

## ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 621.57:536.7

### Обговорення можливості створення систем тригенерації в умовах клімату країн Близького Сходу

А. Є. Денисова<sup>1</sup>, Альхемірі Саад Альдін<sup>1</sup>, Л. І. Морозюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна

<sup>2</sup> Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

*Один з перспективних шляхів економії первинної енергії паливно-енергетичних ресурсів з одночасним отриманням електроенергії, тепла та холоду ґрунтується на концепції тригенерації. Найбільшим попитом користуються системи тригенерації малої енергетики. Складнощі для реалізації систем тригенерації утворюють кліматичні умови світових зон з різким континентальним та тропічним кліматом. Розроблено спосіб створення системи тригенерації через концептуальну модель оцінки технічної системи за комплексом факторів (економічного, енергетичного, екологічного та соціального) стану будь-якої країни світу або місцевості. Встановлено вплив на проектні рішення кожного з факторів. Будь-яким системам тригенерації побутового призначення властиві енергетичний та економічний фактори витратного характеру, які повинні наближатися до мінімуму. Для країн Близького Сходу екологічні показники пов'язані з вибором місця під будівництво (діють географічні дані). Соціальний фактор для оцінки технічної системи виглядає як комплекс споживчих характеристик і приймається до уваги в разі оцінки системи, пов'язаною з побутом людини. Клімат та його зв'язок з людиною має соціальний характер. Для людини перше значення має не стільки кліматогеографічні умови середи, скільки сприятливі умови побуту та праці. В роботі проведено аналіз показників країн Близького Сходу, які безпосередньо впливають на прийняття рішення щодо створення систем тригенерації малої енергетики для приватних споживачів у відповідності до розробленої концептуальної моделі. Аналіз здійснено на прикладі двох країн Сирії та Іраку. Оцінено економічні та енергетичні фактори, географічне положення, кліматичні умови: сезонні та добові коливання температур повітря, відносної вологості, сонячної радіації. Результати дослідження довели, що існує реальна можливість використовувати сонячну енергію для цілорічної експлуатації системи тригенерації, яка задовольняє соціальні потреби населення.*

**Ключові слова:** тригенерація; мала енергетика; країни Близького Сходу; географія; клімат; модель аналізу

© The Author(s) 2018. This article is an open access publication  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



#### 1. Вступ

Енергоперетворювальні установки з позицій термодинаміки поділені на два класи. Установки першого класу працюють за прямим термодинамічним циклом, перетворюючи первинну теплову енергію в електричну або механічну енергію як корисний ефект. Установки другого класу працюють за зворотним термодинамічним циклом з отриманням холоду та (або) тепла як корисні ефекти. Первинною енергією для першого класу є тепло високого температурного потенціалу, для другого - корисний ефект установок першого класу та утилізовані їхні теплові скидання.

Виробництво штучного холоду та (або) тепла неможливо без використання енергетичних установок відповідно до Другого закону термодинаміки. Світова статистика, спираючись на кліматичні умови та рівень економічного розвитку країн, стверджує, що до 20% загального споживання електроенергії йде на охолодження та опалення. У зв'язку з цим у всьому світі енергоперетворювальні установки в цілому знаходяться під тиском жорстких вимог до економічної

витрати паливно-енергетичних ресурсів та екологічної чистоти усіх видів виробництв.

Один з перспективних шляхів економії первинної енергії паливно-енергетичних ресурсів за отриманням електричної, теплової або механічної енергії ґрунтується на концепції когенерації. Когенераційні технології передбачають використання теплової енергії відпрацьованих газів енергетичної установки для отримання інших корисних ефектів. Когенерація має істотні переваги: малі інвестиційні вкладення, відповідність вимогам екологічної безпеки, зниження втрат в різних мережах постачання між виробником та споживачем, змога нетрадиційно вирішувати енергетичні проблеми будь-якої країни.

Об'єднання когенераційної установки з тепловикористальною холодильною машиною з виробництвом трьох корисних ефектів (електроенергії, холоду та тепла) здатне забезпечити значний ефект економії природних ресурсів [1]. Для холодильних машин та теплових насосів включення до систем тригенерації є перспективою для удосконалення на засадах використання тепла широкого температурного

потенціалу та відновлюваних джерел енергії у сукупності з створенням нових схемно-циклових рішень, що сприяє зменшенню енергетичної залежності.

В системі тригенерації використовують газові двигуни, сонячну енергію, дизельне паливо, газ, сміття, паливні елементи, фотоелектричні елементи та ін. [2]. Види палива та конструкції елементів визначають діапазон робочих температур від 60°C до 900°C для функціонування системи тригенерації. Згідно з світовою статистикою ефективність використання первинної енергії досягає 85...93% проти 33% стандартної центральної енергетичної системи [3].

