

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

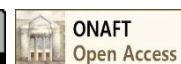
УДК 621.575.932:621.565.92

Розробка установок отримання води з атмосферного повітря в складі систем життєзабезпечення житлового будинку в кліматичних умовах Одеської області

О. С. Тітлов^{✉1}, К. О. Годик², Д. Ю. Кравченко³, Є. О. Осадчук⁴¹⁻⁴ Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: ¹titlov1959@gmail.comORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>; ²<https://orcid.org/0000-0002-3889-8472>;³<https://orcid.org/0000-0002-8208-1152>; ⁴<https://orcid.org/0000-0002-8955-2041>

Одним із найважливіших завдань в досяжному майбутньому є ще більше розвинення технологій, що дозволяють вилучати воду з повітря, причому безпосередньо на місці, де вона необхідна. Найбільші перспективи мають методи, пов'язані з роботою автономних генераторів штучного холоду, які гарантовано забезпечують температуру охолодження повітря нижче точки роси – установок отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (АВТТ), що працюють від джерела низькопотенційного тепла – сонячної енергії. З урахуванням аналізу відомих технічних рішень запропоновано схеми систем життєзабезпечення житлового будинку, на прикладі кліматичних умов Одеської області, з використанням традиційних та відновлюваних джерел енергії. Запропонована базова схема, яка є удосконаленою технічною пропозицією універсальної системи опалення, охолодження (кондиціонування) та отримання води з атмосферного повітря на базі традиційних та відновлюваних джерел енергії (сонячних колекторів). Для рішення задач отримання холоду була запропонована оригінальна конструкція АВТТ з бустер-компресором після генератора, яка захищена патентними документами України. Включення в схему бустер-компресора дозволяє суттєво розширити робочі характеристики у частині рівня температур гріючого джерела. Так, наприклад, він необхідний у схемах із сонячними колекторами з водою у якості теплоносія, де температура не перевищує 100 °С. Доведено, що для умов роботи випарника при температурі 5 °С спостерігається зниження електричної потужності в системах АВТТ з бустер-компресором, порівняно з пароконпресорними аналогами, у 3,3 рази при експлуатації в помірному кліматі і у 2,4 рази – у тропічному кліматі. У результаті розрахунку було визначено в практичному діапазоні параметрів експлуатації систем з сонячними колекторами енергетично ефективний режим для бустер-компресора. Для систем при експлуатації в помірному кліматі це: тиск кипіння в генераторі 1,0 МПа і температура 80 °С. Запропонована також автономна холодильна установка на базі безнасосного абсорбційного холодильного агрегату. Виконано аналіз кліматичних умов одеського регіону. До уваги взяли найпівнічніше місто – Подольськ, місто у середині регіону – Одеса, та місто на півдні – Ізмаїл. При проведенні аналізу середньомісячної температури було виявлено найліпші місяці для утворення конденсату: квітень – жовтень. Було виявлено, що місто Ізмаїл є найвигіднішим для утворення конденсату, та отримання води з атмосферного повітря, у зв'язку з південними координатами регіону.

Ключові слова: Отримання води з атмосферного повітря; Абсорбційний водоаміачний термотрансформатор; Сонячна енергія; Сонячний колектор; Схемні рішення; Насосна та безнасосні схеми; Клімат; Точка роси

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v57i4.2212>

1. Вступ

Загальновідомо, що найціннішим ресурсом на планеті найближчим часом стане вода, а боротьба за водні ресурси в світі є одним з факторів в сучасних збройних конфліктах і, ця тенденція буде тільки зростати в досяжному майбутньому [1]. Близько 70 відсотків поверхні земної кулі вкрито водою, проте на 97,5 відсотків вона складається з солоної води. Решта 2,5 відсотки припадають на прісну воду, майже дві третини якої перебуває в замороженому стані в льодовикових шапках. Втім основна частина прісної води знаходиться в 1-кілометровому шарі атмосфери. Її сумарний обсяг становить не менше 1.000,000,000,000,000 літрів. Проблема добування води з повітряного басейну – актуальне наукове завдання, яке до теперішнього часу не має усталеного й домінуючого рішення. У переважній більшості випадків розробки залишаються на рівні патентів. Конструктивні рішення, що підтверджують заявлені параметри, у цих патентах поодинокі. Спочатку коротко зупинимося на відомих підходах, пов'язаних з розрахунками параметрів вологого повітря.

За даними вчених географічного факультету МДУ [2, 3], щороку з поверхні суші й океану випаровується 577 000 км³ води, стільки ж потім випадає у вигляді опадів. Цей цикл повторюється 45 разів на рік. Річковий річний стік становить лише 7 % від загальної кількості опадів. Таким чином, виявляється, що основне джерело прісної води – атмосферна вода – поки що не використовується. Однак за даними цієї роботи [3], середня абсолютна вологість біля земної поверхні становить 11 г/м³, а в тропічних регіонах вона доходить до 25 г/м³ і вище. Велика кількість країн тропічного поясу потерпає від відсутності прісної води, хоча її вміст в атмосфері досить значний. Наприклад, в Джибуті упродовж усього року практично не буває дощів, але абсолютна вологість становить 18-24 г/м³. Кількість води, що проноситься над кожним квадратом у 10 км² Аравійської пустелі або Сахари, дорівнює за обсягом озера площею 1 км² і глибиною 50 м.

Тому одним з найважливіших завдань є більше розвинути технологій, що дозволяють вилучати воду з повітря, причому безпосередньо на місці, де вона необхідна. Найбільші перспективи мають методи, пов'язані з роботою автономних генераторів штучного холоду, які гарантовано забезпечують температуру охолодження повітря нижче точки роси.

Найбільш перспективним напрямком тут є розробка установок отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термо-трансформаторів (АВТТ), що працюють від джерела низько потенційного тепла – сонячної енергії [4-11].

2. Розробка технічних пропозицій

З урахуванням аналізу відомих технічних рішень [12-15] запропоновано такі схеми систем життєзабезпечення житлового будинку, наприкладі кліматичних умов Одеської області з використанням традиційних та відновлюваних джерел енергії.

Запропонована базова схема (рис.1), яка є удосконаленою технічною пропозицією універсальної системи опалення, охолодження (кондиціювання) та отримання води з атмосферного повітря на базі традиційних та відновлюваних джерел енергії (сонячних колекторів).

Універсальна установка працює наступним чином. Розглянемо кілька режимів роботи установки у різних кліматичних умовах.

