

УДК 631.6:626.82:631.171

В.Й.Пастушенко, С.К.Матус, А.В.Пастушенко

Національний університет водного господарства та природокористування

### ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ НА ОСУШУВАЛЬНО-ЗВОЛОЖУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ З ПІДГРУНТОВИМ ЗВОЛОЖЕННЯМ

*Пропонується структура та технічна реалізація автоматизованої системи управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур, яка дозволяє підвищити точність керування завдяки оперативному врахуванню стохастичних збурюючих впливів на об'єкт та оптимізує режим рівнів ґрунтових вод.*

Ключові слова: *інформаційно-керуюча система, автоматизація, підґрунтове зволоження, осушувально-зволожувальні системи.*

Досвід свідчить, що при застосуванні сучасних технологій меліоративного землеробства на меліорованих землях Західного Полісся України можна отримувати високі і стабільні урожаї сільськогосподарських культур. Однак, в процесі реформування аграрного сектору економіки та відсутності належної державної фінансової підтримки відбулося порушення усталених традиційних технологій землекористування, погіршився технічний стан систем. В результаті в аграрному секторі чітко визначилась проблема сталого відставання від сучасних вимог в оперативності і ефективності управлінських рішень. Спричиняє і поглиблює такі тенденції недостатнє і слабе використання нових прогресивних інформаційних технологій.

Зростаюча кількість неправильних і необґрунтованих рекомендацій з управління водно-повітряним режимом ґрунту та недостатня оперативність регулювання в ланці "вододжерело-ґрунт" зумовлює необхідність створення та впровадження сучасних систем моніторингу та управління на осушувально-зволожувальних системах (ОЗС). Використання таких систем дозволить здійснювати оперативний контроль, оцінювання, прогнозування та надасть змогу підвищити ефективність регулювання технологічних параметрів та режимів роботи меліоративного об'єкта, що, в свою чергу, позитивно впливатиме на умови вирощування сільськогосподарських культур та сприятиме отриманню максимально високих урожаїв при мінімальних витратах експлуатації системи.

Оптимізація водно-повітряного режиму зони аерації під впливом дій стохастичних збурюючих факторів на осушувально-зволожувальних системах з підґрунтовим зволоженням можлива при створенні автоматизованих систем управління вологозабезпеченістю (АСУ ВЗ).

Існуючі системи управління вологістю кореневого шару ґрунту, як правило, побудовані з використанням локальних засобів гідроавтоматики [1,2] і не можуть в автоматичному режимі адекватно реагувати на природні випадкові збурення (сумарного випаровування і опадів).

В роботі поставлена задача розробки АСУ ВЗ сільськогосподарських культур, яка б із врахуванням мінливості гідрометеорологічних елементів у вегетаційному періоді на осушуваних землях оперативно розраховувала режими зволоження/осушення та реалізовувала їх на керованих модулях осушувально-зволожувальних систем з використанням технічних засобів водорегулювання. Технічна реалізація такої системи можлива з використанням сучасних засобів вимірювання технологічних параметрів, мікроконтролерів, засобів телекомунікацій, а також використанні математичного апарату, в основі якого лежать методи математичної фізики.

В зв'язку із стохастичністю кліматичних умов та реальними потребами у зволоженні, необхідне оперативне управління осушувально-зволожувальною системою включає наступні дії, рис.1:

- на основі прогнозої інформації про погодні умови і умови росту рослин, водного режиму ґрунту і з врахуванням наявності об'єму води, що необхідний для встановлення рівня ґрунтових вод (РГВ), при якому спостерігається максимально можливий для заданих умов економічний і екологічний ефекти, інформаційна система формує рекомендації про оптимальне управління;

- із допомогою автоматизованих водорегулюючих споруд у відповідності з отриманими рекомендаціями виконується технологічний процес зволоження;

- у відповідності зі складеними планами виконується контроль за об'ємами й витратами поданої на зволоження води, вологістю ґрунту, РГВ, тобто, здійснюється зворотній зв'язок, який необхідний для подальших кроків оперативного управління.

