

compressor refrigeration unit is formulated. At creation of physical and mathematical models of heat and mass transfer in the course of drying and cooling of material (grain) the following conditions are accepted simplifying the mathematical description, but without changing real process: moisture from the material is removed according to Dalton's evaporation law, while the moisture in the material evaporates and is removed simultaneously; moisture content and temperature in the volume of the material are evenly distributed, heat and mass transfer occurs only between the surface of the material and the drying agent; the effects of radiation and contact heat transfer are taken into account by heat transfer coefficients; stationary fields of temperature and moisture content are assumed to be one-dimensional, which vary according to the coordinate calculated in the direction of movement of the material; when cooling the moisture removal material is not taken into account for low residual moisture; the size of the surface of the material in the process of drying and cooling does not change; the heat exchange equipment of the heat pump is an object with concentrated parameters. Using the obtained mathematical dependences, graphical dependences of changes in grain and air temperature are constructed, which allow to evaluate the expediency of using a heat pump.

The formulated mathematical model of stationary modes of the heat pump drying unit with artificial cooling of the dried material can be used to evaluate the feasibility and energy efficiency of the used refrigeration machines for grain cooling, especially after high-temperature processing. The obtained analytical dependences in the form of a closed system of equations can be used to optimize the parameters of the heat pump drying unit by the criterion of minimizing energy consumption.

drying unit, material cooler, heat pump, compressor, condenser, air cooler

Одержано (Received) 16.10.2021

Прорецензовано (Reviewed) 24.10.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021

УДК 631.674.6:631.559

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.14-20>

К.В. Васильковська, доц., канд. техн. наук, **М.М. Ковальов**, канд. с.-г. наук,
О.О. Андрієнко, доц., канд. с.-г. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: vasilkovskakv@ukr.net

Технічне забезпечення ін'єкційного зрошення овочевих культур

В статті запропоновано схему краплинного зрошення ін'єкційного типу для вирощування овочевих культур на присадибній ділянці. В запропонованій конструкції для краплинного зрошення розраховано схему та необхідну кількість розміщення трубок з крапельницями та мікротрубок із кілочками для подачі води в підґрунтовий простір кореневої системи рослин. На ділянці під овочеві культури використано ємність для фертигації – введення рідини в зрошувальну систему для підживлення рослин, задля захисту їх від стресів, покращення розвитку та збільшення врожайності. Проведена серія досліджень із забезпечення вологою ділянки у зоні формування коренів і збереження повітрообміну ґрунту та їх впливу на врожайність томатів. Використання краплинного зрошення ін'єкційного типу дало змогу збільшити врожайність до 40% та при цьому економно витратити воду.

зміна кліматичних умов, краплинне зрошення, ін'єкційний тип, мікротрубка, коренева система

Постановка проблеми. Зі зміною кліматичних умов, як в Україні, так і в Світі, постає необхідність забезпечення рослин овочевих культур світлом, повітрям та водою в повному обсязі, тому використання ін'єкційного краплинного зрошення для

аграрного виробництва є необхідною умовою забезпечення сталого майбутнього врожаю та новим викликом для виробників сільськогосподарської продукції. В умовах зміни клімату полив овочевих культур має вирішальний вплив на врожайність, особливо за умов посушливого та жаркого літа. Сільськогосподарські культури, що відчувають стрес через нестачу вологи, погано проростають і вкорінюються, відповідно, зменшується їх врожайність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічний процес вирощування овочевих культур включає в себе по-перше: потенціал насіння, по-друге: зрошування, по-третє: добрива, в четверте: захист рослин і п'яте: механізацію технологічного процесу. Технологічний процес вирощування овочевих культур обов'язково включає в себе наступні складові: якісне насіння з високим генетичним потенціалом, зрошення, добрива, захист рослин та механізацію всіх етапів технологічного процесу. Об'єднання цих головних елементів технології при суворому дотриманні норм внесення і термінів проведення всіх операцій, є основою отримання високих і стабільних врожаїв овочевих культур. Отже краплинне зрошення є незамінною складовою цього технологічного процесу, його могутнім стабілізаційним чинником.

