

## **ГІДРОПОННА УСТАНОВКА НА ОСНОВІ КАПІЛЯРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТОГО КОМПОЗИТУ З ТИТАНОВОЇ ГУБКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

*Для високоточних досліджень рівня споживання рослинами поживних речовин в різних умовах необхідно розробити конструкцію гідропонної установки з пасивним методом аерації та подачі живильного розчину до коренів рослин. Детальне дослідження розвитку гідропоніки і гідропонних установок на різних історичних етапах дає змогу проаналізувати їх основні переваги та недоліки, в результаті чого стає можливою розробка нового методу подачі живильного розчину, який не матиме типових дефектів. Результатом дослідження можливості використання пористих матеріалів після якісного аналізу існуючих конструкцій стала схема гідропонної установки підпору. Ця установка дозволяє значно скоротити енергозатратність та врегулювати процес живлення рослини, що може розглядатися як надзвичайно ефективний інструмент моделювання.*

**Ключові слова:** гідропоніка; титанова губка; ґнетова установка (установка підпору); капілярний ефект; аеропоніка; осмосовий насос.

*Для высокоточных исследований уровня потребления растениями питательных веществ в различных условиях необходимо разработать конструкцию гидропонной установки с пассивным методом аэрации и подачи питательного раствора к корням растений. Детальное исследование развития гидропоники и гидропонных установок на различных исторических этапах позволяет проанализировать их основные преимущества и недостатки, в результате чего становится возможной разработка нового метода подачи питательного раствора, который не будет иметь типичных дефектов. Результатом исследования возможности использования пористых материалов после анализа существующих конструкций стала схема гидропонной установки подпора. Данная установка позволяет значительно сократить энергозатратность и урегулировать процесс питания растения, что может рассматриваться как чрезвычайно эффективный инструмент моделирования.*

**Ключевые слова:** гидропоника; титановая губка; гнетовая установка (установка подпора); капиллярный эффект; аэропоника; осмосовый насос.

*The subject of the study is hydroponic installations passive type. The aim of the study hydroponic systems based on capillary properties of porous composite of titanium sponge is to develop design hydroponic installations of a passive method of aeration and feeding nutrient solution to the plant roots. In this paper we carry out the development of passive design type that does not have such active shortcomings of outdated models. We was designed design hydroponic installations passive type based on capillary properties of porous composite of titanium sponge. So the result of research the possibility of using porous materials obtained by us after the qualitative analysis of existing structures became scheme hydroponic installation of backwater. Combined with the ability regulated impact this scheme installations growth is not only beneficial in terms of agriculture, but also beneficial as a model of plant growth in the open field with the ability to study the influence of the nature of the growth of every factor that in hydroponics we can regulate and measure. This setting can significantly reduce energy*

*consumption and to regulate the process of plant growth that can be seen as an extremely effective tool for modeling.*

**Key words:** *hydroponics; titanium sponge; pressure installation (installation of backwater); capillary effect aeroponic; osmosis pump.*

**Постановка проблеми.** Об'єктом дослідження є гідропонні установки.

Предметом дослідження визначено гіропонні установки пасивного типу, як інструмент екологічного моделювання.

Рослинництво, як галузь сільського господарства, безумовно, є елементом, що став основою людської цивілізації, якою ми бачимо її на сьогодні. Безумовно, регулярно займаючись вирощуванням рослин на відкритому ґрунті, люди помічали характерні особливості росту рослин, їх потреби та оптимальні для їх життя умови. Так, ще в часи давнього Єгипту Ніл став священною річкою, оскільки давав необхідну для росту рослин вологу та поживні речовини в мулі. Активне зрошення, поруч з таким джерелом субстрату зробили Єгипет житницею античності.

Першим в історії людства вдалим досвідом вирощування рослин без ґрунту вважаються легендарні сади Семіраміди у стародавньому Вавилоні – одне з семи чудес світу, побудоване за вавилонського царя Навуходоносора в II столітті до н. е. (605–562). Це була унікальна конструкція з нашаровуються один на одного матеріалів і розгалуженої мережі водопроводу, що забезпечує постачання рослин в садах водою.