Холодна пора року

Основне джерело системи опалення житлового приміщення 1 – котел 8 на традиційних джерелах теплової енергії – газі або мазуті.

Гарячі продукти згоряння контактують з теплоносієм (водою) системи опалення 3, нагрівають його та за рахунок циркуляції теплоносія відбувається обігрів приміщення.

Продукти згоряння, що йдуть по витяжній трубі 9, мають температуру 250-350 °С. Цей температурний потенціал цілком прийнятний для використання у якості джерела тепла для термотрансформаторів абсорбційного типу, у тому числі з водоаміачним розчином (ВАР) у якості робочого тіла.

У темний час доби гарячий теплоносій системи каналів 11 подається в акумулятор тепла 6, а система опалення при цьому блокується засувками.

У світлий час доби підключається абсорбційний термотрансформатор (АВТТ) 2. На його генератор подається нагрітий в акумуляторі теплоносій 6, а на випарник – теплоносій з контуру 12 системи сонячних колекторів 10.

Теплота абсорбції, конденсації та дефлегмації, що відводиться в циклі АВТТ, використовується для системи опалення 6 за допомогою циркуляції контуру 13.

У цьому випадку АВТТ 2 працює у режимі теплового насоса, тобто використовує низькопотенційну теплоту атмосферного повітря для сис-

теми опалення 6 житлового приміщення 1.

У цьому режимі роботи АВТТ 2, залежно від температури зовнішнього повітря, може підключити котел 8, що досить рідко для кліматичних умов

Одеського регіону.

Таким чином, у світлий час доби може бути економія традиційного палива для роботи системи опалення 6 житлового будинку 1.

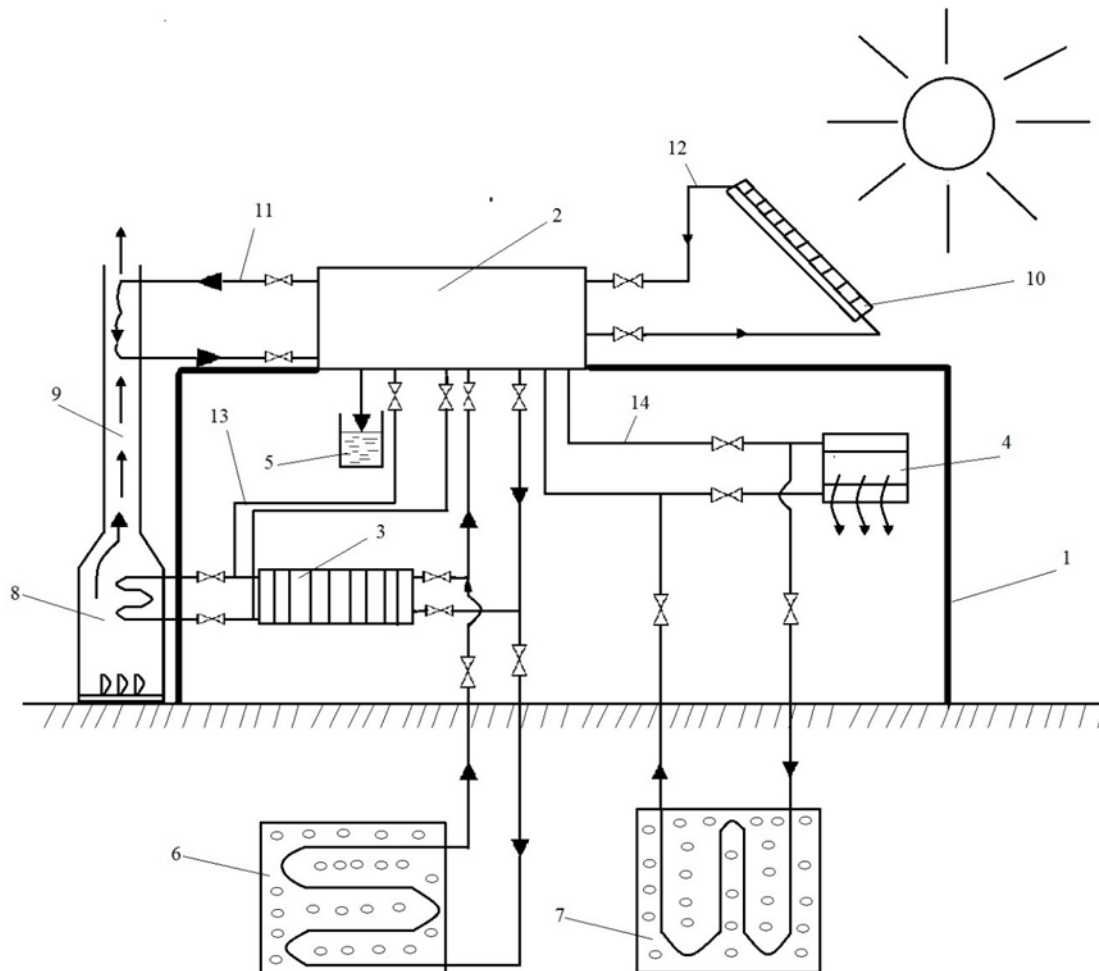


Рисунок 1 – Схема універсальної системи опалення, охолодження (кондиціювання) та отримання води з атмосферного повітря на базі традиційних та відновлюваних джерел енергії (сонячних колекторів): 1 – житловий будинок; 2 – термотрансформатор; 3 – система опалення; 4 – система охолодження; 5 – система отримання води; 6 – акумулятор тепла; 7 – акумулятор холоду; 8 – котел; 9 – витяжна труба; 10 – система сонячних колекторів; 11 – утилізаційний контур гарячого теплоносія; 12 – контур сонячних колекторів; 13 – контур тепла, що відводиться від елементів АВТТ; 14 – контур холодоносія

Тепла пора року

У теплу пору року вирішуються завдання охолодження повітря у житловому приміщенні 1.

Джерелом теплової енергії АВТТ 2 є енергія сонячного випромінювання від системи сонячних колекторів 10.

АВТТ 2 виробляє охолодження циркулюючого холодоносія в системі 14. Холодний потік подається на систему охолодження 4 (повітроохолоджувач). Охоложене повітря розподіляється у приміщенні 1 залежно від потреб.

У пік денного сонячного випромінювання АВТТ 2 працюватиме з максимальною продуктив-

ністю по холоду і при цьому матимуть місце надлишки тепла.

