

УДК 669.074:621.311

doi: 10.20998/2220-4784.2018.40.02

**А. Є. ДЕНИСОВА, Л. І. МОРОЗЮК, АЛХЕМІРІ СААД АЛЬДІН, А. В. ЦУРКАН****СХЕМО-КОНСТРУКТИВНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ТРИГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ УМОВ БЛИЗЬКОГО СХОДУ**

Для країн Близького Сходу забезпечити нормальні умови існування населення - цілорічне стабільне отримання електричної енергії, гарячого водопостачання, кондиціонування та опалення приміщень, здатні системи тригенерації на основі сонячних енергетичних установок. Запропоновано малу сонячну енергетичну установку прямого перетворення енергії. Холодо- та теплостачання приміщення здійснюється парокompресорною машиною через систему вентиляції зі зміною напрямку та витрати обробленого зовнішнього повітря.

**Ключові слова:** система тригенерації; сонячна енергетична установка; парокompресорна холодильна машина.

**А. Е. ДЕНИСОВА, Л. И. МОРОЗЮК, АЛХЕМИРИ СААД АЛЬДИН, А. В. ЦУРКАН  
СХЕМО- КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ТРИГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА**

Для стран Ближнего Востока обеспечить нормальные условия существования населения - круглогодичное стабильное получение электрической энергии, горячего водоснабжения, кондиционирования и отопления помещений, способны системы тригенерации на основе солнечных энергетических установок. Предложена малая солнечная энергетическая установка прямого преобразования энергии. Холодо- и теплоснабжение помещения осуществляется парокompресорной машиной через систему вентиляции с изменением направления и расхода обработанного наружного воздуха.

**Ключевые слова:** система тригенерации; солнечная энергетическая установка; парокompресорная холодильная машина

**А. Е. DENYSOVA, L. I. MOROZUK, ALCHEMIRI SAAD ALDIN, A. V. TSURKAN  
SCHEMES, DESIGN AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF TRIGENERATION SYSTEMS FOR THE CONDITIONS OF THE MIDDLE EAST**

Trigeneration systems based on solar power plants are capable to ensure normal living conditions for the population – year-round stable generation of electric energy, hot water supply, air conditioning and space heating for the countries of the Middle East. Small solar power plant for direct energy conversion is worked out. The heat and cold supply system of the room at base of one-stage steam compressor machine working in wide range of temperatures and pressures is proposed. The selection of low boiling substance is based on its thermodynamic perfection. In the machine, the condenser and the evaporator are the air heat exchangers. For changing of work modes of heat supply system at base of heat pump and of air conditioning at base of refrigerating machine reverse of flow of working substance is not provided in heat exchangers. The total flow rate of external air through the ventilation system is distributed between the condenser and the evaporator in accordance with the necessary values. The outside air, which is prepared in corresponding apparatuses, through the ventilation system, while changing the direction and flow rate, provides the air conditioning or heating of the room. The proposed system provides high energy efficiency of cooling and heating modes, operational reliability and maintaining a constant comfortable temperature in the room for any seasonal and daily parameters of the outside air.

**Keywords:** trigeneration system; solar power plant; vapor compression refrigerating machine

**Вступ.** Тригенерація – процес одночасного виробництва електроенергії, тепла і холоду від однієї енергетичної установки. Рішення про доцільність застосування систем тригенерації для конкретних споживачів з вибором робочих параметрів і характеристик блоків системи вимагає детального аналізу і збору даних щодо реальних величин термодинамічної досконалості кожного блоку. Дані для аналізу отримані з вивчення енергетичного, екологічного та економічного стану споживача, моніторингу роботи дійсних установок у подібних умовах і розвитку.

**Постановка задачі в загальному вигляді і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Вивчення енергетичного, екологічного, економічного та соціального стану країн та населення Близького Сходу встановило, що країни, які належать до цього регіону, мають тропічний або різко континентальний клімат з значними коливаннями температур зовнішнього повітря не тільки на протязі року, але і впродовж доби, велику сонячну інсоляцію у всіх сезонах року [1]. Централізоване енергопостачання має значні перебої, особливо в нічні часи. Великі споживачі енергії переходять на локальні

енергетичні установки. Забезпечити нормальні умови існування населення – цілорічне стабільне отримання електричної енергії, гарячого водопостачання, кондиціонування та опалення приміщень спроможні системи тригенерації на основі сонячних енергетичних установках.