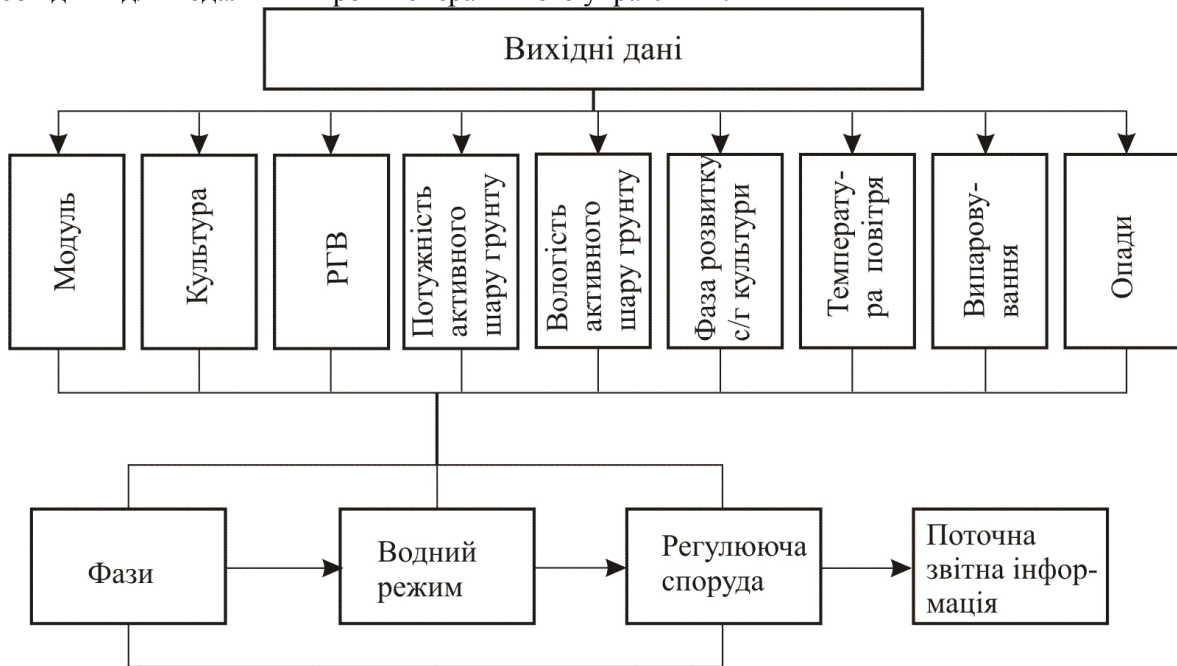


Рис. 1. Структура інформаційної системи ОЗС

При цьому забезпечується вирішення наступних задач:

1. Прогноз фенологічних фаз розвитку культур на балансових модулях і встановлення вимог до вологозабезпечення рослин;
2. Прогнозний розрахунок водного режиму модулів із визначенням необхідного об'єму води, вологості ґрунту і глибини рівня води ГГВ;
3. Встановлення норми осушення ;
4. Розрахунок об'ємів і витрат води для модуля, ділянок, системи та встановлення необхідного режиму роботи регулюючих споруд;
5. Накопичення й видача експлуатаційному персоналу поточної звітної інформації про функціонування ОЗС .

Керованість осушувально-зволожувальних систем досягається, насамперед, шляхом модульного проектування системи з можливістю автоматично-інформаційного управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур. В роботах [3, 4] зазначено, що під керованим модулем розуміють поля або їх частини з подібними відмітками поверхні, властивостями ґрунту і сільськогосподарськими культурами, які знаходяться на однаковій стадії розвитку. В межах модуля спостерігається дотримання однакових рівнів ґрунтових вод.

Структура модульної ділянки осушувально-зволожувальної системи, як об'єкта управління представляють у вигляді послідовно з'єднаних ланок із розподіленими параметрами, рис.2: системи транспортуючих каналів (низьконапірного трубопроводу), колекторно-дренажної системи (зона ґрунтових вод) і міждренного простору (зони аерації ґрунту).

Схема складається з мікропроцесорного блоку (МК) контуром керування рівнем води у колодязі та напором в дренажній мережі (ДС) та об'єкта регулювання (ОР). Об'єкт регулювання представляє собою ділянку ґрунту з колекторно-дренажною системою. Він представлений на схемі у вигляді двох ланок. Перша ланка ОР1 відображає насичену зону ґрунту і перетворює рівень води у колекторному колодязі ( $h_k$ ) у напір у дренажній системі ( $h_d$ ), а напір  $h_d$  – в рівень ґрунтових вод ( $H$ ). Друга ланка ОР2 представляє собою ненасичену зону ґрунту (зону аерації) і перетворює РГВ модульної ділянки у вологозапас кореневмісного шару ( $W$ ).

