

УДК 631.674.5:631.171

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОПОДАЧЕЮ НА ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

В.М. ПОПОВ док. техн. наук,
М.М. ТАРГОНІЙ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ НААН

Наведено метод обґрунтування технології автоматизованого управління водоподачею на закритих зрошувальних системах (ЗЗС) із застосуванням математичного моделювання динамічних процесів водоподачі та енергоспоживання з урахуванням їх імовірно-статистичних характеристик.

Ключові слова: математична модель, автоматизоване управління водоподачею, система розосередженого контролю, автоматизований електропривід, насосний агрегат, дощувальна машина, енергоефективність

Вступ. На зрошувальних системах України працюють понад 900 насосних станцій (НС). Лише на внутрішньогосподарській зрошувальній мережі Каховської зрошувальної системи близько 220 НС, які щорічно перекачують від 800 до 1040 млн.м³ води і споживають від 280 до 360 млн. кВт·год електроенергії.

Одним із основних напрямів підвищення енергоефективності для забезпечення сталого функціонування зрошення є впровадження технологій автоматизованого управління водоподачею на ЗЗС.

Аналіз досліджень та публікацій. Для обґрунтування способів водоподачі на ЗЗС, як зазвичай, застосовують статистичні характеристики та закономірності процесів водоподачі та енергоспоживання [1, 2, 3, 4]. Моделювання динамічних процесів водоподачі та електроспоживання на ЗЗС, що проведено із застосуванням програми MATLAB/Simulink [5], не враховує особливості технології автоматизованого управління водоподачею.

Постановка завдання. Для раціонального водокористування та ощадливого витрачання електроенергії запропонована технологія, яка

ґрунтується на застосуванні автоматизованої системи розосередженого контролю технологічних параметрів ЗЗС та автоматизованого управління машинною водоподачею з перетворювачем частоти (ПЧ)[6].

Блок-схема системи автоматизованого управління водоподачею на ЗЗС, що реалізує запропоновану технологію, представлена на рис.1.

Запропонована технологія автоматизованого управління машинною водоподачею забезпечує оперативну зміну подачі НА з ПЧ відповідно до напору в диктуючій точці на ЗЗМ, що визначається в залежності від місця розташування працюючих ДМ та їхніх напірно-витратних характеристик.

Обґрунтування даної технології управління машинною водоподачею на ЗЗС здійснюється шляхом порівняння таких варіантів управління:

- управління водоподачею здійснюється машинами НС в ручному режимі (варіант 1);
- автоматизоване управління водоподачею шляхом стабілізації напору на виході НС, який задають за напором на фіксованому диктуючому гідранті ЗЗМ (варіант 2);

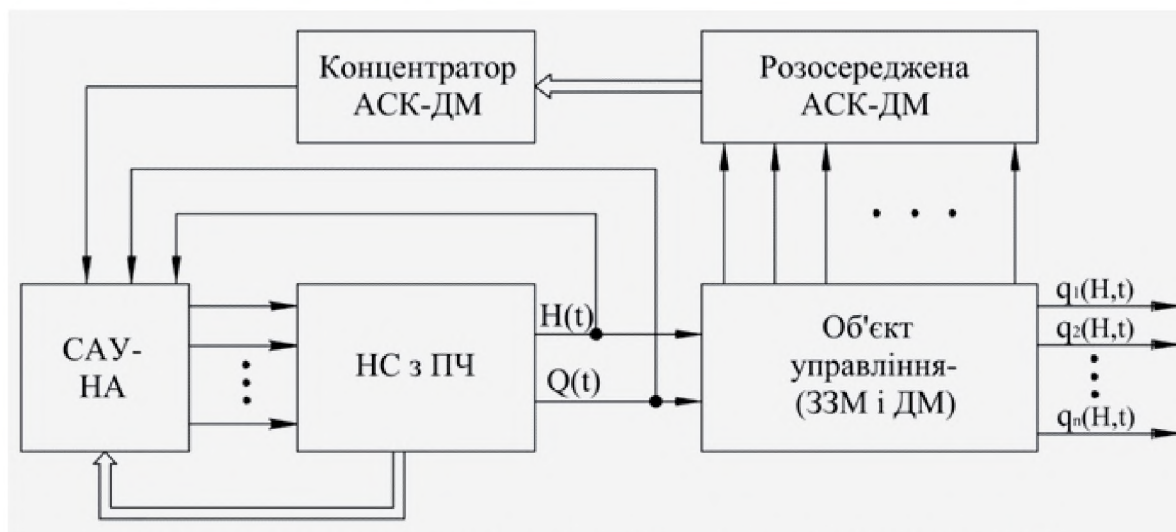


Рис.1. Блок-схема системи автоматизованого управління водоподачею на ЗЗС:

SAU-NA – система автоматизованого управління режимами роботи насосних агрегатів; АСК-ДМ – автоматизована система контролю роботи дощувальних машин; ЗЗМ – закрыта зрошувальна мережа; $H(t)$ – напір води в колекторі НС; $Q(t)$ – об'ємна витрата води, перекачаної НС; $q_i(H,t)$ – об'ємна витрата води, поданої ДМ

- автоматизоване управління водоподачею при стабілізації напору на диктуючому гідранті ЗЗМ, місцезнаходження якого змінюється (варіант 3).

Критеріями вибору ефективної технології управління водоподачею на ЗЗС мають бути: мінімальні питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, мінімальні технологічні втрати води на зрошувальній мережі та мінімальне споживання електроенергії НА.

Вирішення завдання. Обґрунтування технології управління машинною водоподачею на ЗЗС здійснюється за методом, який базується на застосуванні математичного моделювання динамічних процесів водоподачі та імовірнісно-статистичної моделі процесів при зрошенні.

Математичне моделювання динамічних процесів автоматизованого управління водоподачею на ЗЗС здійснюється із застосуванням пакету програм Matlab/Simulink [7-8].

Математична модель системи автоматизованого управління водоподачею (САУВ) на ЗЗС розробляється за її структурно-функціональною схемою, яку наведено на рис.2.

У наведеній схемі модель ПЧ представляють у вигляді структурної схеми, що показано на рис.3 [9].

Модель асинхронного електродвигуна представлено на рис. 4 [9].

Модель відцентрового насоса зі зміною частоти обертання його робочого колеса представлено на рис.5.

Дана модель відцентрового насоса відтворює співвідношення:

$$\frac{H_{\Phi}}{H} = \left(\frac{n_{\Phi}}{n}\right)^2, \quad (1)$$

де H_{Φ} , n_{Φ} – фактичні значення напору насоса та частоти обертання його робочого колеса.

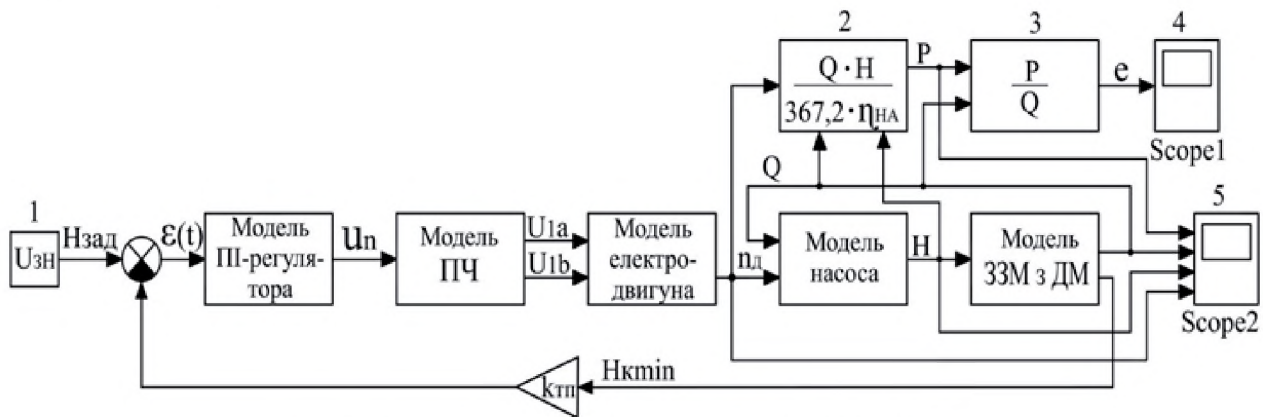


Рис. 2. Структурно-функціональна схема САУВ на ЗЗС:

U_{zn} (1) – блок завдання; $H_{зад}$ – заданий напір; $\varepsilon(t)$ – сигнал розузгодження; U_n – сигнал керування; U_{1a} , U_{1b} – векторна напруга статора на осі a-b; n_d – оберти електродвигуна, рад/с; H_{kmin} – мінімальний напір на k-ому диктуючому гідранті; $k_{тп}$ – коефіцієнт передачі; Q – витрата води, створювана НА, м³/год; H – напір насоса, м; P – фактична потужність споживана НА, кВт; e – питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, кВт·год/тис.м³; 2 – блок визначення споживаної потужності; 3 – блок визначення питомих витрат електроенергії на перекачування води НА; 4,5 – блоки графічного відображення результатів моделювання.

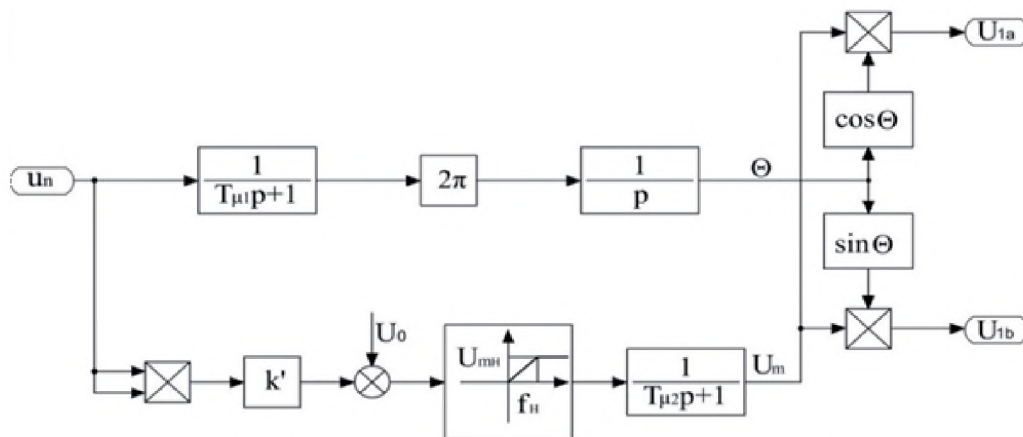


Рис.3. Структурна схема перетворювача частоти:

$T_{\mu 1}$, $T_{\mu 2}$ – сталі часу; U_0 – амплітуда напруги статора при нульовій частоті, що визначається за формулою $U_0 = 0,06 \cdot U_{mn}$, в якій U_{mn} – номінальна напруга електродвигуна, В; k' – коефіцієнт зв'язку між частотою і амплітудою, що визначається за формулою $k' = \frac{U_{mn} - U_0}{f_n^2} \cdot \frac{B}{\Gamma_{ц}^2}$.

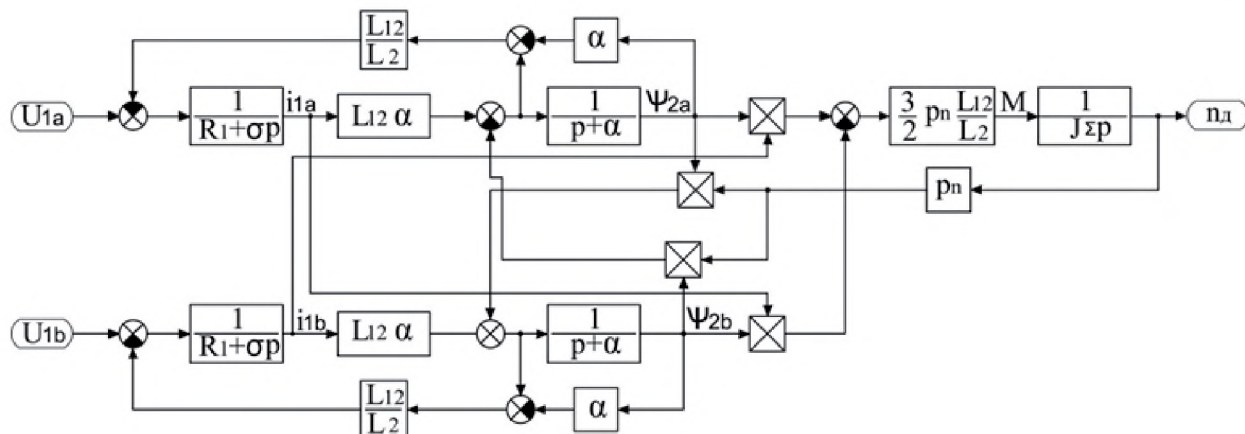


Рис.4. Математична модель асинхронного електродвигуна:

i_{1a}, i_{1b} – вектори струму статора на осі a-b; R_1 – активний опір обмотки статора; $\alpha=R'_2/L_2$ - відношення активного опору роторного кола, приведеного до статора, і індуктивності обмотки ротора; L_1 – індуктивність обмотки статора; Ψ_{2a}, Ψ_{2b} – вектори потокозчеплення ротора на осі a-b; L_{12} – взаємна індуктивність обмоток статора і ротора; p_n – кількість пар полюсів; $\sigma=(L_1L_2-L_{12}^2)/L_2$; J_Σ - приведений до валу двигуна сумарний момент інерції НА.

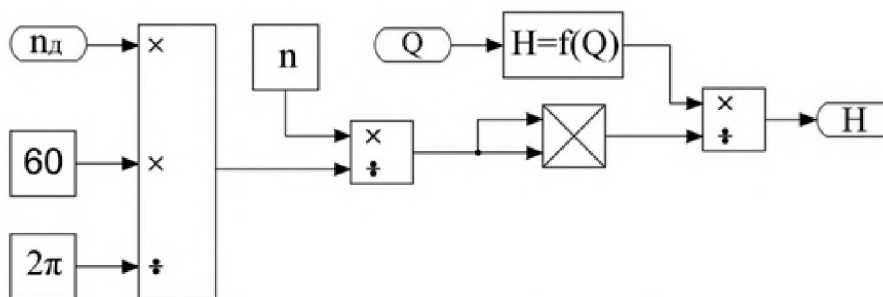


Рис. 5. Модель відцентрового насоса:

$H=f(Q)$ – напірна характеристика насоса; 60 – перевідний коефіцієнт обертів з рад/с в об/хв.; n – номінальні оберти насоса, об/хв.

Математична модель ЗЗМ з ДМ, як об'єкт управління водоподачею, створюється на основі конструктивних параметрів зрошувальної мережі, формул втрат напору в трубопроводах по довжині, напірно-витратних характеристик ДМ та залежності технологічних втрат води на ЗЗМ від напору [5].

Перехідні процеси автоматизованого управління водоподачею НА 250QVD500-54 при відкриванні засувки на напірному трубопроводі насоса та вмиканні ДМ «Фрегат» наведено на рис.6.

З рис.6 видно, що перехідні процеси автоматизованого управління водоподачею характеризуються плавною монотонною зміною обертів, споживаної потужності НА та напору насоса, як в початковий момент пуску НА з ПЧ, так і при відкриванні засувки та вмиканні ДМ «Фрегат» з витратою води 288м³/год. При моделюванні враховано також технологічні втрати води на ЗЗМ, що змінюються в залежності від напору води на виході НС.

Процес водоподачі у зрошенні при груповій роботі ДМ «Фрегат» має випадковий дискретний характер, зумовлений випадковою кількістю одночасно працюючих ДМ. При загальній кількості n ДМ, заявлених для виконання добового плану-заявки, в кожний момент часу одночасно працює k ДМ.

Імовірність того, що в кожний момент часу на зрошувальній системі працює k ДМ, визначається за біноміальним законом розподілу [10]:

$$P(k) = C_n^k \cdot P^k \cdot (1 - P)^{n-k} \tag{2}$$

де параметр біноміального розподілу P – імовірність того, що протягом певного часу із групи n працює k ДМ, а $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$.

Параметр біноміального розподілу P визначають за відношенням середніх за добовий період витрат води до максимальних.

На рис.7 представлено результати математичного моделювання САУВ на ЗЗС при реалізації добового плану-заявки на три ДМ «Фрегат» з загальною витратою 864 м³/год. При моделюванні враховано технологічні втрати води на ЗЗМ, що змінюються в залежності від напору на виході НС.

За результатами моделювання отримують добові графіки зміни основних технологічних параметрів автоматизованого управління процесом водоподачі на ЗЗС.