**Мета роботи.** Здійснити синтез схемо-циклового та конструктивно –технологічного рішень блоку тепло-холодостачання системи тригенерації малої енергетики на базі сонячної енергетичної установки, яке задовольняє умовам енергозбереження та соціальним потребам населення країн Близького Сходу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Енергетичні потоки в системі тригенерації.** В системі тригенерації (рис. 1) головною є енергетична установка (ЕУ). Первинною енергією (ПЕ) є паливо (тверде, рідке, газоподібне, біогаз, відновлювальні джерела тощо). Система виробляє три головних ефекти: електроенергію (ЕЕ), тепло (ТЕП) і холод (ХОЛ).

© Денисова А.Є., Морозюк Л.І., Алхемірі Саад Альдін.,

Цуркан А.В., 2018

Для отримання холоду витрачають частину виробленого тепла або частину виробленої електроенергії. Система має два обов'язкових скидання в навколишнє середовище (ОС) – в

енергетичній установці і холодильній, і внутрішні незворотні втрати в системі – Д (деструкція енергії). У загальному випадку, енергетичний баланс системи тригенерації можна записати математичним виразом:

$$Q_{ne} - Q_{ee} / \eta_{ey} = (Q_{men} / COP_{men}) + (Q_{хол} / COP_{хол}) + Q_{oc} + Q_{\delta}, \quad (1)$$

де  $Q_{ne}$  – первинна енергія;  $Q_{ee}$  – теплота, що призначена для отримання електроенергії;  $Q_{men}$  – теплота, що призначена для опалення;  $Q_{хол}$  – теплота, що призначена для отримання холоду;  $Q_{oc}$  – обов'язкове скидання теплоти в навколишнє середовище;  $Q_{\delta}$  – деструкція енергії в системі;  $COP_{men}$  – коефіцієнт енергетичної ефективності теплового насоса (виробництво теплоти);  $COP_{хол}$  – коефіцієнт енергетичної ефективності холодильної машини (виробництво холоду).

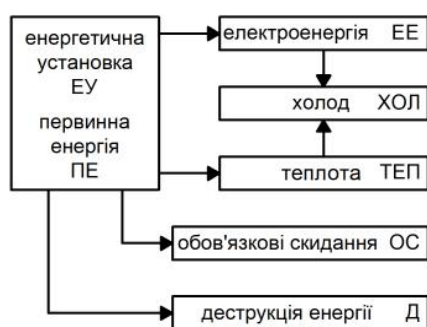


Рис. 1. Схема енергетичних потоків в системі тригенерації

Для енергетичної установки рівняння (1) має вигляд:

$$Q_{ne} = Q_{ee} / \eta_{ey} + Q_{oc} + Q_{\delta} \quad (2)$$

Для системи когенерації, відповідно:

$$Q_{ne} - Q_{ee} / \eta_{ey} = (Q_{men} / COP_{men}) + Q_{oc} + Q_{\delta} \quad (3)$$

Ступінь утилізації теплоти за рівнянням (2) визначається її використанням за прямим призначенням (опаленням) згідно вимогам конкретного споживача. Максимальне використання теплоти залежить від конструктивних особливостей системи опалення і характеризується величиною  $Q_{\delta}$ .

Сумарне виробництво теплоти і холоду та співвідношення теплових потужностей й температурних режимів установок виробництва теплоти і холоду повністю визначаються потребами споживача та безпосередньо залежать від кліматичних та житлових умов, в яких він знаходиться, і родом його виробничої діяльності. При цьому важливий вплив надають сезонні і добові коливання температури зовнішнього повітря. Отже, перший та другий доданки в правій частині рівняння

(1) змінюються відповідно до потреб споживача при збереженні загального енергетичного балансу. Для визначення величин всіх доданків в рівняннях (2) та (3) слід враховувати широке розмаїття енергетичних установок (газопоршневі, газотурбінні, паливні елементи, дизель-генератори, сонячні батареї тощо).

