

УДК 631.674.4

Ольховик О.І., к.т.н., доцент, Фридель Р.І., студент 4 курсу ФВГ
(Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕМБРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДГРУНТОВОГО ЗРОШЕННЯ

Проаналізовані сучасні доробки в області мембранних технологій з метою їх використання для підґрунтового зрошення сільськогосподарських культур в умовах нестачі прісної води.

Ключові слова: первопарація, гідрофільний полімер, мембрана.

Проанализированы современные разработки в области мембранных технологий с целью их использования для подпочвенного орошения сельскохозяйственных культур в условиях дефицита пресной воды.

Ключевые слова: первопарация, гидрофильный полимер, мембрана.

Modern portfolio in the field of membrane technology on purpose for using for subsoil irrigation of agricultural crops in conditions of scarcity of fresh water is analyzed.

Keywords: pervaporation, hydrophilic polymer, membrane.

Основними причинами дефіциту прісної води в Україні є: нерациональний розмір споживання її промисловістю і комунальним господарством, скид неочищених та не досить очищених комунально-побутових і промислових стічних вод безпосередньо у водні об'єкти та через систему міської каналізації; надходження до водних об'єктів забруднюючих речовин у процесі поверхневого стоку води з забудованих територій та сільськогосподарських угідь; ерозія ґрунтів.

Внаслідок господарської діяльності також постійно погіршується стан підземних вод.

Тому досить актуальним сьогодні постає питання використання забруднених, неочищених вод для підґрунтового зрошення сільськогосподарських земель.

Вода в Україні є цінним і найбільш дефіцитним ресурсом. У маловодні роки дефіцит води в країні становить майже 4 млрд кубічних метрів. Він відчувається у басейнах усіх найбільших рік, особливо у південно-східній та південній її частинах. Рациональне використання і належна охорона водних ресурсів – важлива народногосподарська проблема.

Найбільше (до 70%) прісної води споживає сільське господарство. Особливо велика кількість води витрачається в зрошувальному землеробстві. Питоме споживання залежить від виду сільськогосподарських культур, фізико-географічних умов району, технічного стану зрошувальних систем і способу поливу. Прикладом цього є зростаючий перехід на новий спосіб зрошення, розроблений, відпрацьований і вдосконалений в останні роки – крапельний метод. Суть крапельного зрошення полягає в тому, що воду з розчиненими в ній добавками підводять системою трубопроводів до кожної окремої рослини в тій кількості, яка не перевищує поглинаючу здатність ґрунту, тобто по краплях. Така інтенсивність подачі води забезпечує капілярне зволоження ґрунту, а крупні пори ґрунту залишаються заповненими повітрям. Це дозволяє навіть під час зрошення зберегти в ґрунті сприятливий водно-повітряний режим [1].

Наукові компанії та університети розвинутих країн світу, розуміючи значну нестачу чистої води для зрошення, шукають й інші, альтернативні методи для здійснення поливів.

Британська компанія Dution (Дютон) розробила проект зрошувальної системи, в якій культури можуть рости з використанням морської води. Подібна зрошувальна система, складається із мережі підземних труб, які можуть бути заповнені практично будь-якою водою: чистою, солоною чи забрудненою. Система може навіть брати велику частину забруднених промислових стічних вод і використовувати їх без попереднього очищення [2].

Труби виготовляються із мембранного матеріалу, який вбирає в себе практично всі забруднюючі речовини, дозволяючи чистій воді надходити до коренів рослин.

Система була розроблена англійським вченим Марком Тонкіном. Він стверджує, що після укладання труб система потребує мінімального обслуговування а, отже, і зменшення експлуатаційних витрат. Це частково досягається тим, що за рахунок сили тяжіння вода розповсюджується через пористі стінки труб. Таким чином, не потрібно встановлювати високо потужні насоси, які споживають значну кількість електроенергії. На нашу думку, можна використати для забезпечення процесу зволоження звичайну водонапірну вежу з відповідним запасом води, який поповнюється у разі необхідності малопотужним насосом.

Приблизно 40 днів труби та система в цілому працюють у нормальному режимі, після чого ґрунт на мережі досліджують на предмет забруднення і у разі необхідності виконують промивку. Таким чином, мембрани очищуються від кристалів солі і бруду.

Оскільки вода у цій системі доставляється безпосередньо до коріння рослин, існує набагато менше втрат на випаровування та стік у порівнянні з традиційними системами зрошення і навіть з крапельним.