Внутрішній контур системи представлений контуром керування рівнем води у колодязі та напором у дренажній системі. Вхідним сигналом для нього є разузгодження напорів ( $\Delta h_0$ ) в дренажній мережі та періодичне корегування значення уставки РГВ на модулі для компенсації збурення від сумарного випаровування і опадів на поточний період, а також прогнозування цих

змін на основі даних метеопрогнозу. Відповідно до величини  $\Delta h_0$  гідравлічні регулятори або подають воду в ДС або скидають. Час корегування залежить від інерційності дренажної системи та об'єкта регулювання.

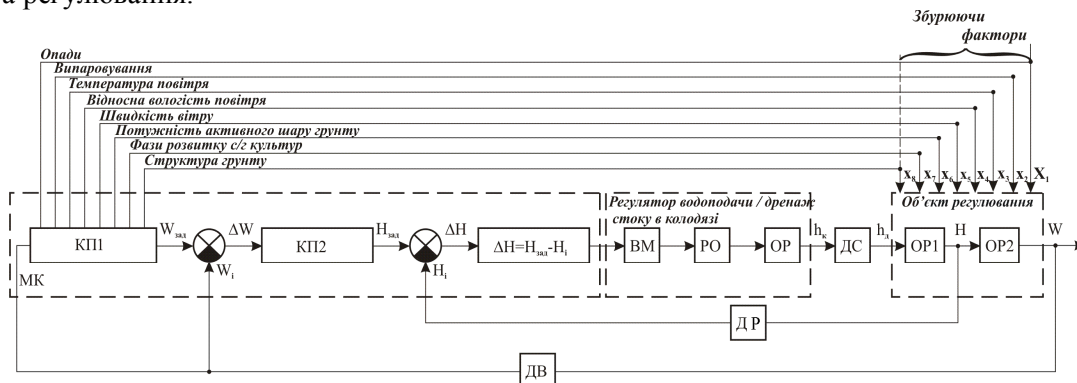


Рис. 2. Структурна схема модульної ділянки осушувально-зволожувальної системи як об'єкта управління: МК – мікропроцесорний модуль; КП1 – керуючий пристрій, що оптимізує вимоги до водовітряного режиму ґрунту с/г культури на модулі; КП2 – керуючий пристрій, що формує прогнозний рівень ґрунтових вод; ВМ – виконавчий механізм; РО – регулюючий орган; ОР – об'єкт регулювання; ДС – дренажна система; ОР1 – насичена зона (РГВ); ОР2 – ненасичена зона (зона аерації); ДР – давач рівня; ДВ – давачи вологості (тензіометри),  $x_1 \dots x_n$  - збурюючі фактори;  $h_k$  - рівень води в колодязі;  $h_0$  - напір води в дренажній системі;  $H$  - рівень води на міждренні;  $W$  - вологість ґрунту

Частота і тривалість періодів зволоження//осушення на ОЗС найбільшою мірою визначаються погодними умовами вегетаційного періоду та водоспоживанням культур. Тому режими водорегулювання потребують прогнозної корекції з урахуванням метеорологічних умов періоду вегетації.

Прогнозуючи режим вологості ґрунту та рівня ґрунтових вод система керування здійснює постійну перевірку оптимальності умов:

$$W_{t+1} = W_t + f(P_{t,t+1}, E_{t,t+1}, V_{t,t+1}) \leq WD, \quad (1)$$

$$H_{t+1} = H_t + \Delta H, \quad (2)$$

де  $W_t$  – запаси води в активній частині кореневмісного шару ґрунту та  $H_t$  – рівень ґрунтових вод на момент  $t$ ;  $WD$  – межа допустимих запасів води в кореневмісному шарі на момент часу  $t+1$ ;  $P_{t,t+1}$  – опади за час  $t, t+1$ ;  $E_{t,t+1}$  – випаровування за час  $t, t+1$ ;  $V_{t,t+1} = f(H_{t,t+1}, W_{t,t+1})$  – функція водообміну зони аерації з РГВ в момент часу  $t, t+1$ ;

При цьому параметри функції  $f$  система отримує і розраховує в автоматичному режимі, за показами датчиків вологості ґрунту, рівня води, температури та відносної вологості повітря, кількості опадів, а також за даними метеопрогнозу з інтернет-сайту. Прогнозний рівень ґрунтових вод  $H_{t+1}$  розраховується на основі рішень диференційного рівняння вологопереносу за методикою [5].