#### Енергетичні установки малої енергетики.

Світовий енергетичний ринок пропонує великий вибір енергетичних установок малої потужності за достатньо невелику ціну. До них відносять сонячні установки, дизельні, газопоршневі, газотурбінні, бензинові електростанції. Вказані установки можна розглядати як переконливу альтернативу на ринку устаткування для децентралізованого виробництва електричної та теплової енергії. До переваг газотурбінних установок малих габаритів відносять можливість роботи протягом тривалого часу при низьких навантаженнях, малих забруднюючих викидів, низьких рівнів вібрацій та шумів, малих експлуатаційних витрат, за можливістю працювати з різними видами палива, високою надійністю. Найвищий електричний ККД досягає 35% у газовій турбіні, і близько 45% у газопоршневого двигуна під стовідсотковому навантаженням, а в режимі когенерації – близько 85%. При зниженні навантаження до 50%, застосовують газопоршневі двигуни, якщо необхідно виробляти рівну кількість теплової та електричної енергії, а газотурбінні – якщо необхідно виробляти в 2–2,5 рази більше теплової енергії, ніж електричної [2].

Безсумнівно, найбільший інтерес привертають методи прямого перетворення енергії. До них відносяться електрохімічні, фотоелектричні, термоелектричні, термоемісійні та МГД-перетворювачі. З електрохімічних перетворювачів сьогодні найбільший попит (і навіть бум) викликають паливні елементи. У паливних елементах відбувається пряме перетворення хімічної енергії в електричну. На відміну від гальванічних елементів тут є необхідні матеріали – паливо і окислювач. У існуючих паливних елементах електричний ККД становить 35–60%, в режимі когенерації – близько 80% і вище. Наприклад, при самостійній експлуатації електрична потужність твердооксидних паливних елементів становить 60%, а загальна теплова потужність при когенерації – 85% [3]. Високоєфективні і екологічні паливні елементи відносяться до інноваційних продуктів.

Фотоелектричні установки є автономними установками малої потужності, які можуть використовуватися в населених пунктах, віддалених від систем централізованого енергопостачання. Такі

установки вже сьогодні конкурентоздатні з дизель-генераторами, які працюють на імпортованому паливі. Однак сонячна фотоелектрична установка може працювати тільки в денний час. Ця обставина змушує резервувати енергію за допомогою акумуляторних батарей, які запасують енергію і роблять її доступною в несприятливих умовах: вдень, вночі і в будь-яку погоду. Найбільш розвинені країни світу продовжують залишатися в авангарді ринка сонячної енергетики. Ця політика направлена перш за все на приватний сектор споживання електроенергії, для забезпечення електроенергією самої родини, а надлишки – продати електричним компаніям, тим самим повернути інвестиції в купівлю сонячної електростанції [4]. В енергетичних установках невеликих встановлених потужностей й в мобільних установках застосовують рідкопаливні дизель-генератори. Після аналізу рівнянь (2) і (3) для подальших розрахунків були виведені середні значення, які характеризують вироблення електроенергії і теплоти когенераційною установкою:

$$Q_{ee} = 35\%, \quad Q_{men} = 50\%, \quad (Q_{\partial} + Q_{oc}) = 15\%.$$

Тригенерація забезпечує використання генеруючого пристрою протягом всього року, тим самим не знижуючи високого ККД енергетичної установки. Влітку, коли потреба в виробництві тепла падає, збільшується потреба в холоді.

Сумарне виробництво тепла і холоду залежить від потреб споживача та безпосередньо визначається кліматичними та житловими умовами, в яких він знаходиться і родом його виробничої діяльності. При цьому важливий вплив надають сезонні і добові коливання температури з зовнішнього повітря. Отже, перший та другий доданки в правій частині рівняння (1) змінюються відповідно до потреб споживача при збереженні загального енергетичного балансу.

**Відомості про споживачів енергії.** Споживачі електричної енергії відносяться до цілорічних. Споживання помітно змінюється протягом доби, але відносно стає протягом року. Воно майже не залежить від температури навколишнього середовища. До цілорічних послуг відносяться і гаряче водопостачання. Для умов жаркого клімату з високими середньорічними температурами навколишнього середовища температура споживаної гарячої води майже не змінюється за сезонами. Витрата гарячої води протягом доби значно змінюється, тому безперервна її наявність в розпорядженні споживача потребує акумуляції.

До сезонних теплових споживачів віднесено опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря. Споживна теплова потужність і закономірність її зміни залежить від кліматичних умов. Період реальної потреби в теплі обмежується періодом року з низькою середньою температурою зовнішнього повітря. У той же час, існує значна потреба в холодопостачанні для кондиціонування тих же приміщень та зберігання охолоджених продуктів в теплий період року. В даних випадках, комбіновану

енергосистему можна експлуатувати цілорічно.