У табл.1 наведено порівняння основних техніко-енергетичних показників для різних технологій

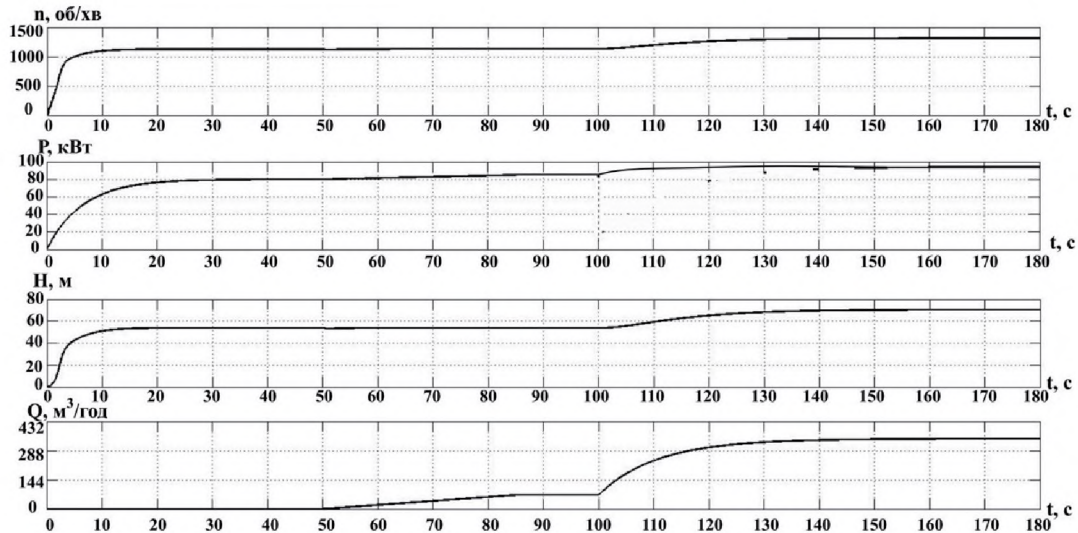


Рис. 6. Перехідні процеси при пуску частотно-керованого НА, відкритті засувки на напірному трубопроводі та вмиканні ДМ «Фрегат»:

n – оберти НА, об/хв; P – потужність, споживана НА, кВт; H – напір на виході насоса, м; Q – витрата води, створена НА, м³/год.

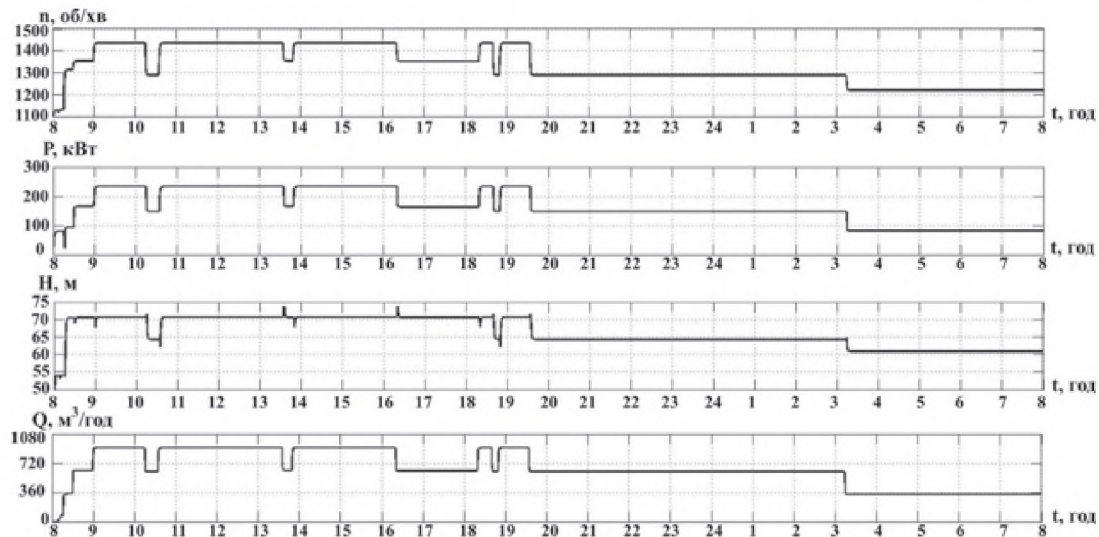


Рис. 7. Зміна технологічних параметрів САУВ на ЗЗС при реалізації добового плану-заявки:

n – оберти НА, об/хв; P – потужність, споживана НА, кВт; H – напір на виході із НС, м; Q – витрата води, створена НА, м³/год.

