



УДК 621.175: 621.57

М. І. Стручаєв, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8891-4960

М. В. Нікульча, бакалавр

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

E-mail: mykola.struchaiev@tsatu.edu.ua, тел: +38(098)-987-89-01

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЙНОГО ПРИБОРУ НАКОПИЧЕННЯ ВОЛОГИ

**Анотація.** Стаття присвячена підвищенню ефективності і стабільності накопичення вологи з атмосферного повітря, шляхом визначення оптимальної кількості конденсації води, при використанні абсорбційного пристрою. Для забезпечення рівномірного накопичення вологи і відповідного дозування витрати води запропоновано використання абсорбційного пристрою накопичення вологи. Запропонована методика розрахунку визначення оптимальної кількості конденсації води з атмосферного повітря і схема установки, яка може бути використана при проектуванні і підборі обладнання. Отримано залежності добової продуктивності абсорбційного пристрою накопичення вологи від температури і відносної вологості атмосферного повітря.

**Ключові слова:** ефективність, абсорбційний пристрій, накопичення вологи, вологовміст атмосферного повітря, вентилятор, охолоджувач-конденсатор, водозбірник, абсорбційна холодильна машина.

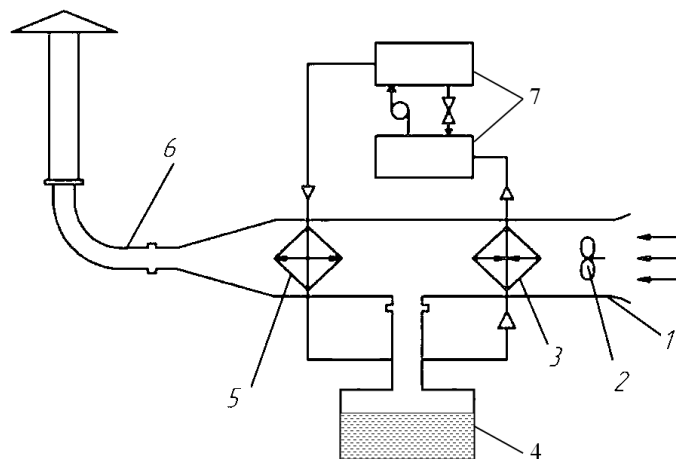
**Постановка проблеми.** На думку експертів ООН, в XXI столітті вода стане більш важливим стратегічним ресурсом, ніж нафта і газ, оскільки тонна чистої води в деяких країнах вже зараз дорожче за нафту [1-3]. Основними джерелами прісної води є води річок, озер, артезіанських свердловин, яких вкрай недостатньо. В умовах економії енергоресурсів і підвищення екологічної безпеки, вимоги до процесу забезпечення питною водою і водою для зрошення зростають і його вдосконалення в даний час є досить актуальною проблемою [4,5].

**Аналіз останніх досліджень.** В останні роки у всьому світі ведуть пошук альтернативних поверхневим і підземним джерелам прісної води, придатних для населення і сільського господарства. У деяких близькосхідних державах до 80 % води вже сьогодні отримують шляхом опріснення [6-8]. Іншим перспективним шляхом є конденсація

води з атмосферного повітря [9,10]. Існують різні способи конденсації і накопичення вологи з атмосферного повітря [11-13]. Дуже перспективними є способи конденсації води при мінімальному споживанні електроенергії [14].

*Формулювання мети статті.* Метою дослідження є встановлення можливості підвищення ефективності і стабільності накопичення вологи з атмосферного повітря, шляхом визначення оптимальної кількості конденсації води, при використанні абсорбційного пристрою.

*Основна частина.* Поставлена задача вирішується тим, що абсорбційний пристрій накопичення вологи містить підвідний канал 1, вентилятор 2 та охолоджувач-конденсатор 3 виконаний у вигляді випарника абсорбційної холодильної машини 7, які розміщено в потоці повітря підвідного каналу 1, водозбірник 4, повітря-підігрівач 5 встановлений у відвідному каналі 6 та виконаний у вигляді конденсатора абсорбційної холодильної машини 7, водозбірник 4 розташований під патрубком (не позначено) відведення конденсату з підвідного каналу 1. Технічна суть та принцип дії абсорбційного пристрою накопичення вологи, який пропонується, пояснюється кресленням (рис. 1), де представлено схематичне зображення його.