Сезонне теплове споживання змінне протягом року, але порівняно стає протягом доби для континентального клімату, що пояснюється малою зміною денної та нічної температур та теплоємністю житлових приміщень. В жаркому кліматі спостерігаються значні коливання денних та нічних температур, а амплітуда стає порівнянною до сезонних. Житлові будівлі мало інерційні. Соціальний фактор (життєдіяльність людини) потребує стабілізації комфортних температур в житлових приміщеннях добовою зміною режимів кондиціонування та опалювання [5]. Максимальні добові витрати теплоти на гаряче водопостачання та нічне опалення не збігаються за часом, що варто враховувати при проектуванні системи тригенерації.

**Технологічні схеми систем тригенерації.** На підставі аналізу характеристик споживача та енергетичної установки формуються технологічні схеми тригенераційних систем. Відповідно до типу енергетичної установки має місце дві схеми: з паливними установками та установками прямого перетворення енергії [6, 7, 8]. Паливні установки (рис. 2) мають утилізаційний котел та виробляють два корисних ефекти: електроенергію та тепло. Електроенергія йде на побутові потреби споживача. Тепло використовується у двох напрямках: за прямим призначенням – отриманням гарячої води і опаленням, та у якості первинної енергії для холодильної машини або теплового насосу. Для виробництва холоду в систему включені тепловикористальні холодильні машини – абсорбційні, ежекторні або компресорні [9]:

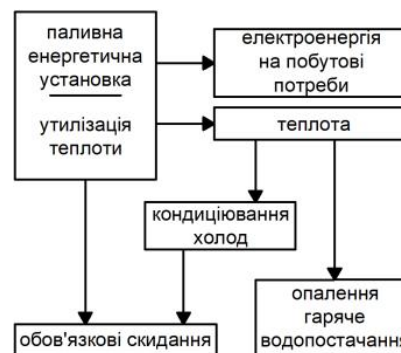


Рис. 2. Технологічна схема тригенерації з паливними енергетичними установками

Сонячні установки прямого перетворення енергії мають додаткові теплові сонячні колектори для роботи за прямим призначенням – отриманням гарячої води (рис. 3). Електроенергія частково йде на побутові потреби споживача, а частково є первинною енергією для холодильної машини або теплового насосу. Для виробництва холоду використовується пароконденсаторна холодильна машина з приводом від електродвигуна, з низькокиплячими робочими речовинами, природними або синтезованими, чистими або сумішами.

Розглянуті системи мають головну енергетичну установку (ЕУ) зі своєю робочою речовиною, яка відрізняється від робочої речовини холодильної машини. Температурні рівні процесів в системі цілком залежать від властивостей робочих речовин як енергетичної, так і холодильної машин [10].

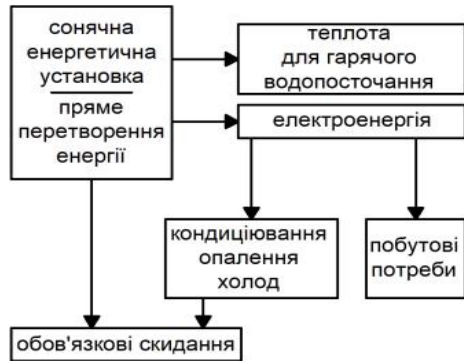


Рис. 3 – Технологічна схема тригенерації з сонячними енергетичними установками

*Конструктивна схема систем тригенерації.*

Розглянемо конструктивну схему тригенерації, енергетичні потоки та технологічну схему, якої розглянуто вище (рис. 3). Принципову схему надано на рис. 4. Сонячна енергетична установка містить: теплові сонячні колектори прямого підігріву води для побутових потреб та сонячну фотоелектричну батарею для прямого перетворення тепла в електроенергію.