Краплинне зрошення характеризується наявністю постійної розподільної мережі під тиском, що дозволяє здійснювати безперервні або періодичні поливи рослин. При краплинному зрошенні ін'єкційного типу здійснюється локальна подача води в зону формування кореневої системи рослин. В умовах зміни клімату, посушливого та жаркого літа саме краплинне зрошення ін'єкційного типу дозволяє підтримувати вологість кореневого шару ґрунту під час всього вегетаційного періоду на оптимальному рівні, менше води випаровується і більше її потрапляє до кореневої системи рослин.

При краплинному зрошенні ін'єкційного типу зволоження ґрунту здійснюється за допомогою крапельниці. Ін'єкційна крапельниця (кілочок із мікротрубною) подає воду до зони формування коренів рослини, за рахунок цього зберігаються оптимальні водно-фізичні властивості ґрунту [1-7].

Ідею локального внесення води, через механізм поверхневого краплинного зволоження, розвинув у 30-х роках ХХ ст. ізраїльський інженер С. Бласс, якого вважають винахідником краплинного зрошення [8, 9]. Саме він запропонував конструкцію першої крапельниці, отримавши на неї патент у 1963 р. Аналогічна система з'явилась у США у 1964 р.

Технологію ін'єкційного поливу та внесення за її допомогою рідких добрив вперше продемонстрували в Боннському університеті (Німеччина) наприкінці 1960 р.р. Землевпорядник К. Зоммер, використовував його для підживлення пасовищ, зернових та просапних культур, овочів та навіть винограду [3, 10].

Останнім часом відбувається зміна кліматичних умов та зміщення кліматичного поясу в Україні, що супроводжується посухою, яка негативно позначається на врожайності. Тому особливого значення набуває добір якісних районованих гібридів та сортів сільськогосподарських культур, які б могли перенести тривалий посушливий період. Крім того, для деяких сільськогосподарських культур набуває актуальності питання поливу, що дає змогу підвищити врожайність без збільшення в рази вартості готової продукції. Особливо це стосується овочевих культур.

Постановка завдання. Метою написання статті є обґрунтування застосування краплинного зрошення ін'єкційного типу для отримання сталих врожаїв овочевих культур та збереження екологічних функцій ґрунту в умовах зміни кліматичних умов.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день ін'єкційне краплинне зрошування є найпрогресивнішим способом поливу, що дозволяє найбільш раціонально

використовувати водні ресурси та створювати оптимальні умови розвитку рослин [1-3, 7].

Як відомо, активна зона живлення кореневої системи овочевих культур знаходиться в ґрунті на глибині 20-30 см від поверхні.

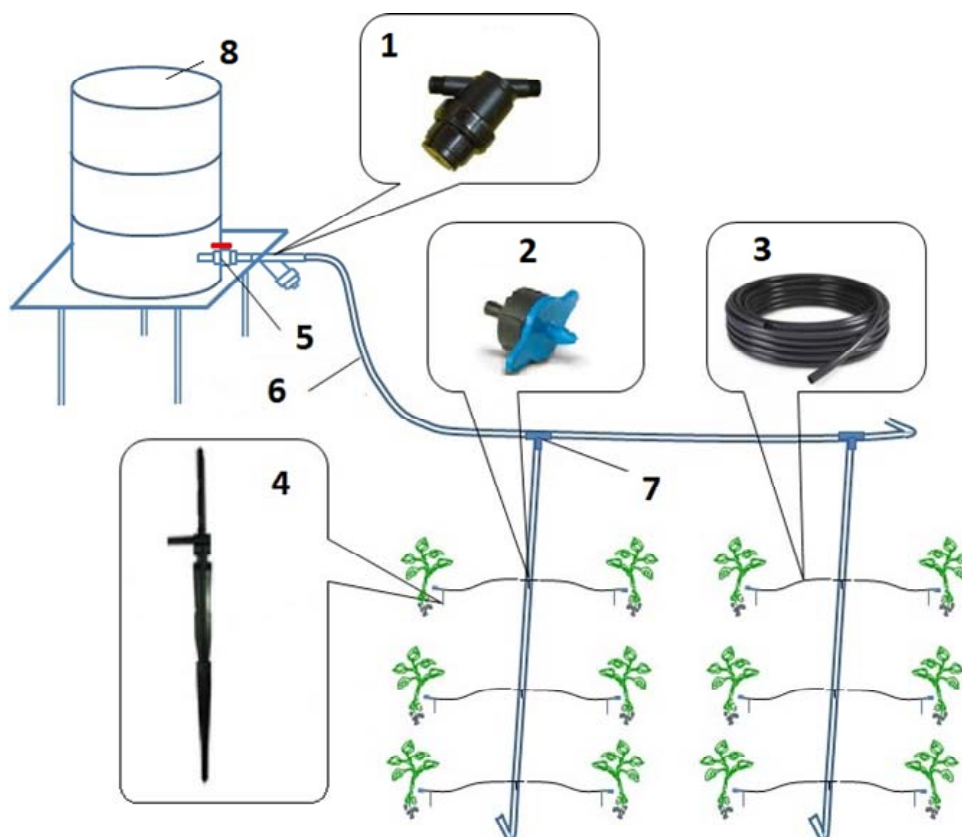
При поверхневому дощуванні овочевих культур витрачається до 30 л на 1 м² для томатів, перців та баклажанів, для капусти – до 50 л 1 м².