В цьому випадку для запасу теплової енергії для роботи АВТТ 2 у темний час доби підключається акумулятор тепла 6, а для збереження надлишку холоду – акумулятор холоду 7.

При заході сонця на генератор АВТТ подають гарячий теплоносії з акумулятора тепла 6, а весь вироблений холод подається в систему охолодження 4.

У разі нестачі запасеного тепла АВТТ відключається і на систему охолодження 4 подається охолоджений теплоносії акумулятора холоду 7.

Таким чином АВТТ вирішує завдання опалення та охолодження з максимальним використанням відновлюваного джерела тепла – сонця.

Одночасно із завданнями опалення та кондиціювання повітря запропонована універсальна система може вирішувати завдання отримання води з атмосферного повітря. Це завдання вирішується при роботі АВТТ з метою охолодження по-

вітря, тобто у теплі та спекотні періоди року.

Збір отриманого конденсату проводиться в ємність 5, звідки потім використовується для господарських потреб.

Для рішення задач отримання холоду була запропонована оригінальна конструкція АВТТ з бустер-компресором (рис.2) після генератора, яка захищена патентними документами України [16-18].

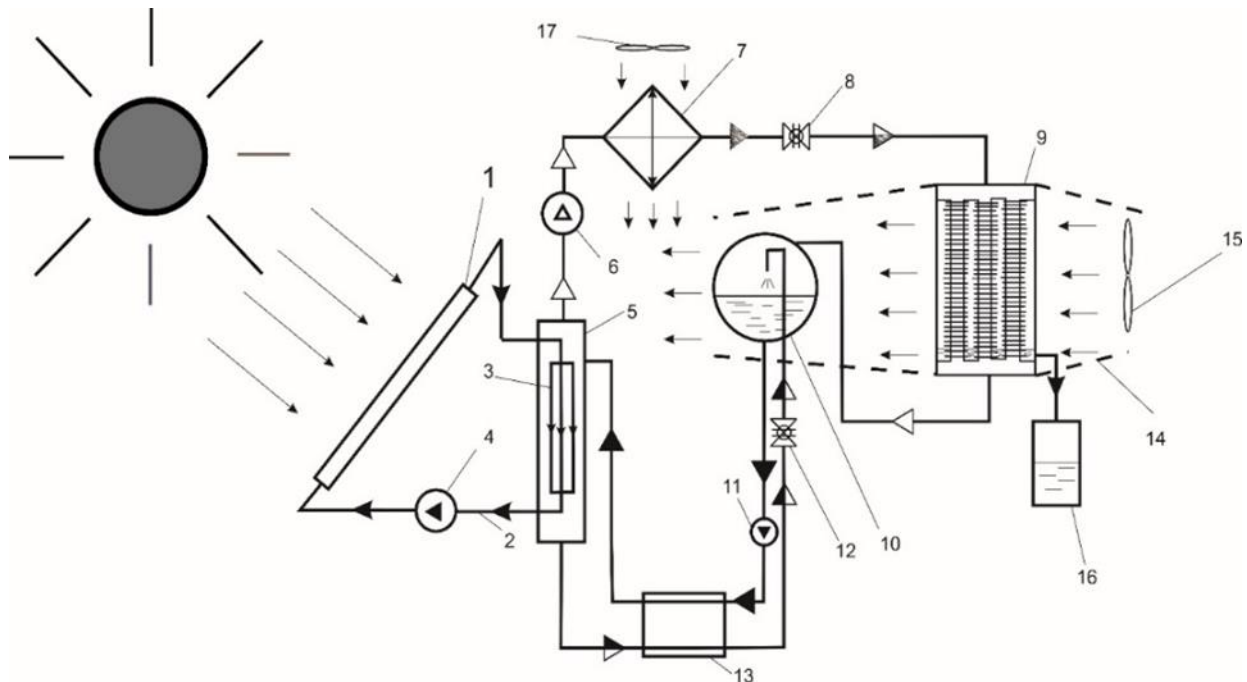


Рисунок 2 – Схема АВТТ з бустер-компресором: 1 – система сонячних колекторів; 2 – циркуляційний контур; 3 – теплообмінник; 4 – циркуляційний насос; 5 – генератор; 6 – бустер-компресор; 7 – конденсатор пари аміаку; 8 – дросель рідкого аміаку; 9 – випарник; 10 – абсорбер; 11 – насос міцного розчину; 12 – дросель слабкого розчину; 13 – теплообмінник розчинів; 14 – повітряний канал; 15, 17 – вентилятор; 16 – збірник конденсату

Система містить сонячні колектори 1 із замкнутим циркуляційним контуром 2, заповненим рідким теплоносієм, і з теплообмінником 3. Циркуляція теплоносія по контуру 2 і теплообміннику 3 здійснюється за допомогою насоса 4.

До складу установки входить АВТТ, яка містить: генератор 5, бустер-компресор 6, повітряний конденсатор 7, дросельний вентиль холодильного агента 8, випарник 9, абсорбер 10, насос «міцного» розчину 11, дросельний вентиль 12, теплообмінник «міцного» і «слабкого» водоаміачного розчину (ВАР) 13.

Випарник 9 і абсорбер 10 встановлені послідовно у спеціальному повітряному каналі 14 таким чином, щоб повітряний потік за допомогою вентилятора 15 надходив спочатку на випарник 9, а потім на абсорбер 10. Нижня частина випарника 9 пов'язана з ємністю для збору конденсату 16.

Охолодження конденсатора 7 здійснюється окремим вентилятором 17. У внутрішній порожнині генератора 5 встановлені канали-теплообмінники 3 циркуляційного контуру 2.

До гелегенератора 1 підводиться енергія сонячного випромінювання і з міцного ВАР випаровується переважно легкокиплячий компонент – аміак. Бульбашки пари проштовхують у верхню частину гелегенератора збіднений по аміаку слабкий ВАР. У процесі випарювання розчин збіднюється по аміаку і стікає в ресивер слабкого ВАР 3, а парова водоаміачна суміш надходить у дефлегматор 2. У дефлегматорі 2 конденсується переважно пара води з утворенням флегми та відведенням тепла фазового переходу в навколишнє середовище. Флегма стікає в ресивер 3. З дефлегматора пара аміаку 2 за допомогою бустер-компресора 5 направляється в конденсатор 6, де стиска-

ється до тиску P_k і конденсується з відведенням тепла в навколишнє середовище. З конденсатора 6 рідкий аміак через дросель 7 надходить у випарник 8. Після дроселя 7 тиск у випарнику 8 та абсорбері 9 знижується до P_0 . У випарнику 8 аміак кипить при тиску P_0 і температурі t_0 з відведенням теплоти від об'єкта охолодження.