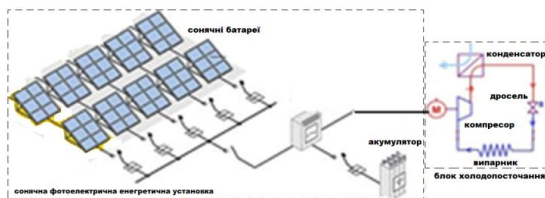


Рис. 4 – Схема тригенерації з парокompресорною холодильною машиною

Холодильна машина має чотири елементи: компресор, конденсатор, випарник, дросельний

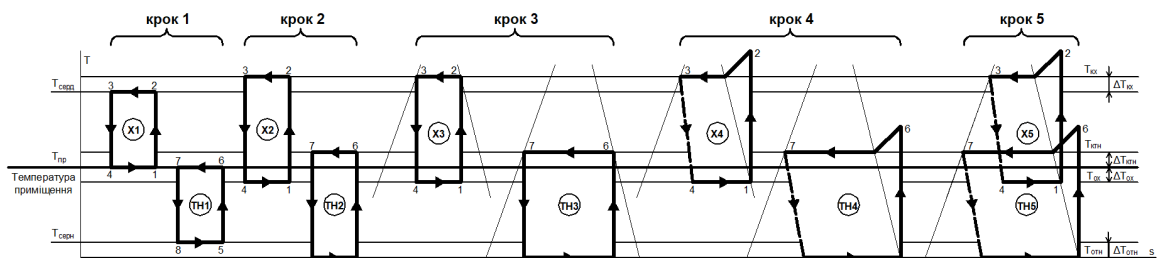


Рис. 5 – «Метод циклів» в синтезі схемно-циклового рішення блоку холодопостачання

У якості зразка обрано два цикли: Карно  $XI$  (холодильний) та Карно  $TНI$  (теплонасосний), які побудовано на трьох рівнях температур: навколишнього середовища  $T_{серд}$  для денного часу

пристрій. Для реалізації змінних режимів роботи в одній машині в різні сезони року світовий ринок устаткування пропонує агреговану з двох блоків «Спліт-систему» малої потужності [11] та комплексну дахову машину «Руфтоп» середньої та великої потужності» [12]. В обох машинах зміна режимів здійснюється реверсом руху робочої речовини через теплообмінні апарати завдяки додатковому регулюючому обладнанню. Такий спосіб задовольняє сезонну роботу машини на протязі року і не може бути використаним для короткочасних змін режимів на протязі доби. Причини: потрібність швидкої зміни робочих тисків та температур в апаратах, інерційність машини.

Отже, завдання сформульовано так: здійснити синтез схемно-циклового рішення блоку холодопостачання для забезпечення постійної температури в житловому приміщенні в умовах тропічного клімату на протязі року незалежно від добових та сезонних коливань температури навколишнього середовища.

*Синтез схемно-циклового рішення блоку холодопостачання «методом циклів».*

Класичний підхід до створення будь-якої енергоперетворювальної системи починається з термодинамічного аналізу. Він є першою сходинкою в процесі проектування, та за його результатами майбутня система виявляється працездатною з високою енергетичною досконалістю або її подальший розвиток не має практичного сенсу. Схемно-циклове рішення компресорної холодильної машини пропонується синтезувати «методом циклів». «Метод циклів» полягає в поетапному нарощуванні незворотностей в циклі Карно (послідовному «погіршенні» ідеального циклу), які обумовлені реальною роботою кожного елемента в складі холодильної машини (теплового насоса) [13]. Оскільки цикл Карно приймається універсальним циклом-зразком з джерелами тепла за умовно постійних температурах, термодинамічний аналіз здійснюється в системі координат  $T - s$  «температура-ентропія». «Метод циклів» – це покроковий метод, основні етапи якого представлені на рис.5.

(теплого сезону року), навколишнього середовища для нічного часу  $T_{серн}$  (холодного сезону) та в приміщенні  $T_{пр}$ , яка відповідає комфортним умовам