Беручи вологу із верхнього шару ґрунту, овочеві культури формують безліч бічних поверхневих корінців. При цьому центральний корінь перестає рости вглиб і, як наслідок, рослини починають відчувати дефіцит води та мінеральних речовин.

Частота поливів регулюється у повній відповідності до водоспоживання рослин, підтримуючи оптимальну вологість та даючи рослинам можливість легко отримувати воду та, за необхідності, поживні речовини. Таким чином, збільшення врожаю за рахунок застосування краплинного способу поливу та живлення рослин зазвичай досягає на овочевих культурах до 50% (при цьому дозрівання овочів відбувається на 5-10 днів раніше).

При організації краплинного зрошення ін'єкційного типу процес поливу повністю автоматизують, що в свою чергу приводить до значної економії трудовитрат.

З метою підвищення технологічної ефективності вирощування овочевих культур на кафедрі загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету розроблено дослідний зразок системи ін'єкційного краплинного зрошення для овочевих культур (рис. 1) [1, 3].



1 – сітчастий фільтр; 2 – крапельниця; 3 – мікротрубка; 4 – кілочок для мікротрубки; 5 – кран; 6 – труба;
7 – Т-образний переходник; 8 – ємність з водою для фертигації

Рисунок 1 – Типова схема краплинного зрошення ін'єкційного типу для присадибної ділянки.
Джерело: розроблено авторами із використанням [1, 3]

Використовувана для дослідження система краплинного зрошення складається з наступних компонентів (рис. 1):

- джерело водопостачання з насосом для перекачування рідини в установленому обсязі;
- фільтр грубої очистки, що встановлений перед краном для зниження ризику засмічень в магістральних трубах і крапельницях;
- бак з водою або бочка – вузол для фертигації – підготовки та внесення добрив для збагачення ґрунту мінеральними речовинами й іншими корисними компонентами. Підставка висотою 1,0-1,5 м дозволяє створювати додатковий тиск для забезпечення руху системою води із розчиненими в ній добривами;
- магістральний і розвідний трубопровід, що забезпечують вільне транспортування води або водного розчину добрив до крапельниць для поливу;
- регулятор тиску (понижувальний клапан), що встановлено після фільтра, за допомогою якого, можна контролювати об'єм вилитої рідини за одиницю часу;
- сполучна і запірна арматура, що регулює елементи, які використовуються для запуску і припинення роботи всієї системи краплинного поливу (таймер);
- краплинні трубки за допомогою яких відбувається краплинне зрошення рослин.

Ділянка під овочеві культури займала 10 м в довжину на 4 м в ширину, рідини вистачало для якісного промочування підґрунтового кореневого простору ділянки.

Для зрошення 80 кущів томатів сорту «Рожевий фламінго», висаджених рядами по 10 м кожен, використовуються дві 10-метрові трубки. З кожної трубки за допомогою крапельниці було різнонаправлено чотири мікротрубки з кілочком під чотири томати. Продуктивність однієї крапельниці дорівнює 1,2 л / год.

Норма витрати системи за 1 годину складе 24 л: кількість емітерів 20 шт. – (2x10 м) / 1 м) на норму поливу 1,2 л / год.

Отже, для досліджуваної ділянки томатів використовувалось 2 по 10 метрів крапельної трубки, 20 крапельниць, 80 кілочків з мікротрубками, загальна труба довжиною 5 метрів, ємність з водою для фертигації, насос та інші елементи системи (рис. 2).

