ҲАВОДАН ИЧИМЛИК СУВИ ОЛИШ ЖАРАЁНИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ

Дўстқобилов Шахзод
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети талаба
Ўзбекистон Республикаси
Сафаров Жасур Эсиргапович
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети т.ф.д., профессор,
Ўзбекистон Республикаси
E-mail: jasursafarov@yahoo.com
Султанова Шахноза Абдувахитовна
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети т.ф.д., профессор, Тошкент шаҳар Ҳоким ўринбосари
Ўзбекистон Республикаси
E-mail: sh.sultanova@yahoo.com

Аннотация: Дунёда ичимлик суви танқислиги ўсиб бораётган шароитда атмосфера ҳавосидан сув олиш технологиялари (Atmospheric Water Harvesting – AWH) барқарор ресурс сифатида катта аҳамият касб этмоқда. Ушбу мақолада ҳаводан сув ажратиб олишнинг физик тамойиллари, замонавий технологиялари, материаллар, датчиклар ва энергия самарадорлиги бўйича таҳлил берилади.

Калит сўзлар: ресурс, атмосфера, конденсация, генератор, ҳаво намлиги, математик моделлаштириш, термодинамика, психрометр, гидрологик мувозанат, энергия, технология.

Аннотация: В условиях нарастающего дефицита питьевой воды в мире технологии получения воды из атмосферного воздуха (Atmospheric Water Harvesting, AWH) приобретают важное значение как устойчивый ресурс. В данной статье представлен анализ физических принципов извлечения воды из воздуха, современных технологий, применяемых материалов, датчиков и энергетической эффективности таких систем.

Ключевые слова: ресурс, атмосфера, конденсация, генератор, влажность воздуха, математическое моделирование, термодинамика, психрометр, гидрологический баланс, энергия, технология.

Annotation: in conditions of growing shortage of drinking water in the world, atmospheric water Harvesting – AWH technologies (Atmospheric Water Harvesting-AWH) are gaining great importance as a sustainable resource. This article will give an analysis of the physical principles of water extraction from the air, modern technologies, materials, sensors and energy efficiency.

ISSN 3030-3907

Keywords: resource, atmosphere, condensation, generator, air humidity, mathematical modeling, thermodynamics, psychrometer, hydrological balance, energy, technology.

Кириш.

Планетадаги сув ресурсларининг катта қисми ичимликка яроқли эмас. Бироқ атмосферадаги сув буғининг умумий миқдори Ердаги барча дарёлар сув миқдорига тенг. Атмосферадан сув ажратиб олиш технологиялари иқлим ўзгариши, чўлланиш, сув таъминоти етишмовчилиги шароитида янада долзарбдир.

Атмосферада мавжуд бўлган сувни шартли равишда учта асосий турга ажратиш мумкин [1,3]: ер юзаси сатҳидан турли баландликларда жойлашган булут қатлами; ер юзасига яқин ҳудудларда – туман; ҳавода доимий равишда мавжуд бўлган сув буғи. Булут ва туман қатламлари таркибидаги сув заррачалари ўта майда бўлиб, уларнинг ўлчами 50 мкм дан ошмайди; бу ҳолат ёмғир томчилари учун хос бўлиб, уларнинг ўлчами одатда 1 дан 6 мм гача бўлади. Бироқ, туман ва булутлардаги бундай томчилар концентрацияси ёмғир ҳолатига нисбатан анча юқори.

Адабиётлар шарҳи. Ҳаводан сув тўплашнинг муҳим жиҳати шундаки, қувватлантириш жараёнларидан фарқли ўлароқ, мазкур ҳолатда сув атмосферадан ажратиб олингани сабабли гидрологик мувозанатга, ҳар қанча кичик бўлса-да, таъсир кўрсатади. Ҳатто айрим ҳолатларда узоқда жойлашган очиқ сув манбаларидаги сув миқдори камайишига ҳам олиб келиши мумкин [4].