Питання використання гідропоніки в наш час тісно пов'язане з ціною на використання такої технології, що є доцільною або в малих масштабах присадибного господарства, або в зеленому будівництві, або у випадку коли іншого варіанту не існує. Так одним з факторів, що суттєво впливають на ціну наряду з енергоспоживанням на аерацію та водовідвід та ціною субстрату є матеріал, з якого власне складатиметься установка. В межах цієї роботи буде наведено один з методів застосування пористих матеріалів, що розроблялись в рамках проекту «Структурутворення та технології інженерії поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю». В межах цієї тематики було розроблено ряд порошкових композитів для фільтрів та деталей медичного призначення на основі титанової губки. Було визначено, що за рахунок значної відкритої пористості матеріалу він може бути застосований як гніт в пасивних гідропонних системах, що діють за рахунок капілярного ефекту. Висунуто припущення, що розроблена гідропонна установка може бути ефективним інструментом для екологічного моделювання впливу факторів середовища на відкритому ґрунті на розвиток рослин.

**Формулювання цілей статті.** Метою даного дослідження є розробка конструкції гідропонної установки з пасивним методом аерації та подачі живильного розчину до коренів рослин та її обґрунтування в якості інструмента екологічного моделювання.

**Постановка завдання.** У результаті досліджень поставлено ряд завдань, що забезпечать створення оптимальної конструкції.

1. Проаналізувати типові конструкції гідропонних установок.

2. Визначити їх основні переваги та недоліки.

3. Розробити метод подачі живильного розчину, що не матиме характерних для типових конструкцій недоліків та дозволить точно визначати обсяги поживних речовин та вологи поглинутих рослинами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Гідропоніку прийнято вважати відносно новим словом в садівництві та овочівництві, але її основи були закладені ще в давнину – детально особливості вирощування рослин виключно за допомогою води вивчав і описував сам Аристотель, але незабаром ці дані були забуті на століття, щоб знову відродитися в наші дні.

У 1100 році Індійські племена Південної Америки і Мексики (ацтеки і інші) вже застосовували плоти, звані «чинампа», для збільшення площ орної землі. Вони використовували переплетені стебла очерету, очерету і кукурудзи для побудови плавучих «острівців» на озерах. На такий каркас вони накладали багату поживними речовинами бруд з вулканічної землі.

Ці плавучі острови потім використовувалися для вирощування сільськогосподарських культур. Рослини отримували харчування як з мулистій бруду, так і з коренів, пророслих в воду. Такі озера були дуже багаті розчиненими солями, вода була прохолодна і добре насичена киснем. Цей метод використовувався і в інших кутках світу. У 1275 році Марко Поло зустрів плавучі сади в Китаї, і вони, можливо, теж були винайдені в інших частинах світу. Ніхто не знає, де і коли плавучі сади були застосовані вперше, але очевидно, що це дійсно перша гідропонна технологія, застосована людиною.

За твердженням одного з найбільш відомих спеціалістів з гідропоніки Е. Зальцера [1] перші дослідження по вирощуванню рослин без ґрунту в історичний період проводились ще 250 років тому, але лише в 1860 Юліусом Заксом було створено першу установку пасивного типу, а теоретичне обґрунтування гідропоніки було розроблено лише в 1929 році. Гідропонні басейни, створені зусиллями американського фітофізіолога та професора Вільяма Ф. Геріке, доцента Каліфорнійського університету в Берклі, витримали перевірку на практиці, забезпечивши продуктами харчування окремі американські військові підрозділи, що базувались в невідповідних для сільського господарства регіонах.

Однак не можна не відзначити, що на той час, коли Геріке проводив свої дослідження, в Європі вже діяли подібні установки. З 1936 року методом гідропоніки почали вирощувати овочеві та квіткові рослини в оранжереях у нас в країні. Перший НДІ, який працює з безпідставними методами, був утворений в Мінську. Метод аеропоніки був розроблений саме там. У Київському ботанічному саду випробовувалися перші Радянські аеропонні установки, і вельми успішно.