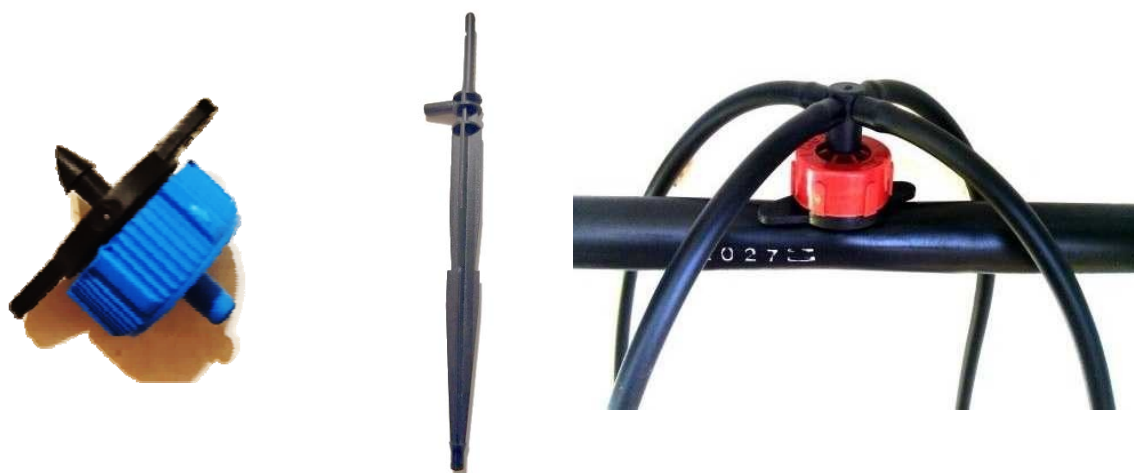


Рисунок 2 – Загальний вигляд крапельниці, кілочка для мікротрубки та крапельниці із чотирма мікротрубками для зрошення томатів

Джерело: розроблено авторами

Використання на дослідній ділянці системи краплинного зрошення ін'єкційного типу дало змогу підвищити кількісні та якісні характеристики врожаю томатів. А використання ін'єкційного підведення води дозволило підтримувати оптимальний водно-фізичний режим в кореновому шарі ґрунту, що створило умови для отримання кращого врожаю.

Середня врожайність томатів сорту «Рожевий фламінго» на ділянці становила 2,4 кг/м². Це на 40% вище, ніж на ділянці без крапельного поливу ін'єкційного типу.

Також економне використання води саме в зоні формування коренів рослини дало змогу збільшити врожайність і не допустити здороження готової продукції. Зниження витрат води при використанні систем ін'єкційного краплинного зрошення становить до 100% порівняно з іншими методами зрошування.

Висновки. Таким чином, із зміною кліматичних умов, більша частина Кіровоградської області потрапила в зону ризикованого землеробства, завдяки цьому постала гостра потреба у використанні новітніх систем поливу сільськогосподарських рослин. Краплинне зрошення ін'єкційного типу є найбільш ефективним при інтенсивних технологіях вирощування просапних та овочевих культур, коли стан рослини в значній мірі залежить від точності підтримки режиму вологості в зоні коріння та режиму харчування рослин. Краплинне зрошення ін'єкційного типу дає змогу підвищити врожайність овочевих культур з економним використанням води.

Список літератури

1. Крапельне зрошення – вся інформація про крапельний полив. *Журнал «Зерно»*. URL: <https://www.zerno-ua.com/guides/krapelne-zroshennya/> (дата звернення 16.09.2021)
2. Розрахунок і проектування систем крапельного поливу. *Інформаційно-аналітична система «Аграрії разом»*. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/article/rozrahunok-i-proektuvannya-sistem-kraplinnogo-polivu> (дата звернення 23.08.2021)
3. Васильковська К.В., Ковальов М.М., Молокост Л.А. Технічне та технологічне забезпечення краплинного зрошення овочевих культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2020. Вип. 50. С. 33-41. (DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.35-41>)
4. Коковихін С.В. Науково-методичні основи встановлення закономірностей та розробки математичних моделей формування урожаю польових культур при зрошенні: монографія. Херсон : Айлант, 2010. 246 с.
5. Мисик Г.А., Куліковський Б.Б. Основи меліорації та ландшафтознавства. Посібник. К: «ІНКОС», 2005. 464 с.
6. Краплинне зрошення – сучасний метод поливу. *Державне агентство водних ресурсів України, Басейнове управління водних ресурсів нижнього Дніпра*. URL: <https://buvrmd.gov.ua/materialy-625.htm?ps=3> (дата звернення 16.09.2021)
7. Mostipan, M.I., Vasytkovska, K.V., Andriyenko, O.O., Reznichenko, V.P.. Modern aspects of tilled crops productivity forecasting. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 53, 2017. pp. 35-40.
8. Ромащенко М. І., Шатковський А. П. Тенденції розвитку системи краплинного зрошення. *Агрономія Сьогодні*. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/503-tendentsii-rozvytku-systemy-kraplynnoho-zroshennia.html> (дата звернення 15.09.2021)
9. Ковальов М.М., Васильковська К.В. Оцінка якості підземних вод для систем мікрозрошення в умовах захищеного ґрунту. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2020. Вип. 74. С. 50-53. (DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.74.7>)
10. Ковальов М.М., Резніченко В.П. Оцінка якісних показників підземних вод для систем ін'єкційного мікрозрошення за вирощування томату розсадним способом. *Таврійський науковий вісник*. №115, С. 76-84. (DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.10>)