управління водоподачею на прикладі ЗЗС, в голові якої знаходиться НС 7 Р-1 Каховського МУВГ.

Висновок. Порівняння техніко-енергетичних показників при застосуванні різних технологій управління водоподачею на ЗЗС показало очевидні переваги автоматизованого управління водоподачею.

Автоматизоване управління водоподачею за заданим напором на виході НС, в порівнянні з управлінням водоподачею, що здійснюється машиністами НС в ручному режимі, забезпечує економію електроенергії до 25%.

Найбільш ефективною є запропонована технологія автоматизованого управління водоподачею при стабілізації напору на диктуючому гідранті ЗЗМ, місцезнаходження якого змінюється. Застосування даної технології управління водоподачею дозволяє зменшити споживання електроенергії до 30% за

зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води НА та мінімізації технологічних витрат води на зрошувальній мережі.

1. Порівняння техніко-енергетичних показників оцінки ефективності способів управління водоподачею при виконанні добового плану-заявки

Техніко-енергетичні показники управління водоподачею	Технології управління водоподачею		
	варіант 1	варіант 2	варіант 3
Середньозважений напір на виході НС, м	79,02	70,68	66,43
Середньозважені питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, кВт·год/тис.м ³	331,22	260,73	250,64
Об'єм перекачаної води, м ³	16752,82	15988,52	15644,49
Нетехнологічні втрати води на ЗЗМ, м ³	2055,77	1947,95	1879,98
Спожита електроенергія, кВт·год	5548,84	4168,61	3921,10

Бібліографія

1. *Методика проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем: НД 33-6.2-01-2006.* – К.: Держводгосп України, 2006. – 46 с.
2. Попов В.М. *Метод моделювання процесів водоподачі та електроспоживання на зрошувальних системах* / В.М.Попов // *Меліорація і водне господарство.* – 2001. – Вип. 87. – С. 22–29
3. Шевченко А.В. *Методика изучения динамики требуемого напора в головах закрытых оросительных систем* / А.В.Шевченко, В.А. Негериш // *Мелиорация водное хозяйство.* – 1985. – Вып. 63. – С. 67-71
4. Шевченко О.В. *Статистичні закономірності групової роботи дощувальних машин “Фрегат”* / О.В. Шевченко // *Меліорація і водне господарство.* – 1992. – Вип.76. – С. 3-8.
5. Попов В.М. *Моделювання динамічних процесів водоподачі та електроспоживання на зрошувальному технологічному комплексі* / В.М. Попов, М.М. Таргоній // *Меліорація і водне господарство.* – 2014. – Вип. 101. – С. 179-189.
6. *Методичні рекомендації з ефективного управління водокористуванням на зрошувальних системах* – К.: ІВПіМ, 2015. – 61 с.
7. Васильев В.В. *Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB* / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбников // *Simulink (Учебное пособие)* – К.: НАН України, 2008. – 91 с.
8. *MATLAB: анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник.* СПб: Питер.- 2001.- 438с.
9. Попович М.Г. *Електромеханічні системи автоматизації та електропривід (теорія і практика)* / М.Г. Попович, В.В Кострицький. // *Навчальний посібник* –К.: КНУТД. – 2008. –408с.
10. Попов В.М. *Характеристики випадкового процесу водоподачі зрошенні* / В.М. Попов // *Вісн. аграр. науки.* – 2002. – №8. – С.55-58.

В.Н. Попов, Н.Н. Таргоній

Обоснование технологии автоматизированного управления водоподачей на оросительных системах

Приведен метод обоснования технологии автоматизированного управления водоподачей на закрытых оросительных системах с применением математического моделирования динамических процессов водоподачи и энергопотребления с учетом их вероятностно-статистических характеристик.

V.V. Popov, M.M. Targoni

Feasibility of the technology of water supply automated control in irrigation systems

It was showed automated water supply management of closed-type irrigation systems with use of mathematical modeling of water supply dynamic processes and power consumption with their probabilistic statistical characteristics.