Тиск P_0 у випарнику 8 підтримується за рахунок безперервного процесу поглинання пари аміаку слабким ВАР в абсорбері 9. У свою чергу слабкий ВАР надходить в абсорбер 9 із ресивера 3 через теплообмінник 12 і дросельний вентиль 11.

Утворений після поглинання аміаку міцний ВАР циркуляційним насосом 10 подається назад в ресивер міцного розчину 4, цикл повторюється.

Бустер-компресор у схемі АВТТ призначений підвищення тиску конденсації P_k у разі низької інтенсивності сонячного випромінювання (у ранкові і вечірні години або за хмарної погоди). В цьому випадку вентиль 13 закритий, а вентиль 14 відкритий. При достатній для стиснення пари аміаку сонячній інсоляції ситуація з вентилями обернена.

Включення в схему бустер-компресора дозволяє суттєво розширити робочі характеристики у частині рівня температур гріючого джерела. Так, наприклад, він необхідний у схемах із сонячними колекторами з водою у якості теплоносія, де температура не перевищує $100\text{ }^\circ\text{C}$.

У результаті розрахунку було визначено в практичному діапазоні параметрів експлуатації систем з сонячними колекторами енергетично ефективний режим для бустер-компресора.

Для систем при експлуатації в помірному кліматі це: тиск кипіння в генераторі $1,0\text{ МПа}$ і температура $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Доведено, що для умов роботи випарника при температурі $5\text{ }^\circ\text{C}$ спостерігається зниження електричної потужності в системах АВТТ з бустер-компресором, порівняно з парокompресійними аналогами, у $3,3$ рази при експлуатації в помірному кліматі і у $2,4$ рази – у тропічному кліматі.

Запропонована також автономна холодильна установка на базі безнасосного абсорбційного холодильного агрегату (АХА) [19] (рис.3), до складу якого входять: генератор 1, дефлегматор 2, конденсатор 3, випарник 4, опускний 5 і підйомний 6 канали парогазового контуру, абсорбер 7, ресивер розчину робочого тіла 8, теплообмінник типу «труба в трубі» 9 розчинів робочого тіла, канали слабого 10 і міцного 11 розчинів робочого тіла. Генератор 1 АХА установлений у фокусі параболічного дзеркального концентратора сонячного теплового випромінювання 12. АХА з ВАР і воднем в якості вирівнюючого інертного газу. ВАР частково заповнює генератор 1 і ресивер 8, а теплообмінник 9 і канали 10 і 11 – повністю. Контур природної циркуляції повітряного потоку являє собою U-подібний канал з опускними 13 і підйомними 14 каналами.

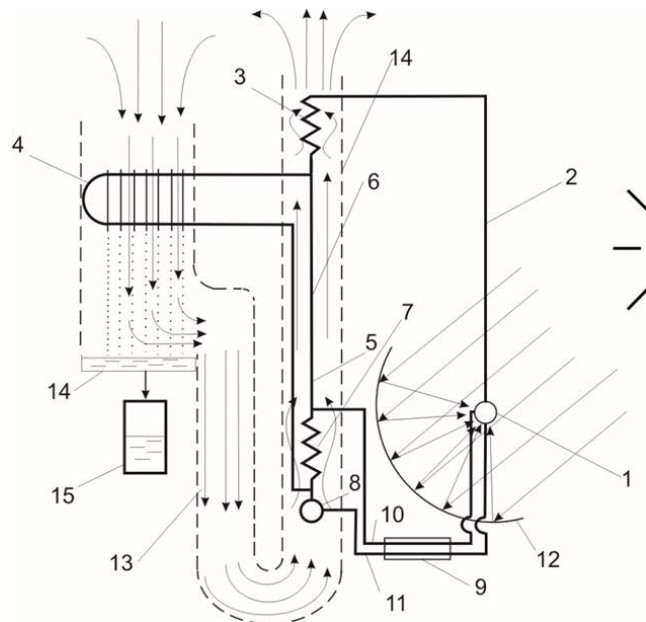


Рисунок 3 – Схема АХА: 1 – генератор; 2, 15 – дефлегматор; 3 – конденсатор, 4 – випарник; 5 – опускний канал парогазового контуру; 6 – підйомний канал парогазового контуру; 7 – абсорбер; 8 – ресивер розчину робочого тіла; 9 – теплообмінник типу «труба в трубі» розчинів робочого тіла; 10 – канали слабких розчинів робочого тіла; 11 – канали міцних розчинів робочого тіла; 12 – дзеркальний концентратор сонячного теплового випромінювання; 13, 14 – контур природної циркуляції повітряного потоку, U-подібний канал з опускними і підйомними каналами

У опускному каналі 13 встановлена ємність 15 для збору конденсату, що стікає з випарника 4. З ємності 15 конденсат відводиться для подальшого зберігання в посудині 16. У верхній частині опускного каналу 13 розміщений випарник 4 АХА, а в нижній і верхній частині підйомного каналу 14, відповідно, абсорбер 7 і конденсатор 3. Робота установки для отримання води з атмосферного повітря за заявленим способом здійснюється наступним чином. При сході сонця його теплове випро-

мінювання потрапляє на концентратор 12, який фокусує його і подає на генератор 1. Генератор 1 розігрівається і завдяки тому, що його заповнює ВАР починає випаровуватися переважно низькокиплячий компонент – аміак. Через недостатню високу різницю нормальних температур кипіння води і аміаку в парі, що утворюється, частково знаходиться і водяна пара. Очищення пари аміаку від води відбувається в дефлегматорі 2 з відведенням теплоти фазового переходу в навколишнє середовище. Очищена пара аміаку надходить до конденсатора 3, де зріджується також з відведенням теплоти фазового переходу в навколишнє середовище.

Для забезпечення необхідного температурного напору між поверхнею конденсатора 3 і зовнішнім повітрям тиск у внутрішній порожнині АХА підтримують на рівні 20...22 бар, що відповідає рівню температур в робочій зоні близько 50 °С. Рідкий аміак з конденсатора 3 стікає у випарник 4, куди надходить з підйомного каналу 5 частково очищений від пари аміаку водень. У випарнику 4 відбувається випаровування рідкого аміаку в середу інертного газу – водню при низькому парціальному тиску і, відповідно, при низькій температурі. Склад робочого тіла АХА підбирається таким чином, щоб можна було б забезпечити температуру на зовнішній поверхні випарника нижче температури точки роси. З випарника 4 насичений паром аміаку інертний газ (водень) за рахунок більшої густини опускається по каналу 6 униз – в нижню частину абсорбера 7.