Алгоритми оперативного управління на основі аналізу вказаних параметрів наведені в роботі [5]. При управлінні за рівнем ґрунтових вод, внаслідок нелінійності об'єкту і гістерезисних явищ зв'язок між вологістю кореневого шару і рівнем є далеко не однозначним, що обумовлює низьку якість регулювання. В динамічних режимах саме зона аерації із-за низьких коефіцієнтів вологопереносу є найбільш інерційною ланкою, що визначає режим зволоження.

В роботах [7, 8] показано, що природним критерієм управління на ОЗС є мінімізація відхилень поточного рівня ґрунтових вод, відповідно вологості ґрунту, від деяких заданих значень. В якості критерію вибору оптимального керуючого впливу приймаються наступні функціонали:

$$J_H = \int_{t_0}^t [H_j - H_j(x,t)]^2 dt \rightarrow \min \quad H(0,t) \in [t_0, T], \quad (3)$$

де  $H_j$  - рівень, що відповідає заданому режиму;  $H_j(x,t)$  - зміна РГВ по об'єкту в часі,

$$J_w = \int_{t_0}^t [W_i - W_i(x,t)]^2 dt \rightarrow \min \quad W(0,t) \in [t_0, T], \quad (4)$$

де  $W_i$  - вологозапас в активному шарі ґрунту;  $W_i(x,t)$  - поточне значення вологозапасу в ґрунті.

Допустимі межі відхилень РГВ залежать від багатьох факторів і, перш за все, від виду сільськогосподарських культур, фаз їх розвитку, потужності кореневої системи, ґрунтово-кліматичних умов та ін.[7, 9].

Оскільки різні культури ставлять неоднакові вимоги до водного режиму ґрунту, які до того ж змінюються в процесі розвитку, необхідна інформація про фази розвитку рослини. Ідентифікація поточної фази сільськогосподарської культури здійснюється за методикою [4] з використанням розрахованої суми позитивних середньодобових температур повітря.

Технічна реалізація системи управління передбачає розробку та використання автоматичних регуляторів рівнів води в дренажних колодцях та каналах.

На тупикових і проточних колекторно-дренажних меліоративних системах доцільно використовувати гідравлічні регулятори двосторонньої дії, водоподачі (РВ) та дренажного стоку (РДС), які оснащені мікропроцесорними блоками керування [6].

Для регулювання рівнів води в водозабірних колодцях використовується гідравлічний виконавчий механізм непрямої дії [2].

Модифікація гідрорегуляторів полягає у заміні поплавкових давачів рівня води на електромагнітні запірні клапани, які є бістабільними запірними органами, що споживають енергію лише при переключенні. Також у колодцях встановлюються датчики рівня. Датчик системи регулювання водоподачі вимірює рівень води в колодязі, а датчик системи регулювання дренажного стоку – рівень води на масиві (РГВ). Крім того, на полі встановлений опадомір і датчик вологості ґрунту, які підключені до одного із мікропроцесорних блоків.

На рис. 3. представлені схеми гідрорегуляторів.