Найбільшим попитом користуються системи тригенерації малої енергетики з енергетичними базовими установками потужністю до 1 МВт. На жаль, такі установки мають дуже малу технічну інформацію відносно розвитку та розповсюдження. Для вказаних систем у світі відкрито широкий шлях для розвитку. Приблизно 60...70% територій багатьох країн світу не охоплені центральними мережами електропостачання [4]. За таких умов системи тригенерації малої енергетики здатні вирішити проблеми життєзабезпечення багатьох людей у світі, відмічаючи кондиціювання повітря як галузь першого порядку (75%) в багатьох країнах світу.

Складнощі для реалізації систем тригенерації утворюють кліматичні умови. В першу чергу це торкається світових кліматичних зон з різким континентальним та тропічним кліматом. Вони

характеризуються високими середньорічними температурами навколишнього середовища у сукупності з підвищеною або зниженою вологістю. Статистичні дані для сухого тропічного клімату та різко континентального клімату містять таке. Влітку сезонні коливання середніх температур складають 26...40°C з температурним максимумом 57...58°C, взимку середні температури становлять 15...30°C з мінімумом до 10...15°C. Коливання середніх температур впродовж року – 15...20 град., в той же час добові коливання можуть досягати 40 градусів [5].

На підставі викладеного можна свідчити, що дослідження в галузі тригенераційних систем є важливим науково-практичним завданням, розв'язання якого забезпечує умови створення систем на засадах енергозбереження та екологічної безпеки.

## 2. Концептуальна модель комплексної оцінки технічної системи

Існуючі сучасні методи проектного аналізу технічної системи можна систематизувати через комплекс факторів (рисунк 1). Модель починається з визначення місцевості, для якої планується створення системи. Цей фактор охоплює інформацію щодо країни (місцевості) ймовірного розміщення системи, що проектується, надається географічна та політична довідка за даними з енергетичного, економічного та екологічного станів.