В Австралії та США актуальним стає освоєння методу зрошення при використанні мембранних технологій та зрошення із використанням методу зворотного осмосу та первопорачії* [3].

Первопорачія відрізняється від фільтрації, дистиляції або зворотного осмосу тим, що вихідним продуктом, який безпосередньо живить рослину, є пара, а не рідина.

Суть цього процесу полягає в тому, що зрошувальна вода при атмосферному тиску контактує з вхідною поверхнею мембрани, а на протилежній стороні мембрани вона видаляється у вигляді пари з низьким парціальним тиском. Парціальний тиск зі сторони пермеату (вихідної речовини) повинен бути значно нижчим за тиск насиченої пари.

Процес первопорачії включає в себе три послідовні етапи:

- селективна сорбція на вхідній поверхні мембрани;
- селективна дифузія через мембрану;
- десорбція в пароподібну фазу на вихідній поверхні.

В складному процесі, яким безсумнівно є первопорачія, відбувається тепло та масообмін. Мембрана діє як бар'єр між двома фазами – рідиною і паром, при чому вважається, що фазовий перехід відбувається від входу у мембрану до утворення пермеату – вихідної речовини.

Швидкість сорбції компонента на полімер пов'язана з сумарною енергією, необхідною для його розчинення в полімері. Таким чином, переважно сорбується компонент, який потребує менше енергії. Переміщення через мембрану залежить від складу рідини, полімеру мембрани і параметрів процесу.

Зміна хімічного потенціалу (μ), тиску (p) і градієнта активності (α) при проходженні через мембрану схематично показано на рис. 1:

***Первапорачія** – технологія розділення рідких сумішей різних речовин, при якій потік рідини, що містить два або більше складових компонентів, поміщений в контакт з одного боку з непористою полімерною мембраною чи молекулярно-пористою неорганічною мембраною (типу цеолітної мембрани), в той час як з іншого боку використовується вакуумне або газове продування. Компоненти рідкого потоку абсорбуються в / на мембрані, проникають через мембрану, і випаровуються в парову фазу (звідки і утворюється слово “pervaporate”). Пара, що утворюється, названа “пермеат”, конденсується. Внаслідок різних видів живлячих сумішей, що мають різні спорідненості до мембрани і різні швидкості дифузії через мембрану, навіть компонент, що знаходиться в малій концентрації у живлячому середовищі, може бути збагачений з високим ступенем в пермеат. Таким чином, склад розчиненої речовини може сильно відрізнитися від того, що знаходиться у вигляді пари, що утворюється після розвитку вільної рівноваги рідина – пар. Коефіцієнти збагачення, ступінь пермеїровання концентрації живильної суміші знаходяться в діапазоні від одиниць до декількох тисяч, залежно від складу, мембрани та умов процесу.

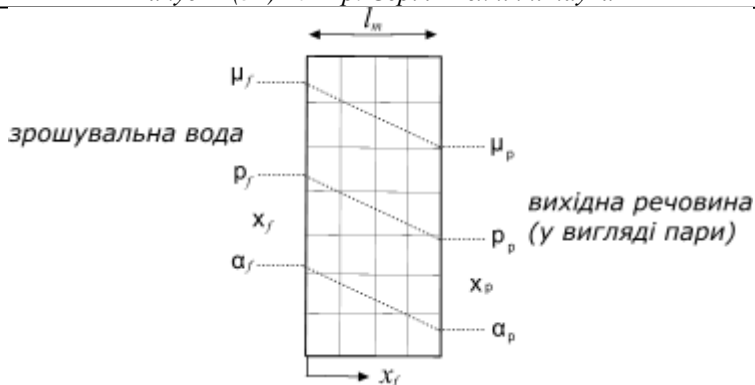


Рис. 1. Зміна хімічних параметрів при проходженні води через мембрану:

l_m – товщина мембрани, x_f – зміна концентрації сировини в товщині мембрани.

Індекс (f) відповідає параметрам сировини, а (p) – пермеату

Різниця в хімічному потенціалі, обумовлена градієнтом активності між пермеатом і сировиною, являється рушійною силою в процесі первопорації. Компоненти, що містяться в сировині, мають різні швидкості сорбції і дифузії через мембрану, що зумовлює селективність і проникність.

Проникність обернено пропорційна товщині мембрани. Тоді як селективність практично не залежить від товщини.

