



Шевчук Л. І.,  
Старчевський В. Л.,  
Афтаназів І. С.,  
Коваль І. З.,  
Строган О. І.

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ РОСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Запропонована нова технологія водопідготовки для поливу та зрошування сільськогосподарських культур, яка базується на кавітаційній обробці води. Приведено опис високопродуктивного низькочастотного вібраційного кавітатора для кавітаційної обробки води, результати експериментальних досліджень впливу активованої кавітацією води на пророщування та ріст бобових та зернових.

**Ключові слова:** вода, рослини, полив, активація, кавітація.

### 1. Вступ

Загальновідомо, що поряд із властивостями посівного матеріалу і ґрунтів, якістю та хімічним складом мінеральних добрив не менш вагоме значення для росту та опірності несприятливим погодним умовам сільськогосподарських рослин та культур має і використовувана для їх поливу та зрошування вода. Саме наявна навколо зерна або корінця вода пом'якшує та зволожує ґрунт, полегшуючи умови для формування розвинутої кореневої системи рослини, вимиває із ґрунту, розчиняє і спрямовує до корінців необхідні для росту та життєдіяльності сполуки і мінерали, до того ж у легко засвоєваному розчиненому стані. Вода є і основним джерелом капілярного транспортування від кореневої системи рослин до стебел та їх розгалужень певних поживних речовин, постачальником основних «будівельних матеріалів» для росту та формування стебла рослини, його відгалужень або крони, плодів.

Саме ці чинники обумовлюють виключно вагому роль кількості та якості води, у тому числі і води поливу, для проростання, росту та плодючості рослин. Тому поряд із твердістю та кислотністю води, її насиченістю мінералами тощо, не менш вагоме значення має і безпосередньо структура води, яка є визначальною для певних її властивостей та розчинної здатності.

Відомим є і той факт, що найрозповсюдженішими є два різновиди структурної будови води у її рідкому стані, а саме кластерна та мономолекулярна. Мономолекулярна структура води притаманна джерельній воді, талій воді льодовиків та снігових покривів високогірних масивів, воді гірських річок на їх високогірних ділянках, зрідка воді артезійних свердловин та дощовій воді на окремих екологічно чистих масивах. Решта водам, а особливо воді міських водогонів, переважно властива кластерна структурна будова. Структурна будова води не є усталеною, вона може видозмінюватися, переходячи із одного стану в інший. Правда, у природі повсемісно швидко зустрічається перехід води від мономолекулярного стану до кластерного, а зворотній процес якщо і відбувається, то дуже довготривало у часі.

Наприклад, джерельна вода у мономолекулярному стані, перемішуючись із брудними потоками річкової

або транспортуючись трубами водогонів, кластерної будови набуває. А от зворотній процес у природі (від кластерної до мономолекулярної) можливий виключно через тривалий природний кругообіг води, що включає її природне випаровування, повернення із дощами на Землю, просякання в товщі Земної кори і знову вихід на її поверхню джерельною водою. Підкреслимо, що тут йдеться про прісну питну та побутову, включно із дощовою, воду, яку в переважаючій більшості використовують для поливу рослин.

А поряд з тим відомо, що саме у мономолекулярному стані воді властиві найкраща розчинна здатність та проникність і зумовлена цим засвоєваність живими організмами та рослинами. Саме тому в етносі, опираючись на багатовіковий досвід, закономірно і приписують цілющі властивості джерельній воді, тобто воді у мономолекулярному стані. Отже, зрошування і полив сільськогосподарських культур водою у мономолекулярному стані певною мірою, за аналогічних інших умов, може забезпечувати суттєво вищу їх врожайність. Тому актуальними залишаються дослідження, спрямовані на вдосконалення технологічних процесів водопідготовки води для зрошування та поливу сільськогосподарських культур з метою підвищення їх врожайності та опору несприятливим погодним умовам.

*Метою даного дослідження* є розробка технологічного обладнання для покращення якості та споживчих властивостей води, використовуваної для поливу та зрошування сільськогосподарських рослин та культур.

*Об'єктом та предметом дослідження* були технологічні операції водопідготовки та водоочищення, промислове та дослідне обладнання для активації води, кінетичні закономірності енергетичного впливу на оброблювану воду кавітаційних процесів.