Бундан ташқари, атмосферадан олинадиган сув тоза бўлади ва шу боисдан ҳам ичимлик сифатида истеъмол қилиш, ҳамда қишлоқ хўжалиги ва маиший эҳтиёжлар учун қўллашга тўлиқ яроқлидир [1,5].

Ҳаводан сув олишнинг аҳамияти шубҳасиз бўлиб, бу айниқса бошқа ичимлик суви манбалари умуман мавжуд бўлмаган қуруқ ҳудудларга тааллуқлидир [2,6]. Бундай технологиялар доимий сув таъминоти учун ҳам, табиий офатлар таъсирига учраган ҳудудларни сув билан таъминлаш учун ҳам жуда муҳимдир [7,9].

Тадқиқот методлари. Юқорида қайд этилган хусусиятлардан ташқари, ҳаводан сув олиш усулларининг яна бир муҳим жиҳати шундаки, улар табиатан децентрализован ҳисобланади. Бу эса кам ва паст ривожланган мамлакатларда кичик ҳажмли ичимлик суви ишлаб чиқариш тизимларини ташкил этишда деярли беқиёс афзаллик беради [8,10]. Дунёда ҳар йили 2 миллиондан ортиқ инсоннинг вафоти паст санитария даражаси ва канализация тизимининг йўқлиги, яъни охир-оқибат тоза ичимлик сувнинг етишмаслиги билан боғликдир [6,7].

ISSN 3030-3907

Шунингдек, тоза ичимлик сувининг мавжудлиги дарё, кўл, чилғилар каби анъанавий сув манбаларидан узоқда жойлашган ҳудудларнинг иқтисодий ривожланишида муҳим омил ҳисобланади. Бундай ҳудудларнинг кўпчилигида йиллик ёғингарчилик миқдори жуда кам бўлади [10].

Бунинг учун ҳаводан ичимлик суви олиш технологиясидаги физик жараёнлар таҳлил қилиниб, конденсация механизмига асосланган математик модель ишлаб чиқилган. Модель ҳаво намлиги, ҳарорат, конденсация юзаси ва энергия сарфи ўртасидаги функционал боғланишни аниқлайди. Ҳисоб-китоблар ҳавонинг нисбий намлиги 50–80% атрофида бўлган шароитларда сув ҳосилдорлиги жадал ошишини кўрсатди. Математик модель сув генераторлари конструкциясини оптималлаштириш имконини беради [3,5,9].

Жараённинг самарадорлигини ошириш учун физик қонуниятларни аниқ ифодалайдиган математик модель талаб этилади.

Ҳавонинг максимал сув буғи сиғими Сатурд (to‘yingan) босим орқали аниқланади [3]:

$$p_{sat}(T) = Aexp\left(\frac{BT}{C+T}\right) \quad (1)$$

бу ерда T - ҳарорат (°C), A,B,C - эмпирик константалар.

Ҳавода реал сув буғи босими:

$$p_v = \varphi \cdot p_{sat}(T) \quad (2)$$

бу ерда φ – нисбий намлик.

Конденсация $T_c<T_{dew}$ бўлганда қуйидаги тенглик ҳосил бўлади [5]:

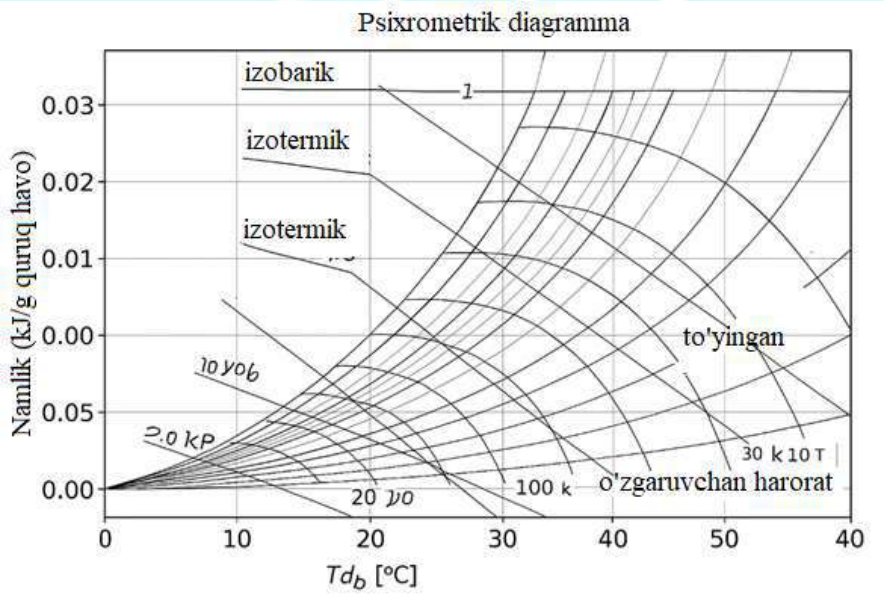
$$T_{dew} = f(p_v) \quad (3)$$

Моделга кўра ҳавонинг намликка боғлиқлиги:

- φ=50%-дан 80%-га ошганда сув ҳосилдорлиги 2-2,5 марта ортиб боради.
- қуруқ жойларда AWH самарадорлиги паст, тропик мамлкатларда эса юқори.

Натижада математик модель учун куйидаги психрометрик диаграмма ҳосил бўлди.

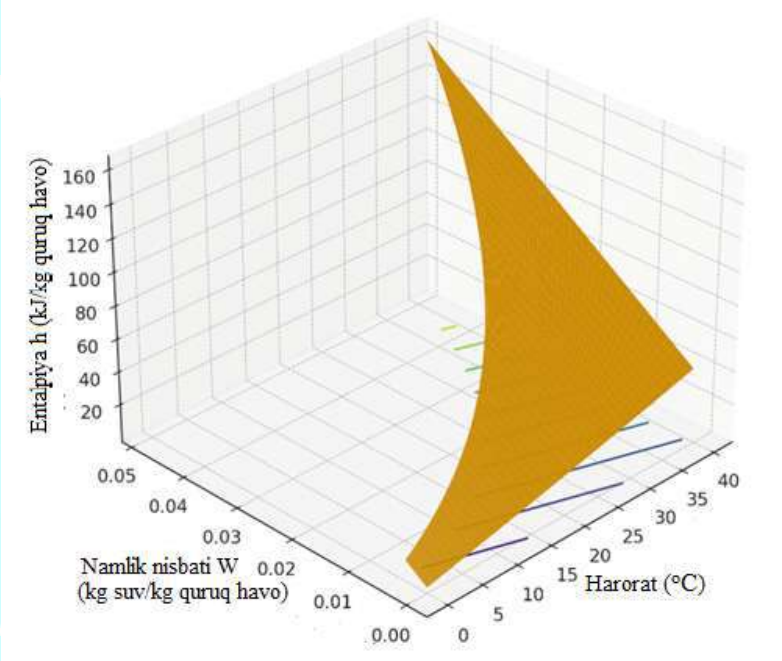
ISSN 3030-3907



1-расм. Ҳаво намлигини ҳароратга боғлиқлик психрометрик диаграммаси

Шу жиҳатдан олиб қаралганда, атмосферадан сув олиш усуллари анча универсал бўлиб, энг муҳими, уларни қуёш ва шамол энергияси каби қайта тикланувчи энергия манбалари билан осон интеграция қилиш мумкин [3,5].

Юқорида баён этилган математик модель AWH қурилмаларида конденсация жараёнини яхлит тавсифлайди [9,10]. У ҳаво намлиги, ҳарорат ва энергия сарфини ҳисобга олган ҳолда сув ҳосилдорлигини аниқ башорат қилиш имконини беради. Модель асосида AWH тизимларини оптимал лойиҳалаш, энергия тежаш ва иқлим шароитларига мослаштириш мумкин.