Подальший розвиток цієї технології переважно складався з удосконалення субстратів, мінерального живильного розчину, методів насичення його киснем, до того моменту як у 2005 році Вільям Текс, засновник GHE, запатентував BioSevia – нову концепцію поживних сумішей. У ній він з'єднав несумісні раніше поняття гідропоніки і органіки, створюючи унікальну формулу повністю органічного поживного складу, здатного успішно застосовуватися в гідропоніці. З'являється новий термін – «біопоніка».

У 70х роках популярним було твердження про можливість заміни традиційної системи вирощування рослин на відкритому ґрунті гідропонними установками, але на практиці було підтверджено недоцільність такого радикального кроку в зв'язку з значною енерго та матеріалоемністю процесу. Використання гідропонних установок замість традиційних систем вирощування на відкритому ґрунті було визнано недоцільним, а гідропонні системи стали пріоритетними для тих ситуацій, коли інших шляхів отримання врожаю немає (напр. установки Вільяма Ф. Геріке для американських військ в II світову). Цікавим в цьому аспекті виглядає те, що в умовах гідропоніки можна з значною ефективністю вимірювати поглинання рослинами вологи в різних погодних умовах. Так, за твердженням ентузіастів гідропоніки [9] в сонячні дні споживання розчину підвищується в рази, що пов'язано з інтенсифікацією процесу росту, а відповідно і обмінних процесів та з прискореною активністю транспірації.

Зі шкільного курсу біології відомо, що для нормального розвитку рослини потребують: світла для протікання процесу фотосинтезу і отримання енергії з сонячних променів; повітря для поверхневого дихання листя і правильного розвитку; поживних речовин, що відповідають за нормальних зростання; кислотності навколишнього середовища для збереження корисних речовин [4]. Усі ці пункти повністю реалізує гідропонна установка. До того ж якщо в ґрунті рослинам потрібно ще примудритися взяти корисні речовини з субстрату, то при гідропонному вирощуванні кожен окремий паросток отримує необхідну кількість поживних речовин. Варто відзначити, що готуючи сад або город, навіть при використанні найкращих добрив для рослини отримують максимум 10 % від всього обсягу, решта ж маса просто вимивається вниз, а в гідропонних установках всі корисні елементи повністю вбираються коренями культур в необхідних кількостях. Це ж властивість дозволяє істотно економити на добриві.

Для оцінки ефективності вище вказаних методик гідропоніки, аеропоніки та біопоніки, необхідно в першу чергу, розглянути їх слабкі і сильні сторони.

До сильних сторін гідропоніки належать:

- Можливість виключити вплив на урожайність таких характеристик ґрунту як кислотність, вміст гумусу, дренажність та ін.

- Відсутність можливості виживання в субстраті характерних для відкритого ґрунту шкідників.

- Виключення проблеми регулювання прикореневого зрошення (саморегуляція відбору вологи та живильного розчину).

- Можливість точних замірів показників для теоретичних досліджень циклу росту самих рослин.

Переваги гідропоніки, в порівнянні з вирощуванням рослин в землі, очевидні. Ми позбавляємося від ґрунту, і разом з цим відпадають проблеми, пов'язані безпосередньо з землею – її кислотність, поживність, дренажних і т. д. Також відпадають проблеми, пов'язані зі шкідниками рослин, які живуть в землі – у використаному нами субстраті живі організми не живуть.

Ще одна дуже важлива проблема – проблема поливу. При використанні гідропонної установки ця проблема вирішується сама собою. Тепер нам не треба думати, не вистачає чи рослині вологи, або, навпаки, рослина страждає від її надлишку і його коріння не вистачає кисню в потрібних кількостях. У гідропонній установці рослина зможе саме поглинати вологи рівно стільки, скільки їй потрібно.

До слабких сторін гідропоніки належать:

- Необхідність активної аерації в зоні коріння.