*Методики дослідження* — мікроскопування зразків дослідної води, рН-метрія водних розчинів, швидкісна відеозйомка для дослідження динаміки елементів приводу та збурювачів кавітації віброрезонансних кавітаторів.

### 2. Аналіз попередніх досліджень

У силу виключної вагомості води не тільки для людства, а і для всього суцього на Землі, із поміж

величезної кількості наукових досліджень динаміки рідинних потоків, впливів на властивості води хімічних та фізичних чинників тощо, ряд наукових робіт було спрямовано і на дослідження методів та чинників впливів на структурну будову води та її видозміни. Цілеспрямовані зміни структури води та її властивостей було названо «реструктуризацією та активацією води» і встановлено, що найдієвішими методами здійснення цих змін є так звані фізико-механічні методи.

Автори робіт [1, 2] відзначають, що у загальному, всі фізико-механічні впливи на воду з метою покращення її властивостей зводяться до, так званого явища «активації» води, яке супроводжується, як правило, зміною її структури, підвищенням розчинної здатності та зумовленої цим спроможності до ініціювання хімічних реакцій, перш за все окиснювальних. Фізична суть активації води, незалежно від способу активації, полягає в руйнуванні кластерних структур для насичення води мономолекулами. Адаже у переважаючій більшості, вода — це асоційована рідина, у якій молекули об'єднані в групи, схожі на аморфні кристали, що називаються кластерами, і окремих молекул води тут практично немає. А саме в мономолекулярному стані воді притаманна підвищена хімічна активність, розчинна здатність та проникність. Відомо багато способів насичення води мономолекулами, наприклад, нагрів води до початку дегазації, так званій, «білий окріп» з наступним швидким охолодженням; вплив ультразвуком значної інтенсивності, гідрокатавітацією, магнітним полем, електроіскровою обробкою тощо. В усіх цих випадках, завдяки потужному енергетичному впливу на воду формується нова її структура, в якій міститься переважна більшість молекул у вільному (незв'язаному) стані. У роботах [1, 3] відзначено, що активована вода, завдяки послабленню енергії водневих зв'язків між молекулами та збільшенню рухливості молекул, за здатністю до дисоціації наближається до апротонних розчинників.

Із-поміж їх багаточисельної групи методів активації води найпридатнішими, на наш погляд, для поливу та зрошування рослин видаються методи магнітної [1, 3] та кавітаційної [2, 4] обробки води. Як у першому, так і у другому випадках під дією перемінного магнітного або інтенсивного кавітаційного полів стрімко наростає розчинна здатність та проникність води, можуть змінюватися її в'язкість та величина поверхневого натягу, покращується засвоєваність живими організмами та рослинами.

Схожі процеси відбуваються також під дією миттєвих спалахів вивільненої при схлопуванні кавітаційних бульбашок потужної енергії, які руйнують кластерні блоки молекул води, трансформуючи їх до мономолекулярного стану під час кавітаційної обробки. Однак, на відміну магнітній активації води, покращення властивостей якою нетривале у часі, що не виключено, зумовлено дією магнітних полів Землі, активована та реструктуризована кавітаційною обробкою вода зберігає свої покращені властивості впродовж тривалих періодів часу, залежних від умов зберігання.

### 3. Виклад основного матеріалу

Із відомих методів збурення кавітаційних полів найбільшого розповсюдження набули ультразвуковий та гідродинамічний методи [5–10]. Суть ультразвуково-

вого полягає у застосуванні коливань ультразвукової частоти для створення умов росту ядер кавітації, якими являються завжди наявні в рідині різноманітні газові включення. Співпадіння частоти власних коливань ядер кавітації із частотою ультразвуку збуджує явище резонансу, яке супроводжується миттєвим розширенням з подальшим сплескуванням кавітаційних бульбашок. Миттєво з'єднуючись між собою ударні хвилі сусідніх сплеснутих кавітаційних бульбашок формують у невеликому об'ємі доволі потужне енергетичне поле [1]. Як наслідок — забезпечення суттєвої інтенсифікації цілої низки хімічних реакцій, у тому числі окисних і, відповідно, пов'язаних з цим процесів очищення, в тому числі і водоочищення та знезараження води від біологічних забруднень. Більше того, за певних режимів озвучування стосовно води забезпечується не тільки зміна її фізичних властивостей, а й реструктуризація, що суттєво впливає на її споживчі властивості.