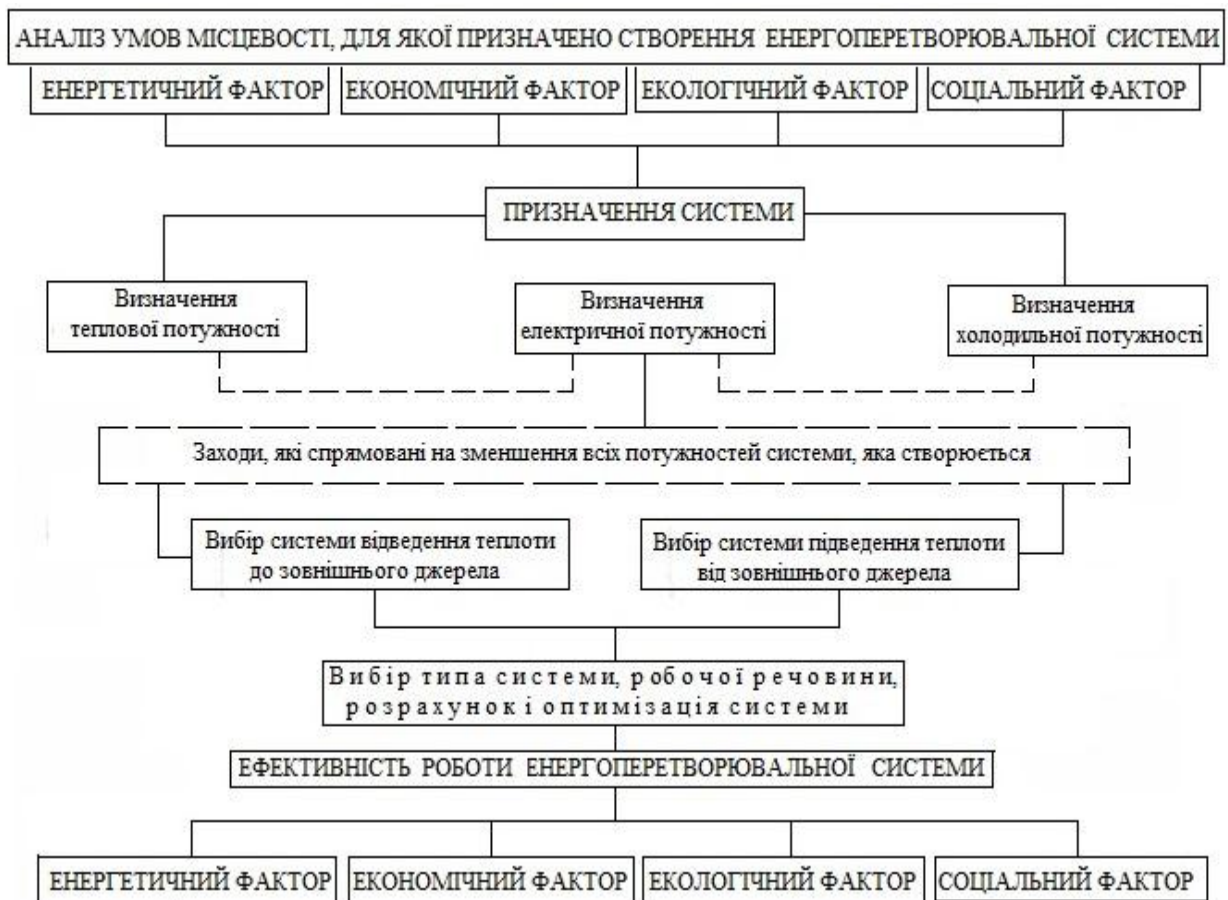


Рисунок 1 – Концептуальна модель комплексної оцінки технічної системи

Енергетичні та економічні фактори оцінки системи багато часу знаходилися в прямій залежності один від одного. При цьому економічний фактор, зокрема, спирався на інвестиційні витрати щодо системи та на можливість швидкої їх окупності. Питання окупності важливі лише для промислових підприємств, в яких корисний ефект, наприклад, холод є товаром. Будьяким системам побутового призначення ( локальні кондиціонери, теплофікаційні та тригенераційні системи) властиві енергетичний та економічний фактори витратного характеру, які повинні наближатися до мінімуму. Для країн або регіонів з імпортованими енергоносіями значно вигідніше вкласти великі інвестиції в технічну систему, отримуючи корисний ефект з мінімальними витратами енергетичної сировини.

Значне погіршення екологічної обстановки у всьому світі встановило екологічний фактор оцінки технічної системи, в тому числі тригенераційної, на один рівень значимості з попередніми факторами. Для складних кліматичних умов, наприклад, для країн Близького Сходу екологічні показники часто стають головними. Екологічний вплив від майбутньої системи намагаються зменшити вже за вибором місця під будівництво, біля джерел енергопостачання, можливих скидань стічних вод, в місцях, де відсутній рух ґрунтів. При цьому приймається до уваги природний рух повітря та води після опадів. Не тяжко відмітити, що усі вказані умови пред'являються природі, і ні що не натякає на користь для неї від майбутнього корисного ефекту для людини. З цих позицій значно складніший стан справ з малими енергетичними системами тригенерації і особливо з локальними системами кондиціонування повітря та тепловими насосами.

Соціальний фактор для оцінки будь-якої технічної системи став до розглядання нещодавно. Він, в сутності, виглядає як комплекс споживчих характеристик і приймається до уваги в разі оцінки системи, пов'язаної з побутом людини [6]. Стан клімату та його зв'язок з людиною має соціальний характер. Географічне середовище діє на людину не тільки безпосередньо, але опосередковано крізь умови її життя. Багаторічний моніторинг за процесом акліматизації людей, які мігрують між різними кліматичними регіонами, констатує, що для людини перше значення має не стільки кліматогеографічні умови середи, скільки сприятливі умови побуту та праці.

Від загальних факторів перейдемо до конкретних споживачів. Енергоперетворювальні системи та установки різноманітні за своїми корисними та вторинними ефектами. За призначенням їх можна класифікувати способом, який надано на рисунку 2. Кінцевим результатом проектування та створення слід враховувати:

- головний ефект;
- вторинний ефект ( обов'язкові скидання).

Проектування здійснюється на підставі технічного завдання. Вибір базується на визначенні теплової та електричної потужностей, та (або) холодильної з виконанням заходів, які спрямовані на зменшення усіх потужностей системи, яку проектують. В проекті повинні вирішуватися питання робочих речовин,

систем підведення та відведення тепла між зовнішнім джерелом та робочою речовиною, оцінена ефективність системи та, за необхідністю, проведена оптимізація за конкретним критерієм.