- Складність систем, що випускаються промисловим шляхом, їх потреба в точних засобах контролю часу.

Перша проблема належить до всіх типів, так як є однією з властивостей самих рослин, в той час як друга є характерною для найпоширеніших нині установок періодичного затоплення, що є найбільш ефективними і доступними в масовому випуску (хоча і дорогими та складними з технічної точки зору)

Усі гідропонні установки, що працюють за принципом «періодичного затоплення», припускали подачу живильного розчину з резервуару №1 (з живильним розчином) через певний проміжок часу в резервуар №2 (заповнений субстратом), де знаходилося рослина. Пройшовши через субстрат і наситивши коріння рослини поживними речовинами, розчин знову зливався в резервуар №1, і через деякий час весь цикл повторювався знову. У гідропонній установці, що діє за такою схемою, як мінімум повинен був бути електронасос (помпа) для подачі розчину і реле часу (таймер), за допомогою якого через певні проміжки часу помпа приводилася в робочий стан.

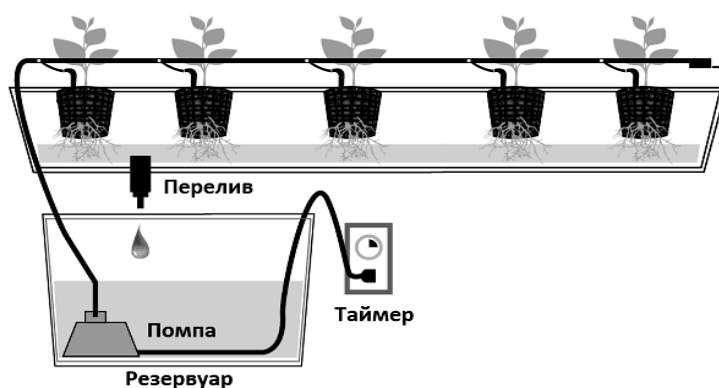


Рис 1. Схема

Така конструкція вимагає багато місця для резервуарів та не є досить безпечною через застосування апаратури (реле часу) здатної вийти з строю з наслідками у вигляді переповнення резервуарів.

Існує кілька типових конструкцій гідропонних установок:

- Гнотова установка, або установка підпору припускає використання капілярів-гнотів, за якими з розташованого знизу резервуара подається рідина. Через повільне просування води по трубочках даний метод використовується виключно для того, щоб створити невеликий домашній сад або навіть парочку екзотичних рослин, а ось вирощувати таким чином зелень і овочі не рекомендується.

- «Плаваючі платформи» використовуються для вирощування вдома маленьких вологолюбних квітів. Особливістю роботи таких установок є наявність поживного шару рідини внизу системи, звідки корисні речовини у вигляді дрібних крапель проникають до коріння. Постійне розпорошення водного розчину досягається шляхом роботи повітряних насосів.

- Установка з періодичним затопленням виглядає як з'єднані між собою ємності, наповнені твердими елементами, живлення рослин відбувається шляхом періодичного затоплення коренів водними розчинами, після чого надлишки його вільно стікають в резервуари. Затоплення відбувається за таймером і регулюється спеціальними приладами. Дозволяє створити пишний квітучий сад або навіть оранжерею.

- Крапельний полив - найбільш популярна система як для будинку, так і для промислового вирощування рослин. При її використанні рослини висаджені в контейнери з твердим субстратом, а до коріння кожного паростка підведені трубочки і канали, які доставляють води і розчинені в ній поживні речовини прямо до кореневої системи. Це дозволяє не тільки максимально ефективно використовувати водні ресурси та добрива, а й уникнути конкуренції рослин за корисні елементи.

Найбільш простою з точки зору конструкції та доступності матеріалів є установка підпору, але підведення живильного розчину через накачку трубкою вимагає більш активної аерації та, відповідно, додаткової помпи для накачки повітря.

Як видно з сказаного вище, всі сучасні установки для гідропоніки є моделями так званого активного типу і передбачають підкачку вологи та повітря за рахунок високих енергозатрат. Установки пасивного типу вважаються застарілими та не достатньо довговічними в порівнянні з цими конструкціями.