Однак, проходження ультразвуку крізь рідину супроводжується значними втратами енергії акустичних хвиль, зумовленими розсіюванням ультразвуку на неоднорідностях багатофазного середовища. Тому збурення кавітаційних явищ ультразвуком ефективно лише у незначних об'ємах рідини (як правило до 500 см<sup>3</sup>), енергозатрати на обробку одиниці об'єму рідини доволі суттєві, що практично унеможливує на даний час широке промислове використання ультразвукової кавітації, у тому числі і для зрошування та поливу сільськогосподарських культур, обмежуючи сферу її застосування переважно лабораторними дослідженнями.

Загалом, гідродинамічні методи збурення кавітації поділяють на методи статичного збурення завдяки змінам динаміки струменя рідини та динамічного збурення кавітації, здійснюваного переміщенням у струменях рідин твердих тіл (обертючих та віброуючих лопатей, крильчаток тощо) і приналежного до так званих механічних методів. На відміну ультразвукової кавітаційної обробки, гідродинамічним кавітаторам притаманна висока продуктивність [3]. Однак, інтенсивність формованого кавітаційного поля тут незначна, суттєво поступається ультразвуковій, не забезпечує належного рівня реструктуризації оброблюваної води. Це і стає на заваді використанню гідродинамічної кавітаційної водопідготовки для вирощування сільськогосподарської продукції.

Створений в Національному університеті «Львівська політехніка» метод низькочастотної віброрезонансної кавітаційної обробки рідин органічно поєднує високу продуктивність із значною інтенсивністю кавітаційного поля, що відкриває перспективу успішного використання його і для таких високвитратних процесів, як водопідготовка для поливу та зрошування. Обладнання для його реалізації просте за своєю конструктивною будовою, довговічне і надійне в експлуатації, порівняно дешеве і високопродуктивне, що створює передумови для використання його як у дрібних фермерських господарствах, так і в потужних сільськогосподарських комплексах.

Метод низькочастотної віброрезонансної кавітаційної обробки рідин базується на збуренні кавітаційних полів віброуючими в них збудрювачами кавітації, коливання яких відбувається в діапазоні резонансних частот, кратних власним частотам коливань наявних у рідинах зародків кавітації [11]. Завдяки резонансу енергозатрати на збурення інтенсивних кавітаційних полів тут зведено до мінімуму, а обробка рідин може

здійснюватись при подачі під тиском, що стрімко нарощує її продуктивність.

Для високопродуктивної кавітаційної обробки води для різноманітних господарських потреб, у тому числі і для поливу та зрошування сільськогосподарських культур, авторами створено низькочастотний резонансний віброкавітатор, світлина якого відображена на рис. 1. Суттєвою перевагою даного кавітатора є те, що він забезпечує якісну кавітаційну обробку рідин під тиском до  $2,0 \text{ кг/см}^2$ , у результаті якої суттєво (до  $1,5\text{--}2,0 \text{ м}^3/\text{год.}$ ) зростає його продуктивність і декілька паралельно з'єднаних кавітаторів спроможні забезпечити обробку таких значних обсягів води, які достатні для поливів та зрошування рослин, навіть, на великих площах.



**Рис. 1.** Світлина низькочастотного електромагнітного кавітатора резонансного типу для кавітаційної обробки води для поливу за зрошування сільськогосподарських культур (із частково знятими захисними елементами кожуха)

Основними вузлами низькочастотного вібраційного електромагнітного кавітатора для кавітаційної обробки води є робоча камера із симетричними фланцями, до яких приєднано два циліндричні корпуси із патрубками подачі оброблюваної води. В середині кожного циліндричного корпусу розміщені статор із обмоткою та якорь електромагнітів приводу, які до робочої камери приєднано за допомогою фланця із центральним отвором для переміщення штока якоря електромагніту. Між якорем та статором електроприводу встановлено виготовлену із пружного матеріалу мембрану, яка забезпечує коливання якоря із приєднаним до нього штоком з амплітудою до  $3,5\text{--}4,0 \text{ мм}$ . На штоках якорів електромагнітів закріплено деки-збурювачі кавітації, плоска або конічна поверхня яких пронизана отворами для перетікання оброблюваної води. Робоча камера оснащена патрубками для подачі та відводу оброблюваної води, супутніх обробці газів або повітря (у випадку технологічної потреби). Кавітатор із міркувань техніки безпеки закрито захисними кожухами, які встановлено на опорах. Приймаючи до уваги, що у кавітаторах даного типу відсутні пружні підвіски резонансного налаштування, у електричну схему живлення їх електромагнітів приводу включено регулятор частоти напруги моделі AFC-120, який дозволяє плавним регулюванням змінювати частоту притягування якоря електромагніту до його статора, змінюючи тим самим частоту коливань прикріплених до штока якоря дек-збурювачів кавітації.