1 – підвідний канал; 2 – вентилятор; 3 – охолоджувач-конденсатор, виконаний у вигляді випарника абсорбційної холодильної машини, який розміщено в потоці повітря підвідного каналу; 4 – водозбірник; 5 – повітря-підігрівач, встановлений у відвідному каналі та виконаний у вигляді конденсатора абсорбційної холодильної машини; 6 – відвідний канал; 7 – абсорбційна холодильна машина.

Рисунок 1. Схема абсорбційного пристрою накопичення вологи

Абсорбційний пристрій накопичення вологи працює таким чином. Повітря в підвідному каналі 1 під дією вентилятора 2 рухається через



охолоджувач-конденсатор 3, виконаний у вигляді випарника абсорбційної холодильної машини 7. Зниження температури нижче точки роси на охолоджувачі-конденсаторі 3 дозволяє забезпечити збільшення кількості сконденсованої вологи [15], яка випадає у вигляді конденсату водяних парів і відводиться у водозбірник 4 розташований під патрубком (не позначено) відведення конденсату з підвідного каналу 1. Повітря, з якого видалено частину вологи потрапляє до повітря-підігрівача 5 встановленого у відвідному каналі 6 та виконаного у вигляді конденсатора абсорбційної холодильної машини 7. Повітря підігрівається, щільність нагрітого повітря зменшується і воно відводиться через відвідний канал 6 до навколишнього середовища, що дозволяє підвищити надійність циркуляції повітря.

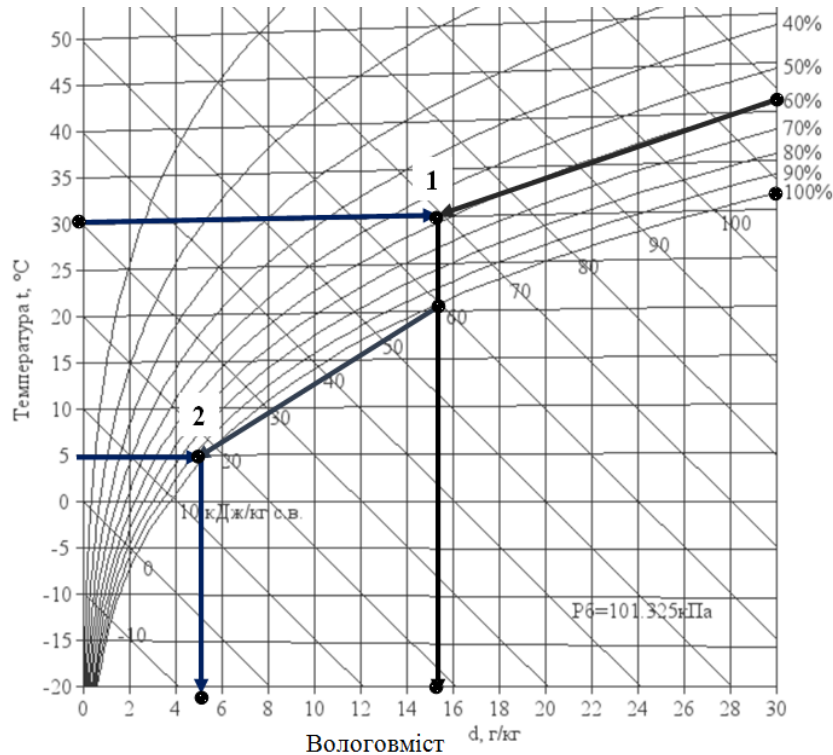
Для вирішення цієї задачі треба розробити методику розрахунку визначення оптимальної кількості конденсації води з атмосферного повітря і схему установки накопичення вологи, яка може бути використана при проектуванні і підборі обладнання.

Методика дослідження заснована на модифікованому методі вивчення процесу конденсації води з атмосферного повітря.

Середня абсолютна вологість атмосферного повітря складає  $11 \text{ г/м}^3$ , при цьому деяка кількість води природнім шляхом випадає у вигляді роси. Для визначення кількості води, яка видалається з повітря, використовуваного для зрошення в охолоджувачі-конденсаторі атмосферної вологи шляхом використання енергоефективного абсорбційного пристрою накопичення вологи необхідно задатися наступними умовами: для зрошення використовуємо атмосферне повітря при початковій температурі  $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  і вологості  $\varphi_1 = 60 \%$ .

На  $H - d$  - діаграмі знаходимо точку «1» на перетині ліній  $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $\varphi_1 = 60\%$  і для неї визначаємо вологовміст (вміст води в кубометрі повітря). Вологовміст атмосферного повітря до початку конденсації вологи  $d_1$  дорівнює  $15,12 \text{ гр/кг}$  (грамів на кг повітря).