**Виклад основного матеріалу.** У цій роботі ми здійснюємо розробку конструкції пасивного типу, що не матиме таких активних недоліків, притаманних застарілим моделям. Було розроблено конструкцію гідропонної установки пасивного типу на основі капілярних властивостей пористого композиту з титанової губки.

Основа матеріалу формується частинками основи титанової губки з розміром більше 40 мкм, що можуть бути змішані з не гідрофільним матеріалом, який має високу питому поверхню за рахунок свого мікрорельєфу, формуванні сумішей в прес-формах і спіканні при температурах, при яких не об'єднуються рідкі фази. Спосіб дозволяє отримати вироби з щільністю, близькою до теоретичної, однак отримані сплави забруднені домішками, можуть мати суттєві відхилення в своїй структурі, що знижує їх механічні властивості і не дозволяє використовувати сплави в умовах постійного кавітаційного зносу (а потік води чи повітря також його викликають).

Діоксид титану ( $\text{TiO}_2$ ) – кристали без кольору, що при нагріві, жовтіють, але втрачають колір після охолодження; відомий в вигляді кількох модифікацій: рутилу, анатазу, та брукіту. Брукіт в усіх умовах метастабільний. При нагріванні анатаз та брукіт безповоротно перетворюються в рутил, відповідно 400–1000°C та приблизно 750°C. Основні параметри даних матеріалів наведено в таблиці 1. При використанні керамічних та металічних добавок об'єм відкритої пористості отриманого матеріалу коливається в межах 40–70 %, що робить таку основу досить ефективною як ґніт і як пористу комірку для аерації коріння рослин.

На схемі (рис. 2) наведено конструкцію простої установки підпору, що може стати ефективним інструментом дослідження рівня споживання рослиною корисних речовин та швидкості всмоктування в залежності від різних факторів, що можна буде змодельовувати.

Таблиця 1

Властивості оксидів титану, що наявні в титановій губці

Показник	TiO	Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>		
			рутил	анатаз	брукіт
Сигонія	Моноклінна	Гексагональна	Тетрагональна		Ромбічна
Параметри комірки a	0,5855	0,5144	0,4592	0,3785	0,51447
Параметри комірки b	0,9340	-	-	-	0,9184
Параметри комірки c	0,4142	1,364	0,2959	0,94,86	0,5145
Число формульних одиниць в комірці	-	-	2	4	8
Просторова група	A2m	R3c	P4 <sub>2</sub> /mn m	P4/amd	Pbca
Температура плавлення °C	1780	1842	1870	-	-
Густина, г/см <sup>3</sup>	4,93	4,53	4,235	4,05	4,213
C <sub>4</sub> Дж/(моль*К)	40,0	95,9	55,0	55,5	-
ΔH <sup>о</sup> <sub>обр.</sub> кДж/моль	-526	-1518	-944	-939	-
ΔH кДж/моль	54	110,5	67	58	-
Область гомогенності	34,8	77,3	50,3	49,9	-
ат. % O	55,5	60,2			

