млн кВтг, Румунія – 402,8 млн кВтг, Польща – 1376,8 млн кВтг).

Імпорт електроенергії склав за 12 місяців 2019 р. 2698,5 млн кВтг (Угорщина – 630,1 млн кВтг, Словаччина – 909,7 млн кВтг, Румунія – 21,1 млн кВтг, Білорусь – 851,2 млн кВтг, Росія – 286,2 млн кВтг).

За січень-грудень 2019 р. територією України протранспортовано (транзитом) **89,6 млрд куб. м природного газу** (за цей період 2018 р. – 86,8 млрд куб. м). Станом на 01.01.2020 року в українських підземних сховищах знаходилось **18,9 млрд куб. м природного газу**, що на 5,0 млрд куб. м або на 36,0% більше порівняно з показником на цей час 2018 року.

Протягом січня-грудня 2019 року обсяг транспортування нафти підприємствами магістральних нафтопроводів склав **15175,0 тис. тонн** і порівняно із аналогічним періодом 2018 р. збільшився на 114,0 тис. т (або на 0,8 %), а транзитом до країн Європи (Словаччини, Угорщини, Румунії, Польщі, Молдови) склав **12897,0 тис. т**, що на 173,0 тис. т (або на 1,3%) менше порівняно із аналогічним показником 2018 р., а для потреб України – більше на 287,0 тис. т (або на 14,4%) і склав **2278,0 тонн**. За січень-грудень 2019 року частка транзитного обсягу перекачки нафти в загальному обсязі нафтоперекачування становила 84,6%, а частка нафтоперекачування на нафтопереробні підприємства України відповідно – 15,4%.

*Підготовлено за даними
Мінекоенерго, НЕК «Укренерго» та інші.
Робочою групою 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>

23 РОКИ НА ЕНЕРГЕТИЧНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ
1997-2020 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

Заступник головного редактора

Н. Ю. Єршова,

доктор економічних 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 № 1 від 27.01.2020 р.

Підписано до друку 29.01.2020 р.

Формат 60 × 84%. Друк цифровий.

Ум. друк. арк. 3,89 Навч-вид. арк. 3,97

Вид. № -04. Зак. № 2184

© ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ·

ЕНЕРГЕТИКА · ЕНЕРГОАУДИТ

Загальнодержавний науково-

виробничий і інформаційний журнал

Мова видання:

Українська, англійська, російська