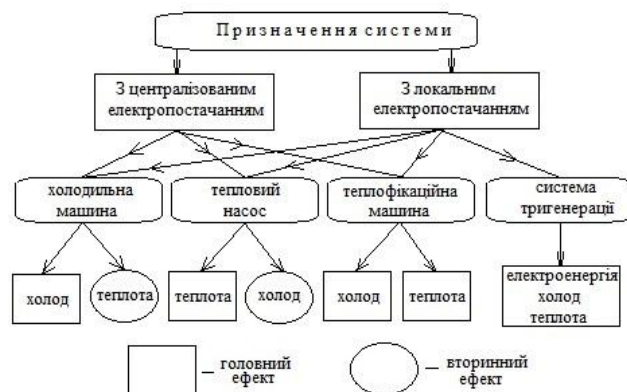


Рисунок 2 – Класифікація енергоперетворювальних систем за призначенням

Формалізація усіх зв'язків концептуальної моделі вибору енергоперетворювальної системи, зокрема, тригенерації є першим необхідним кроком до створення математичної моделі синтезу системи з метою створення та розміщення. Для економічних та енергетичних факторів існують загальні методики формалізації [7, 8]. Екологічний фактор досі формалізовано для окремих систем. Соціальний фактор не має загальних пунктів формалізації, які дозволяють його оцінити для будь-якої країни Землі.

За класифікаційною характеристикою для аналізу паливно-енергетичних ресурсів, які використовують в енергоперетворювальних установках, приймають два типи: первинні та вторинні. Первинні існують в початковому вигляді в природі та не потребують перетворення для подальшого використання. За способом використання розрізняють паливні та не паливні елементи, за ознакою зберігання енергії – поновлювані та непоновлювані. До перших відносять газ, нафту. Використання інших потребує великих економічних витрат у зв'язку з тим, що мають низький енергетичний потенціал та потребують перетворення.

Вторинні енергоресурси виникають під час здійснення технологічних процесів як енергетичні скидання. Вони визначаються як енергетичний потенціал продукції – відходи, які виникають в установках, але в них же не використовуються, а реалізуються для інших потреб в нових установках та системах.

Відповідно до концептуальної моделі та реальних умов експлуатації установок первинні паливно-енергетичні ресурси та центральні електропостачальні системи на їх основі забезпечують роботу холодильних машин і теплових насосів великої потужності в широкому інтервалі температур отриманого корисного ефекту. Локальні енергопостачальні віднесено до малої енергетики і використовують первинні ресурси усіх видів або вторинні, які є у розпорядженні споживача послуг.

Особливу увагу треба звернути на сонячну енергію. Вироблене сонячними пристроями тепло може

використовуватися за прямим призначенням (отримання гарячої води для побутових потреб та опалення приміщень) або забезпечувати первинною енергією тепловикористальні холодильні машин та теплові насоси. Перетворена в електричну енергію в фотоелектричних, термоелектричних, термоемісійних сонячна є первинною для компресорних машин, а в системах тригенерації джерелом електропостачання приватного споживача [9, 10].

Використання того чи іншого виду енергетичних ресурсів цілком залежить від розташування споживача поблизу від центральних мереж електропостачання або в віддаленні від них. Локальні енергетичні системи вирішують проблеми жителів віддалених населених пунктів, приватних малих виробничих фірм та сільськогосподарських виробництв.

Рішення про доцільність втілення проекту приймається за результатом визначення ефективності роботи системи за енергетичним, економічним, екологічним та соціальним факторами.

### 3. Приклад формування вихідних даних для створення систем тригенерації в умовах клімату Близького Сходу

З всього ємного матеріалудослідження, закладеного концептуальну модель в роботі розглянуто достатньо вузьке питання. Питання це торкається аналізу показників країн Близького Сходу, які безпосередньо впливають на прийняття рішення щодо створення систем тригенерації малої енергетики для приватних споживачів. Визначення показників виконується у відповідності до концептуальної моделі на рисунку 1.

Аналіз здійснюється на прикладі двох країн: Сирії (рисунком 3) та Іраку (рисунком 4). Обидві віднесено до країн Близького Сходу та межують між собою.

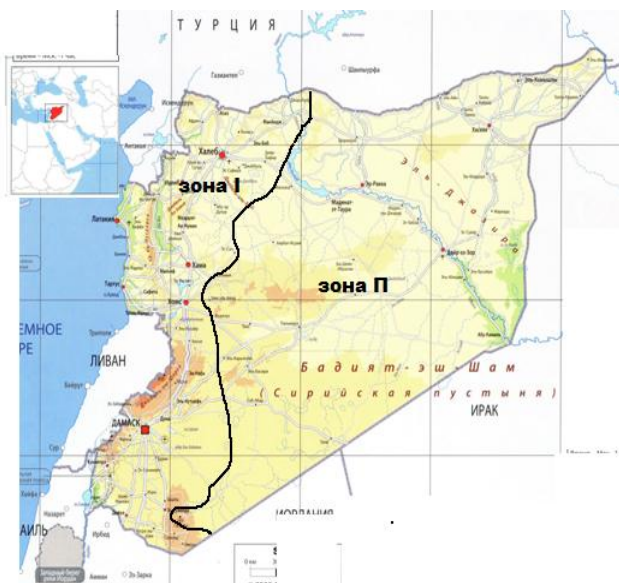


Рисунок 3 – Географічна та кліматична карта Сирії

Сирія нараховує сучасну державність більш 60 років, але цивілізація в цієї місцевості зародилася у четвертому тисячолітті до н.е. [11].