Внаслідок цього, в процесі обробки рідин на даному кавітаторі є можливість плавно наблизити частоту вібра-

цій коливних дек до частот, кратних частотам коливань наявних у оброблюваних рідинах зародків кавітації, тобто максимально наблизити роботу кавітатора до резонансних режимів. Адже саме резонансним режимам властиве мінімальне споживання енергії приводом, максимальні значення коефіцієнтів їх корисної дії.

Для пониження вібрацій, що можуть передаватись від коливних частин кавітатора на несучі опори та поруч облаштоване устаткування, симетрично розташованим у циліндричних корпусах якорям електромагнітів приводу надають синхронних протифазних коливань. Досягають цього відповідним підключенням до мережі живлення обмоток статорів електромагнітів. При цьому, сили реакцій коливних переміщень обох якорів, будучи синхронними та протилежно направленими, через робочу камеру та циліндричні корпуси взаємно погашають та нівелюють одна одну, зводячи до мінімуму передачу вібрацій на основу.

Визначивши оптимальні режими роботи кавітатора, на пульті його керування встановлюють необхідний діапазон частот змін напруги живлення електромагнітів приводу, патрубками через регульовальні дроселі подають у робочу камеру кавітатора оброблювану воду та здійснюють її обробку впродовж певного рекомендованого для конкретних рослин часу. До складу технологічної схеми водопідготовки тут включено резервуар технологічної підготовки оброблюваної води (наприклад, її фільтрації від механічних домішок), насоси для створення тиску води та резервуар для відстоювання та накопичення обробленої води. До кавітатора це технологічне обладнання під'єднано трубопроводами, які оснащено регульовальними дроселями. Проходячи повз електроприводи оброблювана вода охолоджує корпуси статорів із обмотками електромагнітів. Потреба у цьому зумовлена тим, що індукване обмотками статорів змінне магнітне поле невпинно нагріває корпуси електроприводів, знижуючи їх коефіцієнт корисної дії та провокуючи небезпеку короткого замикання дроту витків обмоток. Тут до речі, вода додатково піддається інтенсивній магнітній активуючій обробці.

Кавітаційна обробка води водних розчинів, в залежності від технологічних вимог, тут може здійснюватись у неперервному режимі або дискретно у замкнутому технологічному циклі.

Певним підтвердженням покращення властивостей води в результаті її кавітаційної обробки на низькочастотних віброрезонансних кавітаторах є і результати досліджень впливу цієї води на швидкості пророщування та росту рослин. Авторами було проведено низку експериментів щодо дослідження впливу якості води на пророщування та ріст бобових, зернових культур, пасльонових та кімнатних рослин. Представником бобових культур було обрано квасолю (квасоля звичайна — *Phaseolus vulgaris*), зернових культур — зерно пшениці (*triticum vulgaris*), пасльонових — помідори (*tomato*). Піддослідною кімнатною рослиною було обрано розсаду квіткової рослини, широко розповсюдженої під назвою «в'юнок» («Кручені паничі — *flores torqueri Panich*»), характерною особливістю якої є загальновідома висока швидкість проростання та росту. У відповідності загально прийнятним методикам, квасолю та зерна пшениці пророщували, висіявши їх на зволожену водою вату в скляних емностях, пророслі зерна помідорів висаджували у відповідний здобрений для проростання пасльонових

грунт, посівний матеріал (зернята) кімнатної рослини висаджували в спеціальний «квітковий» ґрунт, а далі досліджували вплив якості води на їх ріст. На відміну іншим піддослідним рослинам, ємності з квасолинами із пророслими на 2,5–3,0 см пагонами (приблизно за тиждень від початку поливу) наповнювали просіяною землею для садових саджанців, вкривши квасолини земельним прошарком товщиною 1,0–1,5 см.