У верхню частину абсорбера 7 надходить з генератора 1 «слабкий» (з меншою часткою аміаку) ВАР, який стікає в нижню частину абсорбера 7 і накопичується в ресивері 8. При контактній взаємодії «слабкого» ВАР і насиченої суміші аміаку і водню відбувається абсорбція (поглинання) пари аміаку рідиною. «Слабкий» ВАР при цьому насичується і стає насиченим по аміаку («міцним»), а водень частково очищується від пари аміаку.

«Міцний» ВАР по каналу 11 надходить через теплообмінник 9 в генератор 1. В теплообміннику 9 «слабкий» ВАР віддає тепло «міцному» ВАР і цикл роботи АХА повторюється. При контакті атмосферного повітря з поверхнею випарника 4, що має температуру нижче температури точки роси, відбувається конденсація розчиненої водяної пари, при цьому атмосферне повітря осушується і охолоджується.

Охолоджене і осушене повітря має велику густину і опускається в нижню частину каналу.

Конденсат води стікає з випарника 4 і накопичується в ємності 15, звідки потім подається в посудину 16. У нижній частині підйомного каналу 14 осушене і охолоджене повітря контактує з нагрітою до 42...45 °С поверхнею абсорбера 7. В процесі теплообміну повітря нагрівається, а абсорбер 7 охолоджується. Нагріте тепле повітря має меншу, порівняно з холодним, густину і виштовхується в зону конденсатора 3, де додатково нагрівається при відведенні теплоти конденсації. Як було зазначено вище, вихідний потік осушеного холодного повітря знижує температуру теплорозсіювальних елементів АХА (абсорбера 7 і конденсатора 3), а це призводить до підвищення холодопродуктивності випарника АХА при інших рівних умовах. Таким чином реалізується абсолютно автономний спосіб отримання води з атмосферного повітря, підвищена продуктивність якого залежить тільки від інтенсивності сонячного теплового випромінювання і є постійною протягом світлового дня.

3. Аналіз кліматичних умов Одеського регіону

Одеса. Клімат в Одесі – м'який та помірний, завдяки активному регулюванню з боку кліматичного стану Чорного моря, адже він, у свою чергу, відповідає за те, яка погода буде влітку та взимку. Як правило, у спекотний період море послаблює спеку, а в зимовий час робить морози легко переносимими та м'якими. Саме цю чудову особливість вже давно помітили вчені, які вивчають клімат Одеси. Звернемося до історії. Ось, наприклад, що писали перші лікарі-курортологи в далекому 1833 році: «...яка знаходиться на певній височині і омивається Чорним морем із заходу і півдня, оточена зі сходу і півночі степовими зонами Одеса, дарує одні з найчудовіших умов для відпочинку, адже ніщо в цьому місці не перешкоджає свободі руху повітря. Тут повітряні маси м'які, сухі, а влітку клімат Одеси найсприятливіший».

Найдовший сезон у всьому році в Одесі – літо. Як правило, він триває не менше 145 днів. Оздоровчий сезон у цій місцевості триває, починаючи з травня місяця, і триває до жовтня. У цей період включений і такий знаменитий період, як «бабине літо». Він відрізняється сухим прозорим повітрям та безвітрям.

Кліматичний район Одеси охарактеризований величезною кількістю яскравих сонячних днів – їх у році близько 300. Сонячне сяйво досягає максимуму у липні, а мінімальне спостерігається у грудні.

Цілий рік у Одесі тепла погода. Найтепліший місяць на рік – липень. Тут середня температура – 23 °С, а максимальна – 39 °С. Найхолодніший місяць – січень. Середня температура за добу мінус 2,5 °С.

Рельєф місцевості курортного району Одеси сприяє проникненню холодних мас повітря, із заходу – насичених вологою мас з Атлантичного океану, з півдня – вологого та теплого повітря з басейну Середземномор'я.

В Одесі спостерігаються сильні вітри. Влітку – північний, а в зимовий – східно-північні. Середня швидкість вітру – близько 5 м/с. У серпні та липні часто дують бризи.

Починаючи з березня і закінчуючи жовтнем, вологість повітря на Чорному морі, входить у відповідність до зони комфорту, це близько 50-70 % вологості.

На відміну від інших регіонів, в Одесі зима відрізняється м'якістю та нестійкістю снігових покривів із частими відлигами, зі слабкою морозною погодою. Взимку можна спостерігати як хмарні, так і похмурі дні, іноді тумани. Влітку спостерігається суха, малохмарна та тепла погода. Барометричний тиск спостерігається в межах 755 та 760 мм рт. стовпця.

Для Одеси залежність коефіцієнта вологовипадання, що є питомими витратами тепла на конденсацію 1 кг водяної пари [20], наведено на рис.4.

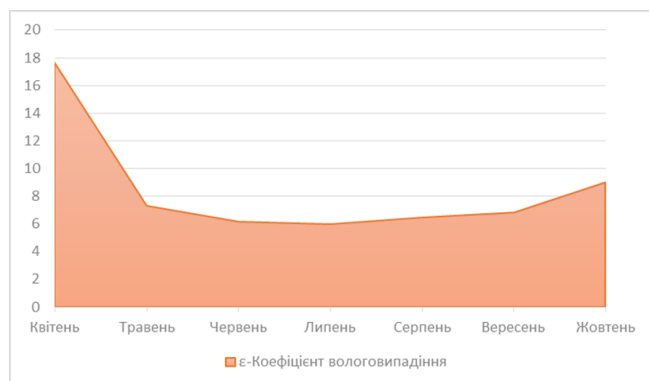


Рисунок 4 – Діаграма залежності коефіцієнту вологовипадання від середньої температури за кожний місяць у Одесі

Подольськ, розташований у північно-західній частині Одеської області. Клімат міста помірно-

континентальний. Клімат у місті близький до помірного, кількість опадів є значною, навіть у посушливий місяць. Середньорічна температура – 10,1 °С. Випадає близько 576 мм опадів на рік. Найсухіший місяць лютий – 31 мм опадів. У червні кількість опадів досягає свого піку, в середньому 73 мм. Липень є найтеплішим місяцем – 22,5 °С. Січень у свою чергу є найхолоднішим місяцем року – мінус 2,8 °С.