Рисунок 4 – Географічна та кліматична карта Іраку

Населення 18 млн. чол. зосереджені вздовж Євфрата та Середземного моря. Щільність населення 109 чол./кв.км. Економічні умови країни безпосередньо пов'язані з її політичним станом. Економічний потенціал за рахунок відкриття нафти та газу. Головний природний ресурс – родючі ґрунти.

Сільське господарство – головна галузь країни. В ньому зайнято більше 50% самодіяльного населення. Через брак систем зберігання виробництво обмежено потребами родин.

Виробництво електроенергії складає мільйони кіловат-годин. Вартість електроенергії висока, отримання її схильне до коливань особливо влітку. Для безперервної роботи холодильних систем та кондиціонування повітря використовують індивідуальні дизель-генератори. Відсутність водяних ресурсів на 60% території не дозволяє розташування там технічних систем великої потужності.

Має місце переселення сільських жителів у міста. Зріст чисельності членів сільських родин не супроводжується розширенням земельних наділів, що спонукає до міграції у міста. Житлові приміщення у містах побудовані навкруги одного чи декількох дворів, утворюючи квартали. За межами міст жилі квартали об'єднані в невеликі селища. Будівлі в них старі, мало інерційні та переходять від покоління до покоління.

За кліматичними умовами Сирія підрозділяється на дві зони (рисунком 3). Західна (зона I) має субтропічний клімат та займає узбережжя Середземного моря. Велика зона II на півночі та сході країни представляє плато з висотою над рівнем моря 200-700 м, клімат там сухий континентальний.

Зона оброблюваних земель розташована на заході та вздовж Євфрату. На всій території виростає рослинна продукція з безперервною вегетацією на протязі всього року. Вибіркові кліматичні дані наведено в таблиці 1 і складають базу з показників, які безпосередньо впливають на прийняття рішень відносно питання, що розглядається.

Спостерігаються різкі коливання зимових та літніх температур. Середньорічна на заході – 19°C, на

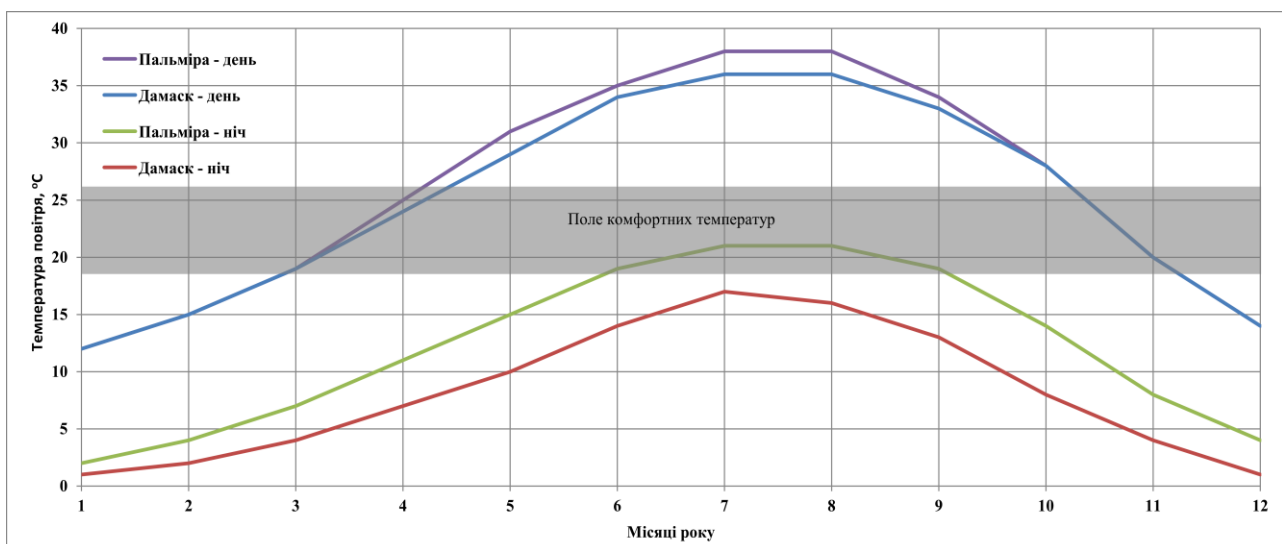
південному сході – 20°C, на сході – 15...20°C. Гірські регіони – нижчі за 15°C. Вітри західні та північно-західні несуть вологу навесні, а с початку літа та восени аравійський гарячий вітер підіймає температуру на 10...15 град. [12].