У кожній із досліджуваних партій рослин обирали однакову кількість пророщуваного матеріалу і для всіх пробних партій пророщуваних рослин експерименти проводили в абсолютно ідентичних умовах у закритому добре провітрюваному приміщенні та при сталій температурі 20–22 °С. Двічі на добу о 8 год. ранку та о 20 год. вечора піддані експерименту поливали водою, у кількостях, рекомендованих для кожного із їх різновидів стандартами на вирощування сільськогосподарської рослинної продукції. Відмінність полягала лише у різновиді використовуваної для поливу води — для контрольних партій рослин при поливі використовували звичайну відстояну водопровідну воду при температурі 16–18 °С, для піддослідних — аналогічну воду, піддану кавітаційній обробці впродовж 15 хв. на дослідному низькочастотному вібраційному кавітаторі, відображеному на рис. 1. Для усунення фактору випадковості досліди повторювали тричі, опосередковуючи їх дані та не приймаючи до розгляду пікові найкращі та найгірші результати.

Результати експериментальних досліджень подано на рис. 2, а–в, де відображено світліни пророслих квасолі (рис. 2, а, б — на 5-тий (а) та 15-тий (б) дні після висаджування), зерен пшениці (рис. 2, в, г — на 15-тий день після висаджування) та кімнатної рослини «в'юнок» (рис. 2, д, е — на 25-тий день після висаджування). В результаті даного експериментального дослідження було встановлено наступне:

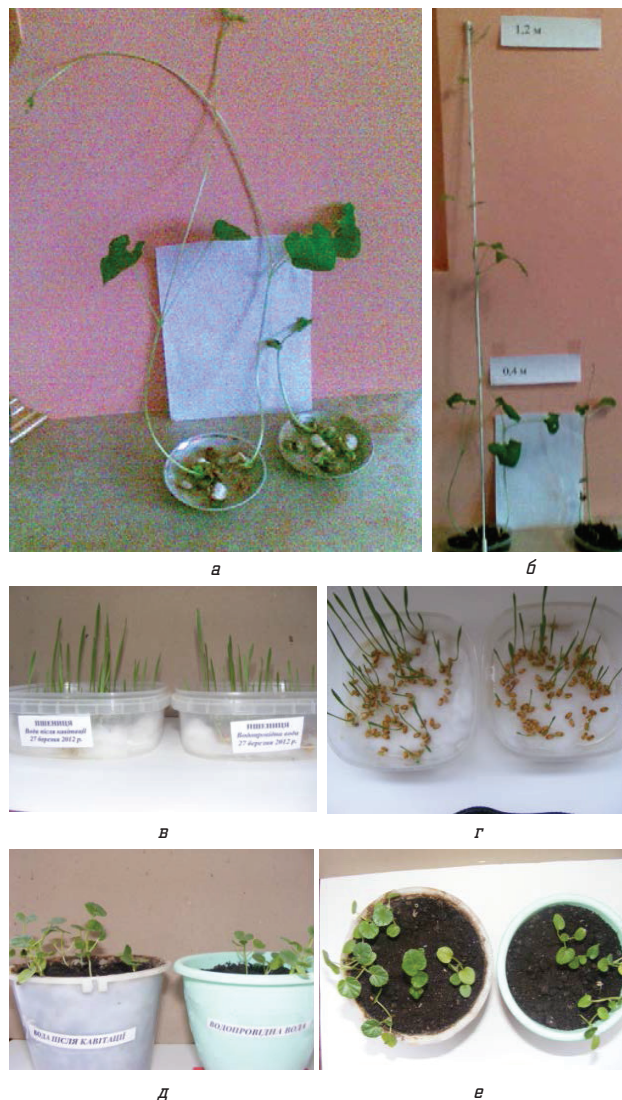
1) суттєвого впливу на тривалість початкової стадії пророщування, яку характеризує етап появи на зернах проросткових пагонів для пшениці і квасолі та появу над рівнем землі пагонів помідорів і кімнатної рослини «в'юнок» стан досліджуваної води (звичайна або кавітаційно оброблена) немає. Для всіх досліджуваних партій рослин відсоток пророслих зерен був приблизно сталим для конкретного виду рослин і незалежним від різновиду використовуваної для поливу води;

2) швидкість росту пагонів пророслих рослин суттєво залежна від стану води. Перш за все, незалежно від різновиду досліджуваних рослин швидкість їх росту при поливі кавітаційно обробленою водою суттєво перевищує швидкість росту при поливанні звичайною водою. По-друге, різниця швидкості росту залежна від різновиду рослинних культур і наростає в міру збільшення тривалості поливу.