Місяць із найвищою відносною вологістю – січень (82,95 %). Місяць із найнижчою відносною вологістю – серпень (56,34 %). Місяць із найбільшою кількістю дощових днів – червень (10,57 днів). Місяць з найменшою кількістю – лютий (6,43 днів).

Для Подольська залежність коефіцієнта вологовипадання, що є питомими витратами тепла на конденсацію 1 кг водяної пари, наведено на рис.5.

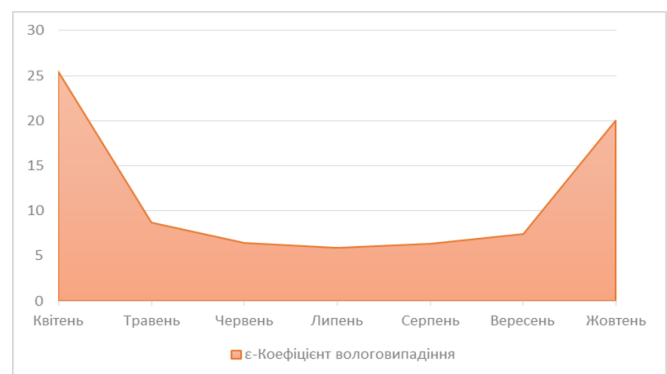


Рисунок 5 – Діаграма залежності коефіцієнту вологовипадання від середньої температури за кожний місяць у Подольську

Ізмаїл знаходиться у південній зоні помірного клімату: спекотне, посушливе літо та помірно холодна зима. Період активної вегетації тут припадає на період з 15 квітня по 20 жовтня. Найменша кількість опадів випадає у лютому і становить близько 30 мм. Більшість опадів випадає в червні, в середньому 61 мм. Температури є найвищими у липні, на позначці 24,6 °С. Січень є найхолоднішим місяцем із температурами в середньому мінус 0,3 °С. Зміна опадів між посушливими та дощовими місяцями – 31 мм. Найнижча відносна вологість протягом року випадає в серпні (57,85 %). Місяць із найвищою вологістю – січень (82,48 %). Найменша кількість дощових днів очікується в серпні (5,23 днів), а найбільше дощових днів – у травні (9,83 днів).

Для Ізмаїла залежність коефіцієнта вологовипадання, що є питомими витратами тепла на кон-

денсацію 1 кг водяної пари, наведено на рис.6.

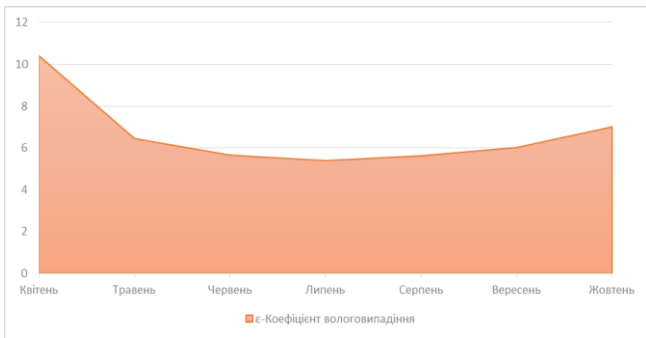


Рисунок 6 – Діаграма залежності коефіцієнту вологовипадіння від середньої температури за кожний місяць у Ізмаїлі

Для Одеського регіону узагальнена залежність коефіцієнта вологовипадіння, що є питомими витратами тепла на конденсацію 1 кг водяної пари, наведено на рис.7.

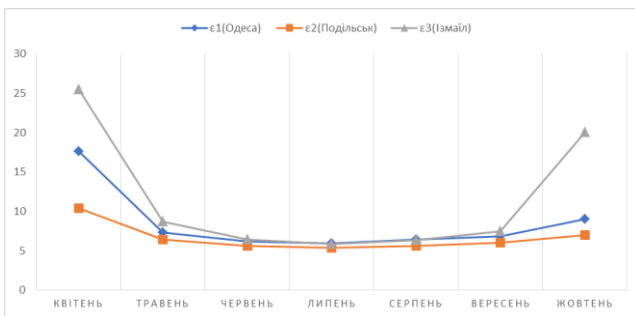


Рисунок 7 – Діаграма залежності вологовипадіння у містах Одеського регіону

Аналіз отриманих залежностей показав, що найменші витрати на одержання води з атмосферного повітря в Одеському регіоні матимуть місце з середини травня до середини жовтня.

Надалі, при похолоданні, енергетичні витрати зростають.

4. Висновки

Було проведено аналіз міст Одеського регіону на кращий результат коефіцієнту вологовипадіння, при конкретних критеріях для утворення конденсату.

До уваги взяли найпівнічніше місто – Подільськ, місто у середині регіону – Одеса, та місто на півдні – Ізмаїл. При проведенні аналізу середньої температури за місць було виявлено найліпші місяці для утворення конденсату: квітень, травень, червень, липень, серпень, вересень, жовтень. За-

вдяки середній температурі та відносній вологості за місяць, було знайдено ентальпію та абсолютний вологовміст за місяць. При відомих змінних знайшли різницю ентальпії та різницю абсолютного вологомісту, виходячи із цього також знайшли коефіцієнт вологовипадіння. Було виявлено що місто Ізмаїл є найвигіднішим для утворення конденсату та отримання води з атмосферного повітря, у зв'язку з південними координатами регіону.

Доведено, що система отримання води з атмосферного повітря на базі АВТТ з бустер-компресором, може бути працездатна з джерелами тепла вище ніж 85 °С і використовувати в своїй роботі широко поширені у світі сонячні колектори з водою в якості теплоносія. Порівняльний аналіз енергетичних витрат в АВТТ з бустер-компресором і в пароконпресорних аналогах показав енергетичну перевагу АВТТ при роботі з сонячним джерелом тепла, як при експлуатації в помірному кліматі, так і тропічному у 2,4...3,3 рази [21, 22].

У кліматичних зонах з дефіцитом водних ресурсів для підвищення енергетичної ефективності процесу отримання води з атмосферного повітря слід оцінювати можливість роботи з максимальною гарантованою температурою точки роси за допомогою аналізу кліматичних карт регіону.