існування споживачів як протягом року, так і цілодобово незалежно від зміни температури навколишнього середовища (крок 1). Процеси теплообміну між робочою речовиною в циклах  $X2$  і  $TH2$  та джерелами реалізуються за наявності різниць температур  $\Delta T_{кх}, \Delta T_{ох}, \Delta T_{ктн}, \Delta T_{отн}$ , що включає в цикли зовнішні незворотності (рис. 5, крок 2). Цикли  $X3$  та  $TH3$  (рис. 5, крок 3) побудовані за умови введення кривих насичення для конкретної робочої речовини. Дійсні цикли  $X4$  та  $TH4$  одноступеневих компресорних машин побудовано на кроці 4. Проміжні цикли класичного аналізу [13] між кроком 3 та 4 не розглядаються. На даному кроці аналізу цикли  $X4$  та  $TH4$  супроводять схемні рішення одноступеневих компресорних машин, а елементам надано конкретні назви: компресор, конденсатор, випарник, дросельний пристрій. Наявність єдиної робочої речовини в циклах  $X5$  та  $TH5$  демонструє крок 5. Він же пропонує єдиний комплекс устаткування. Відповідно до процесів, які здійснюються в машині, основні робочі температури: кипіння в випарнику  $T_{ох}$  (цикл  $X5$ ),  $T_{отн}$  (цикл  $TH5$ ), температура конденсації в конденсаторі  $T_{кх}$  (цикл  $X5$ ),  $T_{ктн}$  (цикл  $TH5$ ). Врахування єдиної робочої речовини в машині довело, що циклам  $X$  та  $TH$  відповідає одне схемне рішення але різні робочі температури, які можуть бути реалізовані в одному універсальному компресорі.

Згідно кліматичним даним країн Близького сходу [1] та стандартів на комфортні температури в житловому приміщенні окреслимо поле робочих температур, яке має бути реалізовано в машині з універсальним компресором (рис. 6).

В системі координат  $T_k - T_o$  (температура конденсації – температура кипіння, діаграма Бенке) отримуємо межі робочих температури для компресора:

$$T_k^{max} = 60\text{ }^\circ\text{C}; T_k^{min} = 30\text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_o^{max} = 15\text{ }^\circ\text{C}; T_o^{min} = -5\text{ }^\circ\text{C}.$$

Універсальні компресори для таких умов серійно випускають провідні фірми світу [14, 15], тому режими кондиціювання та опалення однією машиною можуть бути реалізовані.

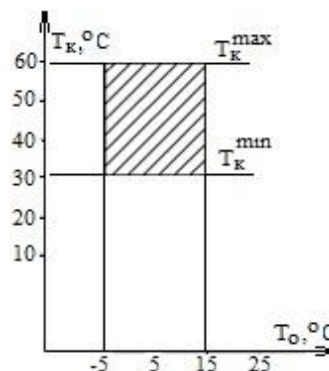


Рис. 6 – Діаграма Бенке для вибору робочої речовини за відомими обмеженнями на використання устаткування

Стабільній роботі системи «холодильна машина – приміщення» відповідає енергетичний баланс в режимі кондиціювання  $Q_o = Q_{вип} = Q_{пр}$  або в режимі опалювання  $Q_k = Q_{конд} = Q_{пр}$ , де  $Q_o, Q_k$  – холодопродуктивність та теплопродуктивність компресора, відповідно;  $Q_{вип}, Q_{конд}$  – теплова потужність випарника та конденсатора, відповідно;  $Q_{пр}$  – теплові припливи та теплові втрати приміщення, відповідно. Зміна теплових навантажень в приміщенні (позитивних та негативних) компенсується регулюванням об'ємної продуктивності компресора. Теплообмінні апарати конденсатор та випарник виконують свої функції незалежно від режимів, реверса робочої речовини між ними не передбачено Теплообмін між робочою речовиною циклу та споживачем здійснюється проміжним теплоносієм – зовнішнім повітрям, яке циркулює в системі вентиляції. Технологічна схема циркуляції потоків наведена на рис. 7.

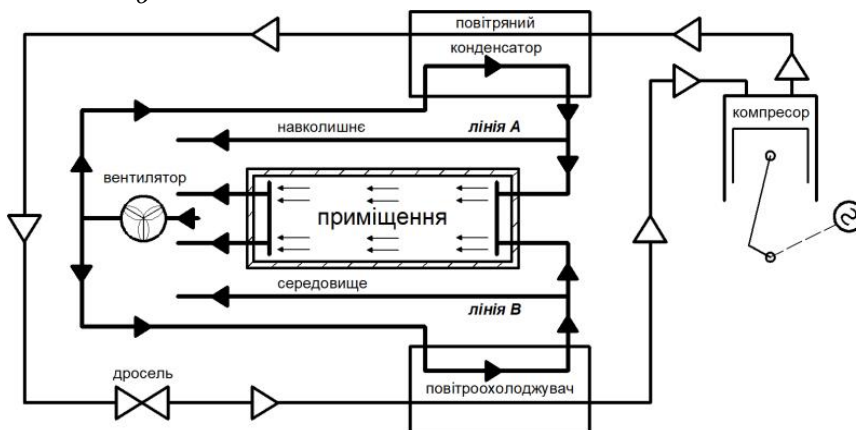


Рис. 7 – Технологічна схема циркуляції потоків в блоці холодопостачання

Потік свіжого повітря вентилятором подається у двох напрямках: до конденсатора та повітроохолоджувача (випарника).