Поясненням цим явищем необхідно, вважати наступне. За однакових умов (температури, вологості тощо) відсоток пророщування досліджуваних культур більшою мірою залежний від умов попереднього зберігання посівного матеріалу та просто наявності достатньої кількості вологи. Наявність відповідних температури та вологи тут лише стимулює сам етап проростання зерна і якість води тут суттєвої ролі не відіграє. Вагомий лише чинник її достатньої наявності.

В міру того, як у процесі проростання пагона зерно або квасолина вичерпують запаси наявних у них

поживних речовин, обростають мікрокореневою системою, на першому місці в схемі живлення пагонів постає періодично подана вода поливу. Оскільки, зерна та квасолини висаджені на зволожену вату і контакт із ґрунтом, який міг би поставляти пагонам необхідні для росту поживні речовини, у них відсутній, виключно вода поливу є джерелом органічного та мінерального живлення пагонів. І саме тут на чільному місці постає якість води поливу.



**Рис. 2.** Дослідження впливу кавітаційної обробки води на швидкості пророщування та росту рослин: а та б — бобових (квасоля — *Phaseolus*), в та г — зернових (пшениця — *Triticum*); д та е — кімнатних рослин («в'юнок» — *Flores torqueri* Panich)

Оскільки, у даному експерименті основою води поливу в усіх випадках залишалась відстояна водопровідна вода, доречно вважати, що її твердість, кислотність, мінеральні показники залишались однаковими та незмінними. Відмінність полягала лише у структурних властивостях води, зумовлених наявністю або відсутністю її кавітаційної обробки. На світліні (рис. 2, а — ліве відображення) чітко відстежується, що швидкість росту паростків квасолі, яку поливали кавітаційно обробленою водою, впродовж перших двох тижнів поливу в 4–5 рази перевищує швидкість росту паростків, политих звичай-

ною водою (рис. 2,а — праве відображення). Впродовж наступного третього тижня різниця у швидкостях росту дещо знижується, та все ж залишається доволі відчутною в межах 3–3,5 кратного перевищення (рис. 2,б). Тут на світліні за паростками квасолі для наочності розташовано аркуш паперу формату А4.

Суттєво меншою та все ж доволі відчутною є різниця у швидкостях росту пагонів пшениці (рис. 2,в,г). Світліни її пагонів зроблено після тижневого росту і перше, що кидається у вічі — суттєво, приблизно на третину, більша кількість пророслих зерен пшениці, тобто на 25–30 % вища «сходжуваність» тих її зерен, які поливали кавітаційно обробленою водою (ліві відображення на рис. 2,в,г). Приблизно на 35–40 % вищою тут є і швидкість росту пагонів.

Аналогічними зерновим є і дані пророщування кімнатної рослини «в'юнок» (рис. 2,д,е). Полив кавітаційно обробленою водою (рис. 2,д,е — відображення ліворуч) тут на 40–45 % збільшує кількість пророслих пагонів і на 30–35 % пришвидшує швидкість їх росту. Світліни пагонів «в'юнка» виконано після трьохтижневого їх проростання.

Ми схильні тлумачити дану ситуацію стрімкого підвищення швидкості росту пагонів зернових та бобових у результаті їх поливу кавітаційно обробленою водою виключно наслідком зміни безпосередньо самої структури води — її переходом від кластерної будови до мономолекулярної, руйнуванням ланцюгів водневих зв'язків води на молекулярному рівні, зумовлену цим покращену розчинну здатність, а відповідно, і проникність та засвоюваність води живими організмами та рослинами. Зміну структурної будови води під дією кавітації переконливо підтверджують мікрофотографії криогенної кристалографії «роздавленої краплі» звичайної водопровідної води та аналогічної кавітаційно обробленої води [12]. Покращену засвоюваність рослинами, вищу її проникність та здатність до капілярного просочування, а, отже, і зумовлене цим покращене транспортування пагонами необхідних для росту солей та поживних речовин підтверджують дані цього експерименту.