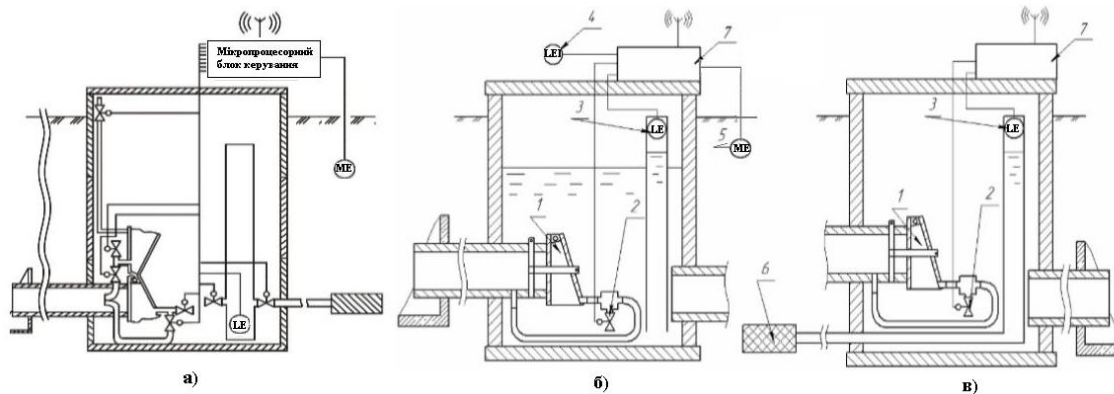


Рис.3. Схеми гідрорегуляторів двосторонньої дії (а), водоподачі (б) та дренажного стоку (в): 1 – запірний орган; 2 – електромагнітний клапан; 3 – рівнемір; 4 – опадомір; 5 – датчик вологості ґрунту; 6 – фільтр; 7 – мікропроцесорний модуль

Через технологічні особливості експлуатації меліоративних систем (значна розсосередженість, сезонний обробіток ґрунту, вирощування різних культур на керованих модулях і т.д.) прокладати провідні лінії зв'язку недоцільно, тому привабливим є використання безпроводних мереж зв'язку.

Широке розгортання GSM-мереж відкриває перспективи їх використання у системах моніторингу та керування на меліоративних системах.

Загальна структура АСУ вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на керованих модулях в межах балансової підділянки осушувально-зволожувальних систем наведена на рис. 4:

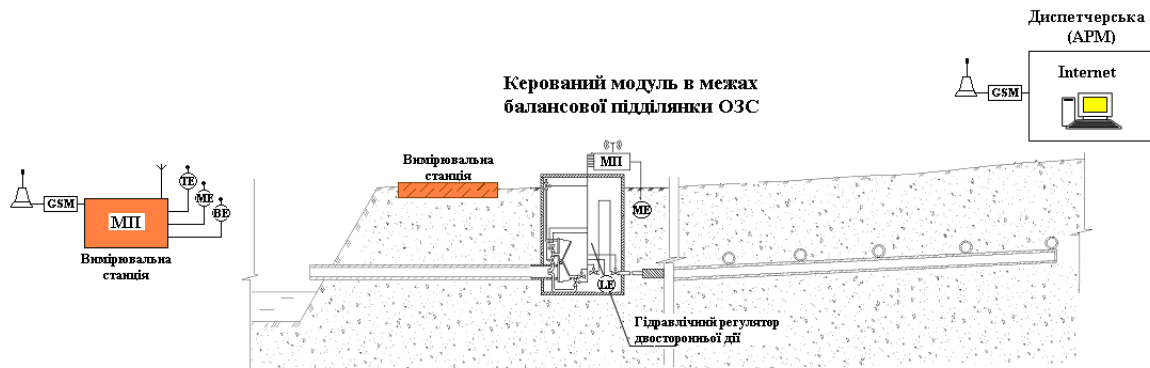


Рис. 4. Структура АСУ вологозабезпеченістю на керованих модулях ОЗС

Розроблена структура містить наступні елементи:

- гідравлічні регулятори, оснащені мікропроцесорним блоком керування, до блоку підключається гідростатичний рівнемір на основі датчика тиску Freescale MPX2010GP, дощомір Fischer 441301 та датчик вологості ґрунту. Для обміну інформацією використовується радіозв'язок в діапазоні 433 МГц.

- вимірювальна станція, оснащена мікропроцесорним блоком керування, до блоку підключаються датчики: цифровий термометр DS18S20, датчик вологості повітря НН-3610, датчик наявності опадів і датчик швидкості вітру Fischer 451231. В якості каналу передачі даних між диспетчерською (АРМ) і вимірювальною станцією використовується GSM- зв'язок та з мікропроцесорними блоками, якими оснащені гідрорегулятори за допомогою радіозв'язку.

- автоматизоване робоче місце диспетчера (АРМ) управління ОЗС на базі персонального комп'ютера, програмне забезпечення якого розраховує прогностичний рівень ґрунтових вод з використанням короткотермінового метеопрогнозу, здійснює обмін інформацією з вимірювальною станцією та регуляторами.