В режимі кондиціювання потік охолодженого повітря після випарника подається у приміщення в припливну лінію вентиляції. Підігріте повітря покидає приміщення через витяжну лінію. Другий потік повітря рухається через конденсатор, відводить тепло та по лінії А повертається в навколишнє середовище.

В режимі опалювання потік підігрітого повітря після конденсатора прямує до приміщення, опалює його та виходить назовні. Потік повітря після випарника через лінію В повертається в навколишнє середовище.

**Аналіз результатів дослідження.** Технологічна схема дозволяє одночасно здійснювати охолодження або підігрівання повітря і при цьому подавати свіже повітря в приміщення, що має її значною перевагою. До самої машини є можливість підібрати додаткове оснащення, яке дозволяє індивідуально підійти до кожного об'єкту та регулювати потоки повітря через апарати.

Блок холодопостачання системи тригенерації за цією технологічною схемою являє собою холодильну машину, яку виконано в єдиному корпусі для захисту усіх внутрішніх агрегатів від атмосферного впливу, і призначено для установки, поза приміщенням. У обробку повітря входить його нагрівання, охолодження, фільтрація і таке інше. По суті – це багатофункціональний пристрій, де зібрано в одному компактному корпусі обладнання для обслуговування всієї будівлі, в цілому році.

#### Список литературы:

1. RETScreen Plus Expert "Renewable Energy Project Analysis Software, Energy Model and Solar Resource and Heating Load Calculation" (SR&HLC) // RETScreen Customer Support, CanMet Energy Diversification Research Laboratory, Natural Resources Canada.–2018. [Electronic resource] – Available at: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/resources>, <https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency>
2. Почему газопоршневые мини-ТЭЦ, а не газотурбинные? [Эл. ресурс] – Режим доступа: <http://www.genstab.com.ua/stati/1-statya-1>
3. Использование топливных элементов для децентрализованного энергоснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов [Эл. ресурс] – Режим доступа: <https://nauchforum.ru/node/333>
4. Принцип работы автономной фотоэлектрической станции [Эл. ресурс] – Режим доступа: <http://www.vorobiov.com/archive/domikpro/detail-printsip-raboty-avtonomnoy-fotoelektricheskoy-stantsii.html>
5. Драганов Б.Х. Теплотехника: Підручник / Б.Х. Драганов, О.С. Бессараб, А.А. Долинский, В.О. Лазоренко, А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова (за ред. Б.Х. Драганова). 2-е вид., перероб. і доп. Київ «ІНКОС», 2005, – 504 с.
6. Medved D. Trigenation units / D. Medved // Intensive Programme "Renewable Energy Sources". 2011, – p. 47–50. [Electronic resource] 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)
7. Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications / Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E. et al. // Elsevier. 2016.
8. Trigenation systems with fuel cells / J.I. San Martín, I. Zamora, J.J. San Martin et al. // Department of Electrical Engineering – University of the Basque Country. [Electronic resource] – Available at: <http://www.icrepq.com/icrepq-08/245-san-martin.pdf>
9. Морозюк Л.И. Теплоиспользующие холодильные машины – пути развития и совершенствования / Л.И. Морозюк // Холодильная техника и технология. 2014. №5 (151), – с. 23–29.
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. Vol.161, – pp. 493–509.
11. Настенные сплит-системы Mitsubishi Electric. [Electronic resource] – Available at: <https://tdkcomfort.ru/shop/nastennye-split-sistemy-mitsubishi-electric-msz-fh25ve-muz-fh25ve-inverter>
12. Руфтопы, принцип работы. [Electronic resource] – Available at: <http://trane-dnw.ru/ruftop-princip-raboty>
13. Морозюк, Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов [Текст] / Т.В. Морозюк. Одесса: Студия «Негоциант», 2006, – 712 с.
14. BITZER, поршневые компрессоры. [Electronic resource] – Available at: <https://www.bitzer.de/ru/ru/%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%BD%D0%B5%D0%B2%>