Найбільшу увагу привертає інформація з коливань добових температур на протязі року, тому що саме вони викликають дискомфорт у людини, сприяють захворюванням та пов'язані з вирішенням соціальних питань. На рисунку 5 в графічному вигляді надано

аналіз природного явища коливань середньодобових денних та нічних температур в порівнянні з вимогами комфортного проживання людей. Комфортні температури в житлових приміщеннях становлять 18...26°C для місцевостей з жарким кліматом [12]. Аналіз вказує на те, що за короткий час потрібна зміна режимів кондиціонування на режими опалення. Проблема може бути вирішеною шляхом впровадження нових схемно-циклових рішень систем тригенерації малої енергетики.

**Таблиця 1** – Вибіркові кліматичні дані для Сирії [9]

Місяць року		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Показник, середні значення	Один. вимір												
Температура повітря	°C	6,2	7,6	11,1	16,0	20,9	24,9	27,0	26,7	23,8	18,6	11,8	7,3
Відносна вологість	%	77,0	68,8	59,4	51,2	43,4	41,2	44,2	48,1	47,0	52,6	63,7	75,7
Сонячна радіація	КВт.г/д	3,10	3,50	4,60	5,80	7,40	8,00	7,90	7,20	6,10	4,50	3,20	2,30



**Рисунок 5** – Характер коливань середньодобових температур вдень та вночі для Сирії

Звернемося до другої країни Близького Сходу – Іраку [13]. Більша частка Іраку – месопотамська низина у долині річок Тигру та Євфрату. Північний регіон (зона I) – гірський хребет с підвищеною сейсмічністю, південний захід – безплідні піски (зона Ш), південний схід – болото (зона П). Ґрунти у більшості засолені (рисунок 4).

Населення нараховує 25,4 млн., 72% живуть у містах. Незалежність від Великобританії з 1932 р. Аграрна країна з переважним тваринництвом. Корисні енергетичні ресурси – нафта та газ віднесені до нафтогазоносного басейну Перської затоки. В населених пунктах майже немає води та електроенергії. В готелях вночі працюють локальні електрогенератори.

Клімат субтропічний з жарким сухим літом та

теплою дощовою зимою. Два сезони: спекотне літо травень-жовтень, коротка холодна зима грудень-березень (таблиця 2).

В багатьох регіонах Іраку зареєстровані значні коливання температур, сезонні та добові, іноді до тридцяти градусів. Липень – середня температура – 32...35°C, максимальна – 40...43°C, мінімальна – 25...26°C, абсолютний максимум – 57°C. Січень: середня – 10...13°C, максимальна – 16...17°C, мінімальна – 4...7°C, абсолютний мінімум – мінус 18°C [14]. Рисунок 6 демонструє добові коливання середньомісяцевих температур протягом року. За кліматичними зонами (рисунок 4) абсолютні значення середніх річних температур відрізняються незначно, але добова амплітуда значна.

Таблиця 2 – Вибіркові кліматичні дані для Іраку [9]

Місяць року		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Показник, середні значення	Один. вимір												
Температура повітря	°С	3,3	4,5	9,0	16,8	22,0	27,5	41,1	30,2	25,9	19,6	11,3	5,2
Відносна вологість	%	72,5	67,1	57,0	44,3	33,1	23,0	10,5	22,0	26,2	37,7	56,27	70,3
Сонячна радіація	КВт.г/д	2,00	2,80	3,60	4,50	5,50	6,30	6,20	5,30	4,80	3,50	2,30	1,80