Особистий внесок авторів CRediT

Тітлов О.С.: концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальний проект, адміністрування. **Годик К.О.:** візуалізація, дослідження, верифікація. **Кравченко Д.Ю.:** дослідження, еволюція загальних цілей та завдань. **Осадчук Є.О.:** перевірка, програмне забезпечення, візуалізація, верифікація.

Література

1. Международное десятилетие действий «Вода для жизни», 2005-2015 годы. Механизм «ООН – водные ресурсы». Режим доступа: URL: <http://www.un.org/ru/waterforlifedecade/unwater.shtml>.
2. Аль Майтами Валид Абдулвахид Мохаммед, Г.Т. Фрумин. Направления совершенствования водообеспечения в странах аравийского полуострова // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – №6 – С. 13-17.
3. Аль Майтами Валид Абдулвахид Мохаммед, Г.Т. Фрумин. Экологически безопасные технологии водообеспечения в странах аравийского полу-

- острова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2008. – №3 – С. 111-115.
4. **A.W.Kandeal, Abanob Joseph, Marwan El-sharkawy et al.** Research progress on recent technologies of water harvesting from atmospheric air: A detailed review // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. – 2022. – Vol. 52. – P. 102000.
5. **Sergei S. Dorzhiev, Elena G. Bazarova, Sergei V. Pimenov, Sodnom S. Dorzhiev.** Application of renewable energy sources for water extraction from atmospheric air // *Energy Reports*. – 2021. – Vol. 7. – P. 343-357.
6. **Robin Peeters, Hannah Vanderschaeghe, Jan Rongé, Johan A. Martens.** Fresh water production from atmospheric air: Technology and innovation outlook // *iScience*. – 2021. – Vol. 24. – Is. 11. – P. 103266.
7. **Mohamed H. Fathy, Mohamed M. Awad, El-Shafei B. Zeidan, Ahmed M. Hamed.** Solar powered foldable apparatus for extracting water from atmospheric air // *Renewable Energy*. – 2020. – Vol. 162. – P. 1462-1489.
8. **Ищенко, И.Н., Титлов А.С., Краснопольский А.Н.** Перспективы применения абсорбционных водоаммиачных холодильных машин в системах получения воды из атмосферного воздуха // *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. – 2011. – Вип. 7. – С. 92-97.
9. **Осадчук Е.А., Титлов А.С.** Поиск энергетически эффективных тепловых режимов водоаммиачной абсорбционной холодильной машины в широком диапазоне эксплуатационных параметров // *Харчова наука і технологія*. – 2012. – №4. – С. 79-82.
10. **Осадчук Е.А., Титлов А.С., Мазуренко С.Ю.** Определение энергетически эффективных режимов работы абсорбционной водоаммиачной холодильной машины в системах получения воды из атмосферного воздуха // *Холодильна техніка та технологія*. – 2014. – №4. – С. 54-57.
11. **Осадчук Е.А., Титлов А.С., Кузаконь В.М., Шлапак Г.В.** Разработка схем насосных и безнасосных абсорбционных водоаммиачных холодильных машин для работы в системах получения воды из атмосферного воздуха // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – №3/3(23). – С. 30-37.
12. **Дорошенко А.В., Гончаренко В.А.** Разработка многофункциональных солнечных систем на основе теплоиспользующего абсорбционного цикла и теплообменников аппаратов с подвижной насадкой // *Холодильна техніка та технологія*. – 2015. – № 1. – С. 35-46.
13. The European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). Режим доступу: <http://www.estif.org>.
14. Thermal solar line // Rotartica, air conditioning appliances: Solar Line, single effect 4,5 kW. Режим доступу: <http://www.rotartica.com>.
15. SorTech. Innovative Cooling! Режим доступа: <http://www.sortech.de/en/trade/solare-kuehlung>.
16. **Василів О.Б., Титлов О.С., Осадчук Є.О.** Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 100195 Україна: МПК (2015.01) E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/00. № 201501512; заявл. 20.02.2015; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13.
17. **Василів О.Б., Титлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М.** Установка для одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104853 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507385; заявл. 23.07.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4
18. **Василів О.Б., Титлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М.** Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104854 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507386; заявл. 23.07.2016; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4
19. **Василів О.Б., Титлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М.** Спосіб одержання води з атмосферного повітря і установка для його здійснення. Патент на винахід: пат. 114658 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10 (2006.01). F25D 21/14 (2006.01). № 201506905; заявл. 13.07.2015; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.
20. **Osadchuk E., Titlov O.** Analysis of the climatic features of the regions of the primary application of the systems for producing water from the atmospheric air // *ScienceRise*. – 2020. – № 4. – P. 3-9.
21. **Kholodkov A., Osadchuk E., Titlov A., Boshkova I., Zhykhareva N.** Improving the energy efficiency of solar systems for obtaining water from atmospheric air // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – № 3/8(93). – P. 41-51.
22. **Titlov A., Osadchuk E., Tsoy A., Alimkeshova A., Jamasheva R.** Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – № 2/8(98). – P. 57-67.

Development of units for obtaining water from atmospheric air as part of the life support systems of a residential building in the climatic conditions of Odesa region

Oleksandr Titlov^{✉1}, Kostiantyn Godyk², Dmytro Kravchenko³, Eugeny Osadchuk⁴

¹⁻⁴Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatna str., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ¹titlov1959@gmail.com

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>; ²<https://orcid.org/0000-0002-3889-8472>;

³<https://orcid.org/0000-0002-8208-1152>; ⁴<https://orcid.org/0000-0002-8955-2041>

One of the most important tasks is to further develop technologies that allow you to extract water from the air, and directly where it is needed. The most promising methods are related to the operation of autonomous artificial cold generators, which are guaranteed to provide the cooling temperature of air below the dew-point – units for obtaining water from atmospheric air based on absorption ammonia thermal transformers (ATT), operating from low potential heat – solar energy. Taking into account the analysis of known technical solutions, the following schemes of life support systems of a residential building are proposed, on the examples of climatic conditions of Odesa region with the use of traditional and renewable energy sources. The basic scheme which is the improved technical offer of universal system of heating, cooling (conditioning) and reception of water from atmospheric air on the basis of traditional and renewable energy sources (solar collectors) is offered. To solve the problem of obtaining cold, the original design of ATT with a booster compressor after the generator was proposed, which is protected by patent documents of Ukraine. The inclusion of a booster compressor in the circuit allows to significantly expand the operating characteristics in terms of the temperature level of the heating source. So, for example, it is necessary in schemes with solar collectors with water as the heat carrier where temperature does not exceed 100 °C. It is proved that for the conditions of evaporator operation at a temperature of 5 °C the reduction of electric power in ATT systems with a booster compressor, in comparison with steam compression analogues, is 3,3 times in operation in temperate climates and 2,4 times in tropical climates. As a result of the calculation, an energy-efficient mode for the booster compressor was determined in the practical range of operating parameters of systems with solar collectors. For systems in operation in temperate climates it is: boiling point in the generator of 1,0 MPa and temperature of 80 °C. An autonomous refrigeration unit based on a pump-free absorption refrigeration unit is also proposed. The analysis of climatic conditions of the Odesa region was performed. The northernmost city – Podolsk, the city in the middle of the region – Odessa, and the city in the south – Ismail were taken into account. The analysis of the average temperature for the places revealed the best months for the formation of condensate: April-October. It was found that the city of Ismail is the most favorable for the formation of condensate and water from the atmosphere, due to the southern coordinates of the region.