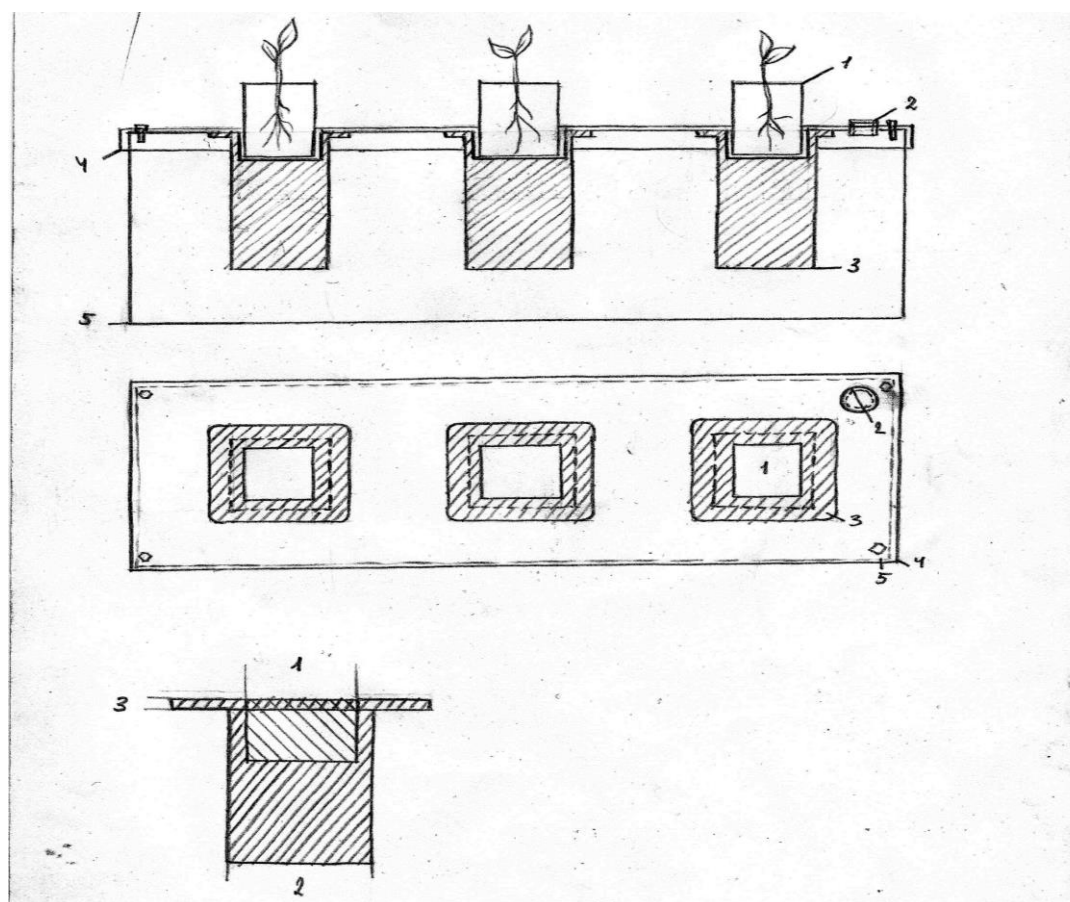


Рис 2. Гідропонна установка

Основою даної конструкції є застосування капілярного ефекту (та осмосу), за рахунок якого підставки 3 виконують роль гніту, що вбирає живильний розчин залитий через отвір 2 з резервуару 5 та за рахунок капілярного ефекту переміщує до комірок 1 де наси-

чує субстрат у вигляді вермикуліту. Процес є саморегульованим, так як сухий вермикуліт грає роль подібну солі в осмосовій трубці, а ввібравши потрібну кількість вологи, субстрат сам знизить капілярний ефект майже до нуля.

Так як комірки, як і підставки, виготовлятимуться з пористого композиту на основі титанової губки, їх підняття над рівнем кришки 4, сприятиме постійній аерації кореневої системи рослин і без накачки повітрям, хоча процес можна і прискорити за потреби.

Характер застосування мінеральних, гормональних (ауксин), лікувальних (від грибкових і ін шкідників) або біодобавок в живильний розчин, залежатиме виключно від потреби рослин, що значно впливатиме на ріст рослин. Ефективність же самої гідропоніки виражається в підвищенні швидкості росту рослин на 25-30% в порівнянні з вирощуванням на відкритому ґрунті, а також виключенням впливу ґрунтових шкідників та хвороб. В поєднанні з можливістю регульованого впливу, така схема росту рослин виглядає не скільки вигідною з точки зору сільського господарства, скільки вигідною як модель росту рослин на відкритому ґрунті з можливістю дослідження впливу на характер росту кожного фактору, який на гідропоніці ми можемо регулювати та вимірювати.