2-расм. 3D психрометрик диаграммада, *x* ўқи - қуруқ термометр ҳарорати (C), *y* ўқи - намлик нисбати W (kg water/kg dry air), ва *z* ўқи - энтальпия (kJ/kg dry air) сифатида кўрсатилган.

ISSN 3030-3907

Юқорида келтирилган диаграммада қиррага проекцияланган контурлар ҳам бор – бу AWH (атмосферадан сув олиш) оптимизациясида ҳарорат/намлик/энергия муносабатларини тез баҳолашга ёрдам беради.

Хулоса. Ҳаводан сув олиш технологиялари сув танқислигига қарши курашда истиқболли ва самарали альтернатив манба ҳисобланади. Энергия тежамкор адсорбент тизимлари ва қуёш энергиясига асосланган қурилмалар ушбу йўналишнинг келажакдаги асосий ривожланиш нуқталаридир. Бундай тизимларнинг кенг жорий этилиши сув ресурсларидан фойдаланиш босимини камайтириши, чўл ҳудудларда яшовчи аҳолининг ҳаёт сифатини яхшилаши ва иқлим ўзгаришига мослашиш имконини кенгайтиради.

АДАБИЁТЛАР

1. Sultanova Sh.A., Safarov J.E., Usenov A.B., Mambetsheripova A.A. Analysis of technology extraction of essential oil from basil plant. XIII International scientific and practical conference “Scientific achievements in solving current problems of production and processing of raw materials, standardization and food safety”. -Kiev, 2025. P.28-30.

2. International Atmospheric Water Harvesting Association. (2025). Revolutionary Developments in Atmospheric Water Harvesting (AWH) in 2025: A Detailed Synthesis of Research Insights and Technological Breakthroughs.

3. Moran, M. J., Shapiro, H. N. **“Fundamentals of Engineering Thermodynamics”** Wiley, 2018. P.328.

4. Лубсандоржиева П.Б., Болданова Н.Б., Попов Д.В. Количественный анализ флавоноидов в растительном средстве методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Байкальский медицинский журнал, 2013, 116 (1), 114-115.

5. Çengel, Y. A., Boles, M. A. **“Thermodynamics: An Engineering Approach”** McGraw-Hill, 2019. P.280.

6. Матвиенко У.А., Дурнова Н.А., Полуянов А.М., Бобкова Н.В., Раменская Г.В. ВЭЖХ-УФ-анализ гликозидов флавоноидов в траве Astragalus (A. dasyanthus, A. varius, A. testiculatus, A. henningii), произрастающих на территории Поволжья. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2024;13(1):139-148. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2024-13-1-1623

7. Ju Sung Lee, Leo Adrianne Paje, Won-Hee Choi, Eun Ju Cho, Hyun Young Kim, Sonia D. Jacinto and Sanghyun Lee. Validation of an optimized HPLC/UV method for the quantification of flavonoids in lotus. Appl Biol Chem. 2020;63:305–312. doi:10.1186/s13765-020-00568-0

8. An-Hua Wei, Lu Zeng, Jin-Lan Ruan & Dao-Nian Zhou. (2022) Apoptosis induced by DICO, a novel non-aromatic B-ring flavonoid via a ROS-dependent

ISSN 3030-3907

mechanism in human colon cancer cells. Natural Product Research 36:23, pages 6050-6055. doi:10.1080/14786419.2018.1522312

9. Sultanova Sh., Mukhiddinov Q., Safarov J., Alimova D., Abdo Hassoun, Nasirova M., Ergasheva Z., Jumaev B. Determination of some characteristics of traditional cheese and evaluatıon of evaluated cheese to food safety. IV International Scientific and Technical Conference "Actual Issues of Power Supply Systems". AIP Conf. Proc. 3331. P.030028-1–030028-7. https://doi.org/10.1063/5.0306235

10. Alenezi A., Jung H.H., Alabaiadly Y., Experimental and Numerical Analysis of an Atmospheric Water Harvester Using a Thermoelectric Cooler. *Atmosphere*, 14(2): 276 (2023).

ISSN 3030-3907