Keywords: Obtaining water from atmospheric air; Absorption water-ammonia thermotransformers; Solar energy; Solar collector; Circuit solutions; Pumping and non-pumping circuits; Climate, Dewpoint

References

1. International Decade for Action “Water for Life”, 2005-2015. UN-Water Mechanism. Retrieved October 11, 2021, from <http://www.un.org/ru/waterforlifedecade/unwater.shtml>.
2. Al Maitami Waleed Abdulwahid Mohammed, Frumin, G.T. (2007) Directions for improving water supply in the countries of the Arabian Peninsula. *Modern problems of science and education*, 6, 13-17.
3. Al Maitami Waleed Abdulwahid Mohammed, Frumin, G.T. (2008) Ecologically safe water supply technologies in the countries of the Arabian Peninsula. *Modern problems of science and education*, 3, 111-115.
4. A.W.Kandael, Abanob Joseph, Marwan El-sharkawy et al. (2022) Research progress on recent technologies of water harvesting from atmospheric air: A detailed review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102000.
5. Sergei S. Dorzhiev, Elena G. Bazarova, Sergei V. Pimenov, Sodnom S. Dorzhiev (2021) Application of renewable energy sources for water extraction from atmospheric air. *Energy Reports*, 7, 343-357.
6. Robin Peeters, Hannah Vanderschaeghe, Jan

- Rongé, Johan A. Martens** (2021) Fresh water production from atmospheric air: Technology and innovation outlook. *iScience*, 24, 11, 103266.
7. **Mohamed H. Fathy, Mohamed M. Awad, El-Shafei B. Zeidan, Ahmed M. Hamed** (2020) Solar powered foldable apparatus for extracting water from atmospheric air. *Renewable Energy*, 162, 1462-1489.
8. **Ishchenko, I.N., Titlov, A.S., Krasnopolsky, A.N.** (2011) Prospects for the use of absorption water-ammonia refrigeration machines in systems for obtaining water from atmospheric air. *Collection of science practices of the Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical sciences*, 7, 92-97.
9. **Osadchuk, E.A., Titlov, A.S.** (2012) Search for energy-efficient thermal regimes of a water-ammonia absorption refrigeration machine in a wide range of operating parameters. *Kharchova nauka i technologiya*, 4, 79-82.
10. **Osadchuk, E.A., Titlov, A.S., Mazurenko, S.Yu.** (2014) Determination of energy-efficient operating modes of an absorption water-ammonia refrigeration machine in systems for obtaining water from atmospheric air. *Kholodilna tekhnika ta tekhnologiya*, 4, 54-57.
11. **Osadchuk, E.A., Titlov, A.S., Kuzakon, V.M., Shlapak, G.V.** (2015) Development of schemes for pumping and non-pumping absorption water-ammonia refrigeration machines for operation in systems for obtaining water from atmospheric air. *Technological audit and production reserves*, 3/3 (23), 30-37.
12. **Doroshenko A.V., Goncharenko V.A.** (2015) Development of multifunctional solar systems based on a heat-using absorption cycle and heat and mass transfer apparatus with a movable nozzle. *Kholodilna tekhnika ta tekhnologiya*, 1, 35-46.
13. The European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). Retrieved October 18, 2021, from <http://www.estif.org>.
14. Thermal solar line. Rotartica, air conditioning appliances: Solar Line, single effect 4.5 kW. Retrieved October 19, 2021, from <http://www.rotartica.com>.
15. Sortech. Innovative Cooling! Retrieved October 13, 2021, from <http://www.sortech.de/en/trade/solareku-ehlung>.
16. **Vasylyv, O.B., Titlov, O.S., Osadchuk, E.A.** (2015) The method of obtaining water from atmospheric air. Utility model patent 100195 Ukraine: IPC (2015.01) E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/00. № 201501512; stated 20.02.2015; publ. 10.07.2015, Bull. № 13.
17. **Vasylyv, O.B., Titlov, O.S., Osadchuk, E.A., Kuzakon, V.M.** (2015) Unit for receiving water from atmospheric air. Utility model patent: 104853 Ukraine: IPC E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507385; stated 23.07.2015; publ. 25.02.2016, Bull. № 4.
18. **Vasylyv, O.B., Titlov, O.S., Osadchuk, E.A., Kuzakon, V.M.** (2016) The method of obtaining water from atmospheric air. Utility model patent: 104854 Ukraine: IPC E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507386; stated 23.07.2016; publ. 25.02.2016, Bull. № 4.
19. **Vasylyv, O.B., Titlov, O.S., Osadchuk, E.A., Kuzakon, V.M.** (2017) The method of obtaining water from atmospheric air and unit for its implementation. Patent for invention: 114658 Ukraine: IPC E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10 (2006.01). F25D 21/14 (2006.01). № 201506905; stated 13.07.2015; publ. 10.07.2017, Bull. № 13.
20. **Osadchuk, E., Titlov, O.** (2020) Analysis of the climatic features of the regions of the primary application of the systems for producing water from the atmospheric air. *ScienceRise*, 4, 3-9.
21. **Kholodkov, A., Osadchuk, E., Titlov, A., Boshkova, I., Zhykhareva, N.** (2018) Improving the energy efficiency of solar systems for obtaining water from atmospheric air. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/8(93), 41-51.
22. **Titlov, A., Osadchuk, E., Tsoy, A., Alimkeshova, A., Jamasheva, R.** (2019) Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/8(98), 57-67.

Received 25 October 2021

Approved 26 November 2021

Available in Internet 29 December 2021