Через великий градієнт концентрації, проникність речовини не залежить від прикладеного тиску. Проникність як рідини, так і газу підкоряється першому закону Фіка, згідно якого швидкість стаціонарного потоку обернено пропорційна товщині мембрани:

$$q = \frac{D(c_2 - c_1)}{l} \quad (1)$$

де q – кількість проникнутої рідини на одиницю площі мембрани за одиницю часу;

l – товщина мембрани;

$C_2 - C_1$ – різниця концентрацій;

D – коефіцієнт дифузії.

Якщо сорбція переважає над дифузією, то виникає набухання мембрани. Набухання впливає на селективність. Ступінь набухання мембрани повинна бути під контролем, оскільки вона зменшує ефективність процесу первопорації.

Для протікання процесу первопорації необхідна певна кількість тепла, що обмежує використання даного методу при зрошенні теплими і сонячними регіонами. В Україні, зокрема в її південній частині, а особливо в Криму, є

наявні потенційні умови для застосування подібної технології. Саме в цих районах гостріше відчувається нестача води для зрошення.

Велику кількість умовного тепла скидають електростанції та інші великі промислові об'єкти, що мають на виході технологічного циклу скидні теплі води. Через відсутність користувачів цей тепловий ресурс не використовується в народному господарстві. Тому використання теплих вод із таких об'єктів, де присутній процес охолодження є також пріоритетним напрямом у технології зрошення, що розглядається нами.

Важливим питанням при зрошенні за допомогою процесу первопорації є вивчення нових мембранних матеріалів і їхніх модифікацій. Вибір матеріалу для виготовлення первопораційних мембран переважно здійснюється шляхом комбінаторного підходу. Більш раціональним підходом є підбір матеріалу, виходячи з його фізико-хімічних властивостей.

Виділяють декілька типів первопорації: гідрофільна, гідрофобна та органоселективна. Для зрошення використовують непористі гідрофільні мембрани, які виготовляють з гідрофільних полімерів, таких як сополієфір еластомеру, полієфірів-блок-поліамідів, уретанових полієфірів або полівінілового спирту [4].

Оптимальна гідрофільна мембрана складається з полімерів, що мають передачу водяної пари витратою щонайменше 3500 г/м²/добу, вимірний при температурі повітря 23 °С і відносній вологості 50% при швидкості 3 м/с на плівку загальною товщиною 25 мікрон. Тобто швидкість проникнення водяної пари через мембрану в цілому досить велика, і вода може подаватися згідно норми відповідно до потреби в даний проміжок часу.

В мембрані, яка використовується для первопорації, можна виділити зону «фази розчину». Дана зона займає найбільший простір в мембрані. Після неї настає так звана зона «парової фази» – значно менша за розміром, в якій проникаюча речовина «випаровується».

В комплексі з мембранними матеріалами застосовують допоміжні елементи, з якими мембрана працює краще, стабільніше і надійніше.

Використовуються матеріали, котрі включають тканини та плівки проникні для водяної пари, в тому числі виготовлені з волокон органічних і неорганічних полімерів стійкі до вологості, наприклад: поліетилен, поліпропілен і тому подібне. Такий захід збільшує міцність і захищає мембрану. Подібні матеріали можуть бути як із внутрішньої, так із зовнішньої сторони мембрани. Однак, зазвичай, допоміжний матеріал розташований на зовнішній поверхні труби, щоб краще захистити її від фізичної та хімічної дії.



Рис. 2. Схема переходу води із фази рідини у газову фазу

Мембрани можуть мати один або більше окремих шарів, зроблених з 5 матеріалів, і різних гідрофільних полімерів. При проходженні води через непористу мембрану, захищену додатковим матеріалом, затримуються будь-які мікрочастинки, які присутні у зрошувальній воді, включаючи мікроби, бактерії та віруси. Гідрофільний полімер може містити антиоксидантні стабілізатори, ультрафіолетові стабілізатори, стабілізатори гідролізу, барвники і пігменти, наповнювачі, антимікробні реактиви тощо.

Витрата води при первопорації, яка проходить через мембрану із вказаних полімерів, залежить, окрім інших факторів, від вмісту вологи у ґрунті, куди планується подача. Таким чином, іригаційні системи можуть бути саморегулятивні і «пасивні». Іншими словами, ґрунт забирає лише необхідну кількість вологи. Це дозволяє уникнути проблем з перезволоженням або підтопленням земель, що в подальшому могло би спричинити їх засолення.

Трубчасті мембрани можуть мати будь-який поперечний переріз, наприклад, круглий, овальний, квадратний і т.д.