При розрахунку поглинання рослиною живильного розчину, варто пам'ятати, що частина вологи при дії капілярного ефекту затримується як у вермикуліті так і в самій рутильовій підпорці. Вермикуліт має високий коефіцієнт водопоглинання – 400–530% (100 г вермикуліту поглинають 400–530 мл води), тому при розробці формули для розрахунку водопоглинення в гідропонній установці було вирішено додати коефіцієнт водопоглинення субстрату, що прирівняно до 53.

При оцінці інтенсивності капілярного ефекту в зробленому матеріалі підпору варто врахувати особливості таких процесів для пористих матеріалів.

Капілярний ефект – явище підвищення або зниження рівня рідини у капілярах в порівнянні з тим значенням, яке вимагає закон сполучених посудин. Капілярний ефект виникає через зниження або збільшення тиску рідини під меніском, який утворюється при змочуванні рідиною стінок капіляра. Величина підвищення або зниження  $h$  залежить від радіуса капіляра  $r$ , а також від кута змочування рідиною стінок  $\theta$ .

$$h = 2 \gamma \cos \theta / \rho g r$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідини,  $\rho$  – густина рідини,  $g$  – прискорення вільного падіння?  $R$  – радіус капіляра.

Звичайно, у випадку з пористим матеріалом, в якому кожна пора є окремим капіляром ми не можемо розрахувати капілярний ефект окремо для кожної з них. У цьому випадку для розрахунку доцільніше застосовувати методики розрахунку капілярності гірських порід, як найближчого за властивостями матеріалу. **Капілярність.** Під капілярними властивостями гірських порід розуміють висоту та швидкість підйому води в капілярних порах. Дрібні пори в породах мають властивості капілярних трубок, в яких діють меніскові сили. Ці сили перевищують сили тяжіння, тому вода спроможна підніматися в порах на ту чи іншу висоту.

За законом Жюрена [10] висота капілярного підняття тим більша, чим більше поверхневий натяг води і чим менший радіус капіляра та менша густина води:

$$h_k = 2a^2 / r \gamma g$$

де  $a$  – капілярна постійна;  $r$  – радіус капіляра;  $\gamma$  – густина води;  $g$  – прискорення сили тяжіння.

За формулою Шишковського [10]:

$$\sigma = \sigma_0 - \sigma_0 \cdot B(c/a + 1)$$

де  $\sigma$  та  $\sigma_0$  – поверхневий натяг розчину та розчинника,  $c$  – концентрація розчину,  $B$  – константа, що характеризує розмір молекули в адсорбційному шарі,  $1/a$  – питома капілярна стала.

Відповідно, розрахувавши з цієї формули питому капілярну сталу, можна визначити капілярну постійну.

$$1/a = \sigma c / (\sigma_0 - \sigma_0 \cdot B - 1)$$

Тоді формула, що дозволить розрахувати висоту підйому вологи в пористому матеріалі матиме вигляд:

$$h_k = 2 \cdot ((\sigma_0 - \sigma_0 \cdot B - 1) / \sigma c) / r \gamma g$$

За попередніми підрахунками при застосуванні в якості пористого матеріалу підпорки губчастого титану марки ТГ-ТВ фракцією до 10 мм можна забезпечити оптимальний рівень переміщення вологи через капілярний ефект.

За твердженням спеціалістів [11]: «...діаметр капіляра можна робити занадто маленьким. З урахуванням цих міркувань і виду закону Лапласа радіус капіляра в капілярному провіднику приймемо рівним по порядку мікрометра. Тоді знайдемо висоту підйому такого коліна: в разі коли воно одне (всмоктується чиста вода –  $\sigma = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ ,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ )...». Так, у відповідності до системи капілярного насоса за законом Лапласа ми маємо висоту на яку можна підняти воду в  $\approx 15 \text{ м}$ . При таких умовах  $c = 0,0587 \text{ моль/л}$ ;  $g = 9,8$ ;  $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $r = 10^{-6} \text{ м}$ . Знаючи поверхневий натяг розчинника (води)  $\sigma = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$  ми можемо розрахувати поверхневий натяг готового живильного розчину у залежності від його складу та концентрації. Враховуючи здатність поживних речовин переміщуватись в порах ґрунту де чисто капілярний ефект забезпечує підняття вологи на висоту до 1,5 м, що за словами спеціалістів [1] становить приблизно 10 % від переміщення в пористому матеріалі через гігроскопічність ґрунту. Відповідно до формули для розрахунку капілярного ефекту в пористому матеріалі за законом Жюрена з використанням формули Шишковського та за законом Лапласа дають близькі значення, а тому в нашому випадку відхилення в кілька сантиметрів не матимуть значення.