З точки «1» проводимо лінію  $d_1 = \text{const}$  до перетину з лінією  $\varphi = 100\%$ . Це буде точка роси  $1'$  (яка дорівнює  $21,38 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Від точки  $1'$  по лінії  $\varphi = 100\%$  опускаємося до перетину з ізотермою  $t_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  і отримуємо точку «2». Точка перетину «2» характеризує стан повітря на виході з охолоджувача-конденсатора атмосферної вологи, який виконано у вигляді випарника абсорбційної холодильної машини, повітря охолоджується нижче точки роси до температури  $t_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , вологість його підвищується до  $\varphi_2 = 100\%$ . Подальший розрахунок виконуємо за допомогою  $H - d$  діаграми вологого повітря (рис. 2).



1 – параметри повітря на вході в підвідний канал; 2 – параметри повітря на виході з охолоджувача-конденсатора.

Рисунок 2. Схема розрахунку процесу конденсації вологи з атмосферного повітря за допомогою H - d діаграми Рамзина

Вологовміст при охолодженні до  $t_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  в точці «2»  $d_2$  дорівнює 5,04 гр/кг (грамів на кг повітря).

Знаходимо кількість води, яка видаляється з повітря, використовуюваного для зрошення в охолоджувачі-конденсаторі атмосферної вологи шляхом використання енергоефективного абсорбційного пристрою накопичення вологи.

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 15,12 - 5,04 = 10,08 \text{ гр/кг}, \quad (1)$$

де  $\Delta d$  - кількість води, яка видаляється з 1 кілограму повітря при охолодженні, гр/кг,

$d_1$  - вологовміст атмосферного повітря до початку конденсації вологи, гр/кг,

$d_2$  - вологовміст атмосферного повітря при температурі  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , гр/кг.

Визначаємо щільність атмосферного повітря на вході до вентилятора при початковій температурі  $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  і вологості  $\phi_1 = 60 \text{ }%$ :



$$\rho = 0,0473 \cdot \frac{B}{T} = 0,0473 * (752/303) = 1,1174 \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

де  $\rho$  - щільність атмосферного повітря, кг/м<sup>3</sup>,  
 $B$  - барометричний тиск, мм рт. ст.,  
 $T$  - температура повітря за шкалою Кельвіна.

Визначаємо об'єм який займає 1кг атмосферного повітря на вході до вентилятора

$$V = \frac{m}{\rho} = 1/1,1174 = 0,89 \text{ м}^3, \quad (3)$$

де  $V$  - об'єм 1кг атмосферного повітря на вході до вентилятора, м<sup>3</sup>,  
 $m$  - маса атмосферного повітря, кг.

Визначаємо подачу вентиляторів, які використано на даному абсорбційному пристрої накопичення вологи. Характеристики вентилятора «Турбовент Сигма 500»: потужність електродвигуна  $P = 0,55$  кВт, споживана потужність  $P_{\text{вент}} = 0,38$  кВт, подача вентилятора  $Q_{\text{вент}} = 6420$  м<sup>3</sup>/год.

На даній установці встановлено два вентилятора, їх спільна подача буде: 12840 м<sup>3</sup>/год.

Знаходимо  $m_n$  - масу повітря, яке подається двома вентиляторам за годину:

$$m_n = Q_2 \cdot \rho = 12840 * 0,89 = 11427,6 \text{ кг/год.} \quad (4)$$

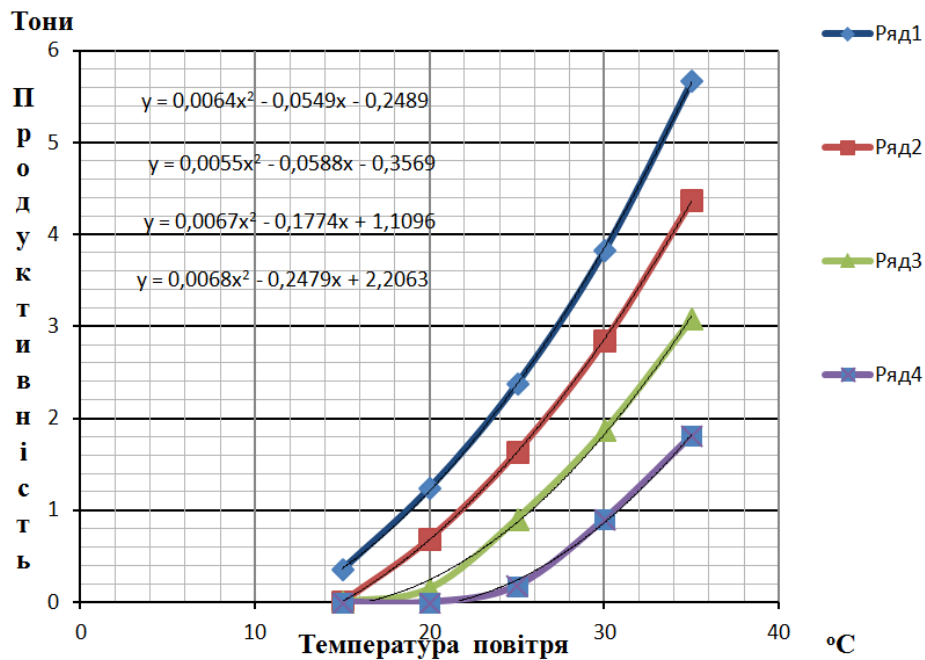
Знаходимо продуктивність установки, тобто масу конденсату води ( $m_{\text{к.в.}}$ ), сконденсованої абсорбційному пристрої накопичення вологи за годину.