Під час подачі води мембранними трубами вони вступають в контакт з водою і, поглинаючи її, розширюються. Наприклад труба з еластомеру сополієфіру (1), може розширитися принаймні до 10% по всій своїй довжині під час гідратації (2). При проектуванні систем з гідрофільних мембранних труб важливо передбачати збільшення їхньої довжини.

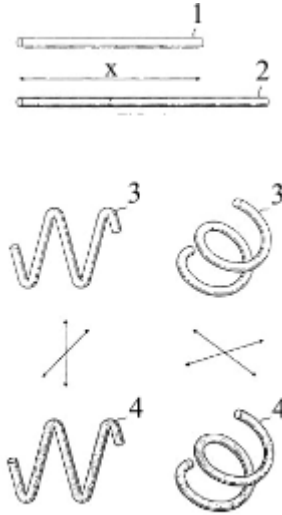


Рис. 3. Форми мембранних гідрофільних труб

М. Тонкін запропонував виготовляти труби у формі спіралі. На схемах (3) і (4) показано, що зневоднені трубки такої форми, збільшуються по довжині шляхом розширення у трьох вимірах, зокрема збільшення довжини примушує діаметр гідратованої спіралі (4) збільшуватися як і довжина спіралі.

Мембрана під впливом гідратації в обмеженому просторі може деформуватися, змінити свій поперечний переріз в певних місцях, зламатися або розірватися, це може спричинити витік зрошувальної води в ґрундове середовище. Спіральна форма мінімізує ймовірність того, що мембрана розірветься або пошкодиться [5].

Влаштування труб у формі спіралі досягається високопластичними властивостями труб даного типу, проте така операція не є технологічною, а її застосування непрактичне. Монтаж зрошувачів такої форми вельми складно виконати у виробничих умовах. Тому ми вважаємо, що гідрофільні мембрани доцільно виготовляти у вигляді гофрованих труб (рис. 4). Коли вони гідратуються, то розширення трубки по довжині може бути компенсовано її відповідною формою. Зокрема, відстань між гребенями і пазами в гофрованих трубах можна зменшувати, передбачивши збільшення мембрани в процесі гідратації. Іншими словами, стиснення гребенів і пазів в стінці труби схоже на аналогічне стиснення міхів акордеону. При використанні таких труб абсолютне лінійне розширення вздовж осі мембрани зменшується.

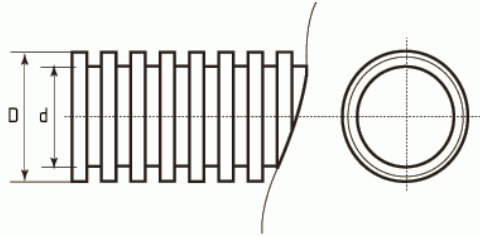


Рис. 4. Гофрована мембранна труба

Крім того, у гофрованих трубах збільшується в 10 разів гнучкість в порівнянні з негофрованими трубами, і тому вони легко монтуються і стійкіші до впливу тиску з поверхні ґрунту, а також тектонічних рухів.

Підсумовуючи викладене у статті, можна зробити висновок, що запропонований спосіб зрошення з використанням мембранної технології є недостатньо вивченим та дослідженим. Проте, він є досить перспективним, оскільки дозволяє позбутися значних недоліків та проблем звичних способів зрошення. Мова йде про нестачу чистої води для поливів, значне використання електроенергії та недостатню ефективність прийнятих методів та технологій. Розглянута нами система дозволяє виконувати полив водою, яка пройшла мінімум етапів очистки. Також вона не потребує високоенергетичних пристроїв та механізмів для свого функціонування. Крім того, вона є досить простою в експлуатації. Завдяки тому, що зволоження відбувається за допомогою пари, система значно економить зрошувальну воду. Недоліком на даному етапі дослідження цієї технології вважаємо досить високу вартість мембранних матеріалів, які використовуються для виготовлення труб при зрошенні (на даний момент вартість 1 м труби діаметром 300 мм становить 80 доларів США). Але якщо ці технології отримають широке розповсюдження, зрозуміло, що збільшення їх використання буде стимулювати і зменшення вартості мембранних труб.

1. www.vodhoz.com.ua. 2. www.web.me.com. 3. www.dti-r.co.uk. 4. www.walldimord.ru. 5. 2436222 /GB/ Irrigation device/ M. Tonkin. – 2009.

Рецензент: д.т.н., проф. Ткачук М.М. (НУВГП)