Referencis

1. Krapelne zroshennia – vsia informatsiia pro krapelnyi polyv [Drip magnification - all information about drip fields]. *Журнал «Зерно»*. – *Journal “Zerno”*. Retrieved from <https://www.zerno-ua.com/guides/krapelne-zroshennya/> [in Ukrainian]
2. Rozrakhunok i proektuvannia system krapelnogo polyvu [Development and design of drip irrigation system]. *Informatsiino-analitychna systema «Ahrarii razom» – Information and analytical system “Agrarians together”*. Retrieved from <https://agrarii-razom.com.ua/article/rozrakhunok-i-proektuvannya-sistem-kraplino-polyvu> [in Ukrainian]
3. Vasylykova K.V., Kovalov M.M., Molokost L.A. (2020) Tekhnichne ta tekhnolohichne zabezpechennia kraplynnoho zroshennia ovochevykh kultur [Technical and technological support of drip irrigation of vegetable crops]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnodержавnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 50: 33-41. (DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.35-41>) [in Ukrainian]
4. Kokovikhin S.V. (2010) Naukovo-metodychni osnovy vstanovlennia zakonmironosti ta rozrobky matematychnykh modelei formuvannia urozhaiu polovykh kultur pry zroshenni: monohrafiia [Scientific and methodical bases of establishment of regularities and development of mathematical models of formation of a crop of field cultures at irrigation: monograph]. Kherson: Aylant. [in Ukrainian]
5. Mysyk H.A., Kulikovskiy B.B. (2005) Osnovy melioratsii ta landshaftoznavstva. Posibnyk. [Fundamentals of land reclamation and landscape science. Handbook.] – Kyiv: “INKOS”. 464. [in Ukrainian]
6. Kraplynne zroshennia – suchasnyi metod polyvu [Drip irrigation is a modern method of watering]. *Derzhavne ahentstvo vodnykh resursiv Ukrainy, Basynove upravlinnia vodnykh resursiv nyzhnogo Dnipra – State Agency of Water Resources of Ukraine, Basin Department of Water Resources of the Lower Dnieper*. Retrieved from <https://buvrnd.gov.ua/materialy-625.htm?ps=3> [in Ukrainian]
7. Mostipan, M.I., Vasylykova, K.V., Andriyenko, O.O. & Reznichenko, V.P. (2017). Modern aspects of tilled crops productivity forecasting. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 53, 35–40 [in English].
8. Romashchenko, M. I. & Shatkovskiy, A. P. (2014). Tendentsii rozvytku systemy kraplynnoho zroshennia [Trends in the development of drip irrigation]. *Ahronomiia Sohodni – Agronomy Today*. Retrieved from <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/503-tendentsii-rozvytku-systemy-kraplynnoho-zroshennia.html> [in Ukrainian]
9. Kovalov, M.M. & Vasylykova, K.V. (2020). Otsinka yakosti pidzemnykh vod dlia system mikro-zroshennia v umovakh zakhyshchenoho gruntu [Groundwater quality assessment for micro-irrigation systems in protected soil conditions]. *Zroshuvane zemlerobstvo: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk – Irrigated agriculture: interdepartmental thematic scientific collection, Vol. 74*, 50-53. (DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.74.7>) [in Ukrainian]
10. Kovalov, M.M. & Reznichenko, V.P. (2020). Otsinka yakisnykh pokaznykiv pidzemnykh vod dlia system inieksiinoho mikro-zroshennia za vyroshchuvannia tomatu rozsadnym sposobom [Evaluation of groundwater quality indicators for injectable micro-irrigation systems for tomato seedling cultivation]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 115, 76-84. (DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.10>) [in Ukrainian]