Однак, тенденція покращення проростання та збільшення швидкості росту рослин внаслідок їх поливу кавітаційно обробленою водою не є сталою для всіх без винятку рослин. Так досліди поливу паростків пасльонових (томатів) кавітаційно обробленою водою жодного відчутного результату порівняно із поливом їх звичайною водопровідною водою не дали. Це означає, що кавітаційна обробка води та полив нею рослин потребують ґрунтового дослідження специфічних особливостей конкретних різновидів рослин, зважених підходів до рекомендацій щодо застосування покращеної кавітацією води, а можливо, і експериментальний підбір для кожного із різновидів рослин оптимальних технологічних параметрів кавітаційної водопідготовки. Адже енергетичні затрати на кавітаційну обробку води доволі відчутні, що вимагає вдумливого підходу до рекомендацій щодо її використання для поливу рослин. Тим не менше, проведені дослідження засвідчили значну ефективність використання кавітаційно обробленої води для поливу окремих представників рослинного світу.

Таким чином, результати порівняльних лабораторних досліджень проб води підтверджують високу ефективність віброрезонансної кавітаційної обробки як засобу активної реструктуризації води, у тому числі і міських

водогонів, до стану, наближеного до її мономолекулярної структурної будови. Як наслідок, стрімко наростає очисна здатність такої кавітаційно обробленої води, покращуються її споживчі властивості. Ще вищої ефективності необхідно очікувати від використання такої води для відгодівлі молоді тварин та птиці, однак схожі експериментальні дослідження авторами заплановано на майбутнє.

Запропонована технологія кавітаційної водопідготовки, метою якої є покращення якості води завдяки її активації та реструктуризації, є доволі універсальною і, окрім підготовки води для поливу та зрошування сільськогосподарських культур, може успішно використовуватись для покращення споживчих властивостей води фермерських господарств, зокрема, води ставків, озер та водойм для вирощування риби, на тваринницьких комплексах для вирощування вкрай чутливої до якості води молоді, на фермах для відгодівлі птиці та пушних звірів тощо. Доволі перспективним видається і використання даної прогресивної технології на переробних комплексах харчових продуктів, при консервуванні сільськогосподарської продукції та виготовленні напоїв, зокрема, у пивоварінні, де якість та властивості використовуваної води, поряд із якістю продуктів, є визначальними складовими якості кінцевого продукту харчування. Однак, незаперечно, тут необхідний додатковий комплекс досліджень, спрямованих на вивчення впливу даного методу активації води на здоров'я людей та тварин.

#### 4. Висновки

Експериментальними дослідженнями підтверджено позитивний вплив кавітаційної обробки води на швидкість пророщування та росту зернових і бобових культур та кімнатних рослин. Основною причиною цього є покращення структури води в результаті впливу на неї інтенсивних кавітаційних полів, активація води та її реструктуризація.

Лабораторними дослідженнями структури кавітаційно активованої води, проведеним мікроскопуванням зразків води методом її криоскопічної кристалографії, встановлено, що якість та структурна будова води після її кавітаційної обробки, наближаються до структури джерельної води.

Запропоновані нові конструкції низькочастотних віброрезонансних кавітаторів прості за своєю конструктивною будовою, надійні в експлуатації та, завдяки спроможності до кавітаційної обробки води під тиском, високопродуктивні.

Поряд із підготовкою води для поливу та зрошування сільськогосподарських культур, кавітаційна технологія водопідготовки може застосовуватись у тепличних господарствах при вирощуванні овочів та квітів, у фермерських господарствах і сільськогосподарських комплексах для відгодівлі риби, птиці та тварин, на підприємствах переробки сільськогосподарської продукції.

#### Література

1. Маргулис, М. А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях) [Текст] / М. А. Маргулис. — М. : Высш. шк., 1984. — 272 с.
2. Вітенько, Т. М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: монографія [Текст] / Т. М. Вітенько; Тернопільський держ.-техн. ун-т ім. І. Пулюя. — Тернопіль, 2009. — 224 с.