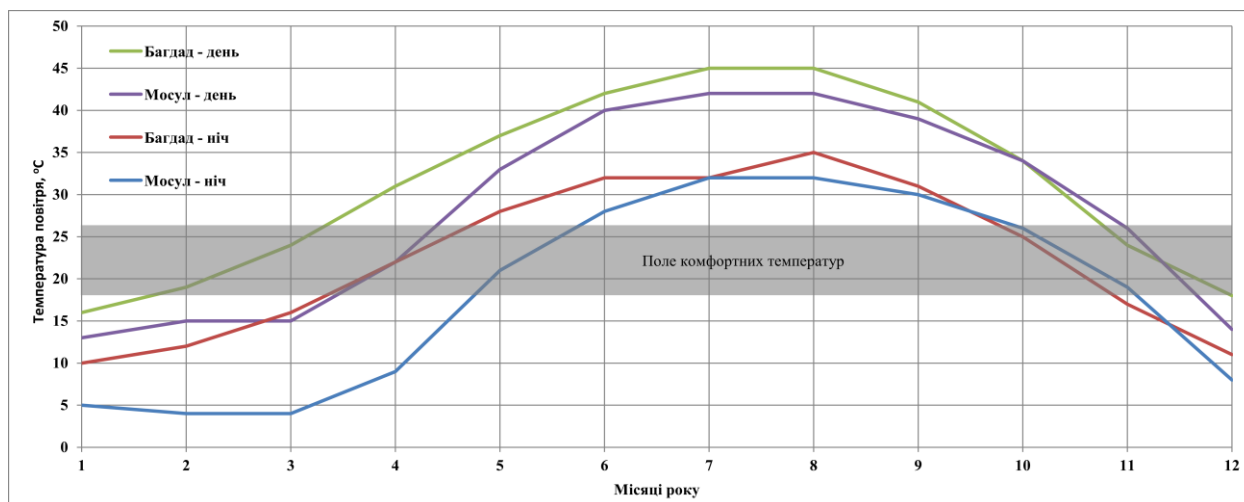


Рисунок 6 – Характер коливань середньодобових температур вдень та вночі для Іраку

Проблеми добового кондиціонування та опалення аналогічні сирійським, різниця лише в тривалості зміни періодів режимів роботи устаткування.

#### 4. Висновки

За даними міжнародного моніторингу клімату Землі та обчислення тривалості періодів опалення та кондиціонування житлових будинків для Сирії встановлено: тривалість періоду для систем опалення 1449 градусо-діб, для систем охолодження - 2778 градусо-діб. Для Іраку відповідно: 682 градусо-доби для систем опалення та 4863 градусо-доби для систем охолодження [14]. Ця умовна одиниця виміру вказує на тривалість періоду опалення та кондиціонування на протязі року. Для Сирії період опалення вдвічі коротше періоду охолодження, для Іраку – в сім разів. Для порівняння наводимо дані з України: період системи опалення – 2500...3500 г/д, період охолодження приміщень – 1050...2400 г/д [15].

Інформація щодо характеристик сонячної радіації протягом року (таблиці 1,2) свідчить про реальну можливість використовувати поновлювальні джерела енергії, сонячну енергію для цілолітньої експлуатації системи тригенерації. Проведене дослідження є інформаційною базою при формуванні вихідних даних для створення систем тригенерації в умовах будь-якої країни світу і, зокрема, клімату Близького Сходу.

#### Література

- 1 Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications / Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E. et al. // Elsevier. – 2016.
- 2 Trigeneration systems with fuel cells / J.I. San Martín, I. Zamora, J.J. San Martín et al. // Department of Electrical Engineering – University of the Basque Country. Available at: <http://www.icrepq.com/icrepq-08/245-san-martin.pdf>
- 3 Medved D. Trigeneration units / D. Medved // Intensive Programme “Renewable Energy Sources”. – 2011. – P. 47-50. Available at: [http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc\\_2011/Files/Medved.pdf](http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc_2011/Files/Medved.pdf)
- 4 Інтернет-газета «Холодильщик RU». Енергосбереження. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_rubric\\_Energosaving.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_rubric_Energosaving.htm)
- 5 Чумак И.Г. Холодильные установки для стран с тропическим климатом / И.Г. Чумак, С.Ю. Ларьяновский, Э.Г. Парцхаладзе. др. - Киев; Либидь, 1992, стр. 555.
- 6 Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов / Т. В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.
- 7 Bejan A. Thermal Design and Optimization / A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran. – New York: J.Wiley, 1996. – 530 p.

- 8 **Тсатсаронис Дж.** Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Под ред. и пер. с англ. Т.В. Морозюк. – О.: Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.
- 9 **Горин А.Н.** Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) / Горин А.Н., Дорошенко А.В. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 374 с.
- 10 **Bellos E.** Parametric analysis and optimization of a solar driven trigeneration system based on ORC and absorption heat pump / E. Bellos, C. Tzivanidis // International Journal of Refrigeration. – 2017. – 509
- 11 Сирия [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%8F>
- 12 Климат Сирии. Климат и погода в Сирии [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://www.poehalisnami.ua/countries/siriya/climat>
- 13 Ирак [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%80%D0%B0%D0%BD>
- 14 Климат Ирака. Погода в Ираке, климат [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://www.turne.com.ua/countries/iran/climate>
- 15 **Злоба В.В.** Геометричне моделювання кліматичного районування території України за періодом охолодження / В. В. Злоба, О. В. Сергейчук // Сучасні проблеми моделювання. – 2015. – Вип. 4. – С. 46-51. Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm\\_2015\\_4\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm_2015_4_12)