- [D1%8B%D0%B5-D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80](#)
15. Спиральные компрессоры Copeland Scroll. [Electronic resource] – Available at: <https://specholid.ru/oborudovanie/Copeland-Scroll.html>

#### Bibliography (transliterated):

1. RETScreen Plus Expert "Renewable Energy Project Analysis Software, Energy Model and Solar Resource and Heating Load Calculation" (SR&HLC) // RETScreen Customer Support, CanMet Energy Diversification Research Laboratory, Natural Resources Canada. –2018. [Electronic resource]. – Available at: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/resources>, <https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency>
2. Pochemu gazoporshnevye mini-TEC, a ne gazoturbinye? [Electronic resource] – Available at: <http://www.genstab.com.ua/stati/1-statya-1>
3. Ispolzovanie toplivnykh elementov dlia decentralizovannogo energosnabgenia udalennykh selskokhoziaistvennykh obektov [Electronic resource] – Available at: <https://nauchforum.ru/node/333>.
4. princip raboty avtonomnoi fotoelektricheskoi stantsii [Electronic resource] – Access mode: <http://www.vorobiov.com/archive/domikpro/detail-printsip-raboty-avtonomnoy-fotoelektricheskoy-stantsii.html>
5. Draganov B.X. Teplotekhnika: Text-book / B.X. Draganov, O.C. Bessarab, A.A. Dolinskii, B.O. Lazorenko, A.B. Mischenko, O.B. Shelimanova (pod red. B. X. Draganova). – 2-e izdanie, pererab. and dop. – Kiev «ІНКОС», 2005. – 504 p.
6. Medved D. Trigeration 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)
7. Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications / Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E. et al. // Elsevier. 2016.
8. 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. [Electronic resource] – Available at: <http://www.icrepq.com/icrepq-08/245-san-martin.pdf>
9. Morozuk, L.I. Teploispolzujushchie kholodilnye mashinu – puti razvitiia I sovershenstvovaniia / L.I. Morozuk // Kholodilnaja tehnika I tehnologia. 2014. №5 (151), – pp. 23–29.
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. – Vol. 161, – pp. 493–509.
11. Nastennye split-sustemy Mitsubishi Electric – [Electronic resource] – Available at: [https://tdkomfort.ru/shop/nastennye\\_split\\_sistemy\\_mitsubishi\\_electric\\_msz\\_fh25ve\\_muz\\_fh25ve\\_inverter](https://tdkomfort.ru/shop/nastennye_split_sistemy_mitsubishi_electric_msz_fh25ve_muz_fh25ve_inverter)
12. Ruftopy, printsip raboty <http://trane-dnw.ru/ruftop-princip-raboty>
13. Morozuk, T.V. Teoria kholodilnykh mashin I teplovykh nasosov [Text] / T.V. Morozuk. Odessa: Studia «Negotsiant», 2006, – 712 p.
14. BITZER, porshnevye kompressory [Electronic resource] – Available at: <https://www.bitzer.de/ru/ru/%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80>
15. Spiralnye kompressory Copeland Scroll [Electronic resource] – Available at: <https://specholid.ru/oborudovanie/Copeland-Scroll.html>

Поступила (received) 23.10.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Денисова Алла Євсївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsiivna)** – доктор технічних наук, професор кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3906-3960>; e-mail: [alladenysova@gmail.com](mailto:alladenysova@gmail.com)

**Морозюк Лариса Іванівна (Морозюк Лариса Ивановна, Morozuk Larisa Ivanivna)** – доктор технічних наук, професор кафедри кріогенної техніки, Одеська національна академія харчових технологій; м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4133-1984>; e-mail: [lara.morozuk@mail.ru](mailto:lara.morozuk@mail.ru)

**Алхемірі Саад Альдін (Алхемірі Саад Альдин, Alhemiri Saad Aldin)** – аспірант кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4860-7923>; e-mail: [eng.saadaldin@outlook.com](mailto:eng.saadaldin@outlook.com)

**Цуркан Андрій Володимирович (Цуркан Андрей Владимирович, Tsurkan Andriy Volodymyrovych)** – аспірант кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6708-2803>; e-mail: [andreyenergobud@gmail.com](mailto:andreyenergobud@gmail.com)