3. Сілін, Р. І. Властивості води та сучасні способи її очищення [Текст] / Р. І. Сілін, Б. А. Баран, А. І. Гордєєв; Хмельницький нац. ун-т. — Хмельницький: ХНУ, 2009. — 254 с.
4. Патент України № 66323. Пристрій для магнітокавітаційної обробки рідин [Текст] / В. Л. Старчевський, Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, О. І. Строган, заявл. 11.07.2011; реєстр. номер заявки у 2011 08663, опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.
5. Mason, T. J. Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water [Text] / T. J. Mason, E. Joyce, S. S. Phull, J. P. Lorimer // Ultrasonics Sonochemistry. — 2003. — 6, № 10. — P. 319–323.
6. Kidak, R. Effect of process parameters on the energy requirement in ultrasonical treatment of waste sludge [Text] / R. Kidak, A.-M. Wilhelm, H. Delmas // Chemical Engineering and Process. — 2009. — 48, № 8. — P. 1346–1352.
7. Kumar, P. S. Experimental quantification of chemical effects of hydrodynamic cavitation [Text] / P. S. Kumar, M. S. Kumar, A. B. Pandit // Chemical Engineering Science. — 2000. — № 55. — P. 1633–1639.
8. Ashokkumar, M. Bubbles in an acoustic field: An overview [Text] / M. Ashokkumar, J. Lee, S. Kentish, F. Grieser // Ultrasonics Sonochemistry. — 2007. — 14, № 4. — P. 470–475.
9. Okitsu, K. Acoustic multibubble cavitation in water: A new aspect of the effect of a rare gas atmosphere on bubble temperature and its relevance to sonochemistry [Text] / K. Okitsu, T. Suzuki, N. Takenaka, H. Vandow, R. Nishimura, Y. Maeda // J. Physical Chemistry. — 2006. — 110, № 41. — P. 20081–20084.
10. Gogate, P. R. Cavitation reactors for process intensification of chemical processing applications: A critical review [Text] / P. R. Gogate // Chemical Engineering and Processing: Process Intensif. — 2008. — 47, № 4. — P. 515–527.
11. Патент України № 67504. Спосіб активації води [Текст] / В. Л. Старчевський, Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, О. І. Строган, заявл. 20.07.2011; реєстр. номер заявки у 2011 09092, опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.
12. Шевчук, Л. І. Вібронезонансна кавітаційна обробка рідинних субстанцій [Текст] / Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, І. З. Коваль, О. І. Строган // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — № 2/6(56). — С. 17–23.

*Строган Оріся Іванівна, інженер 1 категорії, Інститут прикладної математики та фундаментальних наук, кафедра нарисної геометрії і інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка».*

*Шевчук Лилія Іванівна, кандидат технічних наук, докторант, Інститут хімії та хімічної технології, кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка».*

*Старчевський Володимир Людвігович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Інститут хімії та хімічної технології, кафедра загальної хімії, Національний університет «Львівська політехніка».*

*Афтаназів Іван Семенович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Інститут прикладної математики та фундаментальних наук, кафедра начертальної геометрії та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка».*

*Коваль Ірина Зеновівна, асистент, Інститут хімії та хімічної технології, кафедра загальної хімії, Національний університет «Львівська політехніка».*

*Строган Оріся Іванівна, інженер 1 категорії, Інститут прикладної математики та фундаментальних наук, кафедра начертальної геометрії та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка».*

*Shevchuk Liliya, National University «Lviv Polytechnic», e-mail: shevchyk\_l@yahoo.com.*

*Starchevskyy Volodymyr, National University «Lviv Polytechnic», e-mail: vstarch@polynet.lviv.ua.*

*Aftanaziv Ivan, National University «Lviv Polytechnic», e-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com.*

*Koval Iryna, National University «Lviv Polytechnic», e-mail: izkoval@mail.ru.*

*Strogan Orysia, National University «Lviv Polytechnic».*

#### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РОСТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

Предложена новая технология водоподготовки для полива и орошения сельскохозяйственных культур, которая базируется на кавитационной обработке воды. Приведено описание высокопроизводительного низкочастотного вибрационного кавитатора для кавитационной обработки воды, результаты экспериментальных исследований влияния активированной кавитацией воды на проростание и рост бобовых и зерновых.

**Ключевые слова:** вода, растения, полив, активация, кавитация.

*Шевчук Лилія Іванівна, кандидат технічних наук, докторант, Інститут хімії та хімічної технології, кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: shevchyk\_l@yahoo.com.*

*Старчевський Володимир Людвігович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Інститут хімії та хімічної технології, кафедра загальної хімії, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: vstarch@polynet.lviv.ua.*

*Афтаназів Іван Семенович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Інститут прикладної математики та фундаментальних наук, кафедра нарисної геометрії і інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com.*

*Коваль Ірина Зеновівна, асистент, Інститут хімії та хімічної технології, кафедра загальної хімії, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: izkoval@mail.ru.*