Мікропроцесорний блок гідравлічного регулятора пропонується виконати в уніфікованому корпусі Z104 з можливістю монтажу на DIN-рейку. Основою конструкції являється «зв'язка» двох мікроконтролерів – PIC18F4620 і PIC16F690. Така конструкція дозволяє зменшити енергозатрати під час експлуатації системи. У процесі роботи основний контролер PIC18F4620 знаходиться у сплячому режимі (режим "SLEEP"). У разі необхідності зміни задаючого параметра синхронізуючий контролер PIC16F690 подає «сигнал пробудження» на контролер PIC18F4620, який зчитує всі параметри, які контролюються, передає на вимірювальну станцію, приймає від диспетчерського пункту нове значення РГВ і, при необхідності, змінює логічні рівні сигналів на лініях, які контролюють стан електромагнітних клапанів. Після проведеної роботи основний контролер PIC18F4620 переводиться в режим "SLEEP". Для збереження значень логічних рівнів на виходах мікроконтролера передбачені базові логічні елементи – тригери. Контроль за станом керуючих ліній виконує синхронізуючий контролер PIC16F690.

Мікропроцесорний блок вимірювальної станції пропонується виконати на основі мікроконтролера PIC16F690. До аналогових входів його підключені давачі температури і вологості повітря, опадомір. У мікроконтролері апаратно присутній інтерфейс RS-232 для можливості підключення радіомодема RC102 або GSM модема SIM300C. Для синхронізації використовується внутрішній генератор. Також є можливість підключення пульта оператора для контролю і налагодження необхідних параметрів.

Переносний пульт керування оператора пропонується виконати в уніфікованому корпусі Z102 з можливістю монтажу на DIN-рейку. Для індикації параметрів використовуються семисегментні індикатори, які керуються подачею високого логічного рівня на анод відповідного індикатора. Передбачена також можливість ручного завдання двох параметрів: РГВ і частоти синхронізації з АРМ. Підключення пульта керування здійснюється за допомогою роз'єму DB25 (LPT). При відсутності підключення, для зменшення енергозатрат, контролюючі порти мікроконтролера відключаються.

## Висновки

З метою ефективного використання інформації, отриманої на керованих меліоративних модулях в межах балансової підділянки ОЗС запропонована структура та технічне забезпечення автоматизовано-інформаційної системи контролю та управління вологозапасами кореневмісного шару ґрунту. Така система дозволяє комплексно обробляти виміряну інформацію, візуалізувати і зберігати, створюючи бази даних, здійснювати обмін з автоматизованим робочим місцем (АРМ) диспетчера управління меліоративних систем, служити зручним інструментом для планування і керування режимами зволоження сільськогосподарських культур.

1. Модернізація та реконструкція осушувальних систем в умовах реформування власності у сільському господарстві. – Інститут гідротехніки і меліорації УААН – К., 2003. – 31с.
2. В.Й. Пастушенко, О.М. Наумчук. Використання автоматичних гідрорегуляторів на закритій та відкритій регулюючих мережах осушувально-зволожувальних систем. – Меліорація і водне господарство. Вип. 93-94.- 2006.- С.170-177.
3. Науково-методичні та організаційні засади управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним прогнозом: Методичні рекомендації / д.т.н. А.М. Рокочинський, Я.Я. Зубик, Л.В. Зубик, Є.І. Покладньов; за участю спеціалістів Держводгоспу України к.т.н. В.А. Сташук, В.Д. Крученик. – НУВГП, Рівне. – 2005. – 53с.
4. Лазарчук М.О. Осушення земель. – К: ІЗМН, 1997. – 244 с.
5. Пастушенко В.Й., Матус С.К. Інформаційне забезпечення систем управління вологозабезпеченістю на осушувально-зволожувальних системах з підґрунтовим // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2007.- Вип.2 (38). – С. 123-130).
6. Патент на корисну модель № 26737. Регулятор вологості кореневого шару ґрунту / Пастушенко В.Й., Матус С.К., Стеценко А.М. (Україна). – и 2007 03637; Заявлено 02.04.07; Опубліковано 10.10.07; Бюл. № 16. – 6с
7. Коваленко П.И., Яцык Н.В., Оптимизация уровневых режимов грунтовых вод на системах с двусторонним регулированием водного режима // В кн.: Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем. – К.: УкрНИИГиМ, 1985. – С. 7-9.
8. Рокочинський А.М. Критерії оцінки ефективності водорегулювання осушуваних земель // Вісник аграрної науки. – 1998. – №3. – С. 67-71.
9. Афанасик Г.И., Пятницкий В.Н., Трибис В.П., Шабан Н.С. Комплексное регулирование русловой жизни растений на торфяных почвах. – Минск: Ураджай, 1980. – 136с.