Отримана в редакції 10.08.2018, прийнята до друку 04.09.2018

## Discussion of the possibility of creating trigeneration systems in the climate of the Middle East

A. Denysova<sup>1</sup>, Alhemiri Saad Aldin<sup>1</sup>, L. Morozyuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Odessa national polytechnic university, 1 Shevchenko av., Odessa, 65044, Ukraine

<sup>2</sup> Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaia str., Odessa, 65039, Ukraine

*The most prospective way of saving the primary energy resources with simultaneously obtaining electricity, heat and cold is basing on the concept of trigeneration. The trigeneration systems have the greatest demand in branch of low power engineering. But difficulties for the implementation of trigeneration systems arise due climatic conditions of different world zones with a sharp continental and tropical climate. The method of creating the trigeneration system through a conceptual model of the evaluation of a technical system based on the set of factors (economic, energy, ecological and social) for any country of the world or region is developed. The influence of each factors on design decisions is established. Any trigeneration system for household purposes is characterized by energy and economic factors of a consumable nature, which should be close to the minimum. For the Middle East countries the environmental indicators are related to the choice of place for construction (must be available the geographic data). The social factor which associated with human life must be taken into account as complex of consumer characteristics for assessment of the technical system. The climate and its relationship with man are social in nature. For humans' priority is not so much climate-geographic conditions of the environment, but rather favorable conditions for life and work. The indicators that directly influence on decision to create trigeneration systems for branch of low power engineering, namely, for private consumers of the Middle East countries in accordance to developed conceptual model are analyzed in the paper. The analysis on the example of two countries Syria and Iraq is carried out. Economic-energy factors, geographical location, climatic conditions, seasonal and daily fluctuations of temperature of the air, relative humidity and solar radiation are estimated. The results of study proved that there is a real opportunity to use solar energy for year-round operation of the trigeneration system, which satisfies the social needs of the population.*

**Keywords:** Trigeneration; Low power engineering; Middle East countries; Geography; Climate; Analysis model

### References

- 1 Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications / Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E. et al. Elsevier. – 2016.
- 2 Trigeneration systems with fuel cells / J.I. San Martín, I. Zamora, J.J. San Martín et al. // Department of Electrical Engineering – University of the Basque Country. Available at: <http://www.icrepq.com/icrepq-08/245-san-martin.pdf>
- 3 **Medved D.** (2011). Trigeneration units. Intensive Programme “Renewable Energy Sources”. P. 47-50. Available at: [http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc\\_2011/Files/Medved.pdf](http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc_2011/Files/Medved.pdf)
- 4 Internet-gazeta «Kholodilshchik.ru». Energoberezhnie. [Electronic source]. Available at: [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_rubric\\_Energosaving.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_rubric_Energosaving.htm)
- 5 **Chumak I.G., Larianovskii S.Yu., Partskhaladze E.G.** et.al. (1992). *Kholodilniie ustanovki dlia stran s tropicheskim klimatom*. Kyiv; Lybid, 555 p.
- 6 **Morozyuk T.V.** (2006). *Teoriia kholodilnykh mashin i teplovykh nasosov*. Odesa, Studia Negotsiant, 712 p.
- 7 **Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M.** (1996). Thermal

Design and Optimization. New York: J.Wiley, 530 p.

8 **Tsatsaronis G.** (2002). *Vzaimodeistvie temodinamiki I ekonomiki dlia minimizatsii stoimosti energopreobrazuiushchei sistemy*. Edit. T.V. Morozhuk. Odessa, Studia Negotsiant, 152 p.

9 **Gorin A.N., Doroshenko A.V.** (2008). *Solnechnaia energetika. (Teoria, razrabotka, praktika)*. Donetsk: Nord-Press, 374 p.

10 **Bellos E., Tzivanidis C.** (2017). Parametric analysis and optimization of a solar driven trigeneration system based on ORC and absorption heat pump. *International Journal of Refrigeration*, 161, 493-509. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.159>

11 Siria [Electronic source]. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Syria>

12 Klimat Sirii. Klimat I pogoda v Sirii [Electronic source].

Available at: <https://www.poehalisnami.ua/countries/siriya/climat>

13 Iraq [Electronic source]. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Iraq>

14 Klimat Iraka. Pogoda v Irake, klimat [Electronic source]. Available at: <https://www.turne.com.ua/countries/iran/climate>

15 **Zloba V.V., Sergeychuk O.V.** (2015). Geometrical modeling of the territory of ukraine climatic zones over the cooling period. *Suchasni problemy modeliuвання*, 4, 46-51. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm\\_2015\\_4\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm_2015_4_12)

---

Received 10 August 2018  
Approved 04 September 2018  
Available in Internet 30 October 2018