$$m_{\text{к.в.}} = Q \cdot \rho \cdot \Delta d = 12840 * 1,1174 * 10,08 = 0,145 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (5)$$

Знаходимо добову продуктивність установки, тобто масу конденсату води ( $m_{\text{к.в.д.}}$ ), сконденсованої абсорбційному пристрої накопичення вологи за добу.

$$m_{\text{к.в.д.}} = m_{\text{к.в.}} \cdot 24 = 0,145 * 24 = 3,48 = 3,5 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Виконаємо аналогічні розрахунки для інших погодних умов, а саме для відносної вологості 30%, 40%, 50%, 60% при літніх температурах характерних для півдня України: 15 °С, 20 °С, 25 °С, 30 °С, 35 °С. Результати розрахунку представлені у графічній формі (рис. 3).



1 - відносна вологість повітря 60%, 2 - відносна вологість 50%, 3 - відносна вологість 40%, 4 - відносна вологість 30%.

Рисунок 3. Залежність добової продуктивності абсорбційного пристрою накопичення вологи від температури і відносної вологості атмосферного повітря

Отримані залежності мають вигляд поліноміальної функції типу:

$$Q_{д.пр.} = 0,064 \cdot t^2 - 0,0549 \cdot t - 0,2489 \tag{5}$$

де  $Q_{д.пр.}$  – добова продуктивності абсорбційного пристрою накопичення вологи, тони/доба;

$t$  - температура атмосферного повітря, °C.

З рисунка видно, що максимальна продуктивність пристрою до 6 тон сконденсованої води на добу (5,669 тон/доба).

Визначаємо витрати електроенергії на виробництво даної кількості води. Запропонована установка абсорбційна, яка для охолодження повітря не споживає електричну енергію а споживає енергію від сонячних колекторів. Електроенергія витрачається тільки на привід двох вентиляторів. Споживана потужність кожного електродвигуна складає:  $P = 0,55$  кВт. Нелектр =  $0,55 \cdot 2 = 1,10$  кВт.

Визначаємо вартість води, отриманої в установці. На отримання  $0,145 \text{ м}^3$  води необхідно затратити  $1,1$  кВт в годину. При тарифі  $T_{ел} = 1,68$  грн за  $1$  кВт вартість отриманої води буде складати:

$$CP_{уст} = \frac{N_{ел} \cdot T_{ел}}{m_{к.в.}} = (1,10 \cdot 1,68) / 0,145 = 12,74 \text{ грн/ м}^3, \tag{5}$$

де  $CP_{уст}$  – вартість води, отриманої в установці, грн/  $\text{м}^3$ ,





$T_{ел}$  - тариф на електроенергію за кВт / год, грн.,  
 $m_{к.в.}$  - продуктивність установки, тобто маса конденсату води, сконденсованої в пристрої за годину, тон/год.

Порівняємо вартість води, яку отримали в установці з вартістю води підземного видобутку

$$\frac{CP_{н.в.}}{CP_{уст}} = 15,48 / 12,74 = 1,22, \quad (6)$$

де  $CP_{н.в.}$  – вартість води підземного видобутку, грн/ м<sup>3</sup>.

Це в 1,22 рази менше.

**Висновки.** Встановлено можливість підвищення ефективності і стабільності накопичення вологи з атмосферного повітря, шляхом визначення оптимальної кількості конденсації води, при використанні абсорбційного пристрою. Запропоновано методику розрахунку і парадигму визначення оптимальної кількості конденсації води з атмосферного повітря. Запропоновано схему абсорбційної установки накопичення вологи, яка може бути використана при проектуванні і підборі обладнання.