**Висновки.** Отже, результатом дослідження можливості використання отриманих нами пористих матеріалів після якісного аналізу існуючих конструкцій стала схема гідропонної установки підпору. Основними перевагами цієї установки є саморегульованість процесу всмоктування повітря і поживних речовин, а також компактність і незначна енергозатратність в експлуатації в порівнянні з установками, що містять велику кількість труб.

Звичайно подібна установка не може бути об'єктом розгляду з точки зору сільського господарства, але саморегульованість процесів дозволяє використовувати її як основу для експериментальних досліджень з споживання рослиною поживних речовин, а відповідно, гідропонна установка розглядається як інструмент моделювання.

Ми можемо розрахувати кількість споживаної рослиною вологи з експериментальних спостережень

віднявши від загальних затрат води об'єм, що поглинається пористою підпоркою та вермикулітом (його можна розрахувати за вказаними формулами). Таким чином перспективність гідропоніки як бази для екс-

периментальних досліджень впливу різних факторів середовища на поглинання рослинами вологи та поживних речовин є безумовно актуальною для теоретичної екології та практичних аспектів рослинництва.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Зальцер Э. Гидропоника для любителей / М. : Изд-во Колос, 1965. – 159 с.
2. В. Тексье Гидропоника для всех // HydroponEast Magazine, – PublishEast Ltd, Москва, Россия, – № 3. – 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.hydroponeast.com/ru/tekushhij-vypusk>.
3. Вікіпедія [Електронний ресурс] Режим доступу : [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org), [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org).
4. С. Диана Делаем гидропонную установку // форум Ландшафтный дизайн [Инженерные системы] / ROZARII.RU [Електронний ресурс] Режим доступу : <http://rozarii.ru/inzhenernye-sistemy/delaem-gidroponnuyu-ustanovku.html>.
5. Бедриковская Н. П. Гидропоника комнатных цветов – Издательство «Наукова Думка», Киев. – 1972. – 65 с.
6. Е. Манжос 1000 + 1 совет по уходу за комнатными растениями / Авт.-сост. Е. Манжос. – М. : АСТ; Мн. : Харвест, 2005. – 432 с.
7. ДСТУ 3079-95 (ГОСТ 17746-96) Державний стандарт України. Титан губчастий. Технічні умови – [Чинний від 1998.01.01]. — К. : Держспоживстандарт України, 1998. — 15 с. – ( Національні стандарти України ).
8. .8. Госкомитет СССР по делам строительства. ГОСТ 12865-67 Вермикулит вспученный / Утвержден ГКМ СССР по делам строительства 12 апреля 1967, – ИПК Издательство стандартов, – 01.07.68. – 7 с.
9. Гидропонная установка Гидропонная установка – как сделать и зачем применять? // Delivered by FeedBurner. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ep-z.ru/sample-page/tehnika/gidroponnaya-ustanovka>.
10. Справочник химика 21 Химия и химическая технология / Коллоидная химия 1982 (1982) – С. 32 // [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://chem21.info/info/8775/>.
11. Немых Г. А., Сенчев А. В. Капиллярно-осмотический насос. Устройство. Области возможного применения // Научное сообщество студентов XXI столетия. технические науки: сб. ст. по мат. V междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5. URL: <http://sibac.info/archive/technic/5.pdf> (дата обращения: 23.11.2016)

## Рецензент:

**Добровольский В. В.**, канд. техн. наук, доцент.

*Дата надходження статті до редколегії 5.11.2016*