Kateryna Vasylykova, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Kovalov**, PhD agr. sci., **Olha Andriienko**, Assoc. Prof., PhD agr. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Technical Support of Injectable Irrigation of Vegetable Crops

With the change of climatic conditions, both in Ukraine and in the world, there is a need to provide vegetable crops with light, air and water in full, so the use of injectable irrigation for agricultural production is a prerequisite for sustainable future crops and a new challenge for producers of agricultural products. In climate change, irrigation of vegetable crops has a decisive impact on yields, especially in dry and hot summers.

The technological process of growing vegetable crops necessarily includes the following components: quality seeds with high genetic potential, irrigation, fertilizers, plant protection and mechanization of all stages of the technological process. Combining these main elements of technology with strict adherence to the rules of application and timing of all operations, is the basis for obtaining high and stable yields of vegetable crops. Therefore, drip irrigation is an indispensable component of this technological process, its powerful stabilizing factor. The article proposes a scheme of injectable drip irrigation for growing vegetables in the backyard. In the proposed design for drip irrigation, the scheme and the required number of placement of tubes with droppers and microtubes with pegs for

water supply to the subsoil space of the root system of plants are calculated. In the area under vegetable crops, a container for fertigation was used - the introduction of liquid into the irrigation system to feed the plants, to protect them from stress, improve development and increase yields. A series of studies was conducted to provide moisture to the area in the area of root formation and preservation of soil air exchange and their impact on tomato yield. The use of injectable drip irrigation has increased yields by up to 40% while saving water.

Thus, with the change of climatic conditions, most of the Kirovohrad region fell into the zone of risky agriculture, due to which there was an urgent need for the use of irrigation systems for agricultural plants. Injection-type drip irrigation is most effective in intensive cultivation of row crops and vegetables, when the condition of the plant largely depends on the accuracy of maintaining the humidity in the root zone and plant nutrition. Drip irrigation of the injection type allows you to increase the yield of vegetable crops while economically using water resources.

climate change, drip irrigation, injection type, microtube, root system

Одержано (Received) 18.10.2021

Прорецензовано (Reviewed) 24.10.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021

УДК 631.632.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.20-35>

Б. І. Котов, проф., д-р. техн. наук

Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ), м. Кам'янець-Подільський, Україна

С. П. Степаненко, д-р техн. наук, ст. наук. співр.

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт Глеваха, Фастівський р-н, Київська обл., Україна
e-mail: stepanenko_s@ukr.net*

Теоретичні дослідження руху компонентів зернового матеріалу із штучно сформованим розподілом швидкості повітря в поперечному перетині каналу

В статті розглядаються дослідження поділу зернових матеріалів у пневматичних каналах із штучно сформованим розподілом швидкості повітря в поперечному перетині каналу, для визначення раціональної форми та параметрів подачі матеріалу та варіантів поділу зернового матеріалу на фракції.

Теоретично досліджено та встановлено закономірності руху зернівки у вигляді математичних моделей динаміки руху твердої частки в потоці повітря, які відрізняється від відомих тим, що враховують дію бокових сил, концентрацію матеріалу, а застосування степеневого закону та штучно сформованого експоненціального закону розподілу повітря дало можливість підвищити розходження (розщеплення) траєкторій руху зернівок на 20%.

Розв'язок системи нелінійних диференційних рівнянь із початковими умовами виконано в програмному середовищі MathCad у вигляді траєкторій руху зернівки в повітряному потоці, що дозволяє розраховувати їх траєкторії руху, які різняться коефіцієнтами парусності та визначити раціональні значення параметрів пневмогравітаційних та пневмоінерційних сепараторів.

Використовуючи отримані залежності для розробки повітряних сепараторів, можна визначити початкову швидкість введення і напрямок входження зернівок у повітряний потік, а також визначити траєкторії руху матеріалу в повітряних каналах з нижнім вивантаженням матеріалу.

потік повітря, зернівка, сили Жуковського та Магнуса, траєкторія, процес поділу, пневматичний сепаратор