#### Список використаних джерел

1. Семёнов И. Е. Проблема нехватки пресной воды и пути её решения. *СОК*. 2015. №12. . С 51 – 62.
2. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Bordeaux. 2020. Pp. 478-480.
4. Serebryakova N., Podashevskaya H. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.
5. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. *Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production*. 2019. Pp. 18–20
6. Skliar R. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Bilbao. 2020. Pp. 431-433.
7. Manita I., Komar A. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*, 2021. pp. 33-39
8. Sklar R. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education*. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, 2021. Pp. 171-176.



9. Podashevskaya N., Manita I., Boltianska N.I. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine. *Інженерія природокористування*. 2020. №2(16). С. 33–37.

10. Semenov I. E. Autonomous installation for condensation of fresh water from atmospheric air. *Okologiche, technologiche und rechtliche Aspekte der Lebensversorgung: Das int. Simposium*. Hannover, 2012. P. 23-38.

11. Ищенко И. М. Аналитический обзор методов получения воды из атмосферного воздуха. *Харчова наука і технологія*. 2011. № 4. С. 69-73.

12. Кулик Н. Ф. О возможности конденсации атмосферной парообразной влаги в почве. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2016. № 83. С. 41-52.

13. Трикоз В. М., Галавура М. О., Постол Ю. О. Енергоефективність та енергозбереження. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії*: зб. матеріалів І Всеукр. Інтернет-конференції. 2020. С. 63-65.

14. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Аналіз термодинамічних процесів у потоці повітря. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. Сер. Проблеми енергозабезпечення в АПК України*. 2017. № 187. С. 28-29.

15. Ялпачик В. Ф., Стручаєв М. І., Верхоланцева В. О. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження зерна. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2015. Вип. 15, т. 1. С. 3-8.

Стаття надійшла до редакції 23.04.2021р.

**M. Struchaiev, M. Nikulcha**

**Taurian State Agrotechnological University Name of Dmitry Motorny**

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE ABSORPTION DEVICE OF MOISTURE ACCUMULATION**

#### *Summary*

To ensure uniform accumulation of moisture and appropriate dosing of water flow, it is proposed to use an absorption device for accumulation of moisture. The method of calculation of definition of optimum quantity of condensation of water from atmospheric air and the scheme of installation which can be used at designing and selection of the equipment is offered. The problem is solved by the fact that the absorption device of moisture accumulation contains a supply channel, a fan and a condenser cooler made in the form of an evaporator of the absorption refrigeration machine, which are placed in the air flow of the supply channel, a water collector, air heater installed in the exhaust refrigeration machine, the reservoir is located under the pipe of condensate from the supply channel. The air in the supply channel under the action of the fan moves through





the condenser cooler, made in the form of an evaporator of the absorption refrigeration machine. Lowering the temperature below the dew point on the condenser cooler increases the amount of moisture that falls out in the form of condensation and is discharged into the tank. The air from which part of the moisture is removed enters the air heater installed in the exhaust duct and made in the form of a condenser of the absorption refrigeration machine. The air is heated, the density of heated air decreases and it is discharged through the exhaust duct to the environment, which increases the reliability of air circulation. The maximum capacity of the device is up to 6 tons of condensed water per day. The dependences of the daily productivity of the absorption device of moisture accumulation on the temperature and relative humidity of atmospheric air, which have the form of a polynomial function.

**Key words:** efficiency of absorption storage device, fan, condenser cooler, water reservoir, absorption refrigeration machine.

**М. И. Стручаев, М. В. Никульча**  
**Таврический государственный агротехнологический университет**  
**имени Дмитрия Моторного**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБСОРБЦИОННОГО УСТРОЙСТВА НАКОПЛЕНИЯ ВЛАГИ**

### *Аннотация*

Статья посвящена повышению эффективности и стабильности накопление влаги из атмосферного воздуха. Для обеспечения равномерного накопления влаги и соответствующего дозирования расхода воды предложено использование абсорбционного устройства накопления влаги. Предложена методика расчета определения оптимального количества конденсации воды из атмосферного воздуха и схема установки, которая может быть использована при проектировании и подборе оборудования. Получены зависимости суточной производительности абсорбционного устройства накопления влаги от температуры и относительной влажности атмосферного воздуха.

**Ключевые слова:** эффективность, абсорбционный устройство, накопления влаги, влагосодержание атмосферного воздуха, вентилятор, охладитель-конденсатор, водосборник, абсорбционная холодильная машина.