

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПРОГНОЗОМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ В ИРРИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

*Выполнено моделирование адаптивной системы управления с прогнозирующей моделью, которая решает текущие задания диспетчерского управления: наблюдение, формирование прогноза состояния влажности почвы, поиск и реализация оптимального управления с распределением по интервалам времени. Проанализирована эффективность функционирования адаптивной системы для оперативного управления влагообеспечением при различных настройках параметров системы.*

*Ключевые слова: дискретизированная модель, горизонт прогноза, горизонт управления, адаптивное управление, интервал достоверного прогноза.*

О.В. ПОЛИВОДА

Херсонський національний технічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ З ПРОГНОЗОМ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ІРІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

*Виконано моделювання адаптивної системи управління з прогнозуючою моделлю, яка вирішує поточні завдання диспетчерського управління: спостереження, формування прогнозу стану вологості ґрунту, пошук і реалізація оптимального управління з розподілом по інтервалах часу. Проаналізована ефективність функціонування адаптивної системи для оперативного управління вологозабезпеченням при різних настройках параметрів системи.*

*Ключові слова: дискретизована модель, горизонт прогнозу, горизонт управління, адаптивне управління, інтервал достовірного прогнозу.*

O. V. POLIVODA

Kherson National Technical University

## MODELING OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR OPTIMIZATION OF THE MOISTURE PREDICTION IN THE IRRIGATION SYSTEM

*Modeling of an adaptive control system with predictive model that solves the current dispatch control job is completed: monitoring, state prediction formation of soil moisture, search and implementation of optimal control with the distribution of time intervals. The efficiency of the adaptive systems functioning for operational moisture control at various system settings is analyzed.*

*Keywords: discretized model, prediction horizon, control horizon, adaptive control, trustworthy interval of prediction.*

### Постановка проблемы

Современные системы управления влагообеспечением представляют собой интегрированные автоматизированные системы (ИАС), которые с помощью подсистемы мониторинга осуществляют систематическое измерение всех текущих параметров функционирования объекта и параметров окружающей среды, пополнение баз данных новой информацией, а также оценку состояния системы с возможностью прогнозирования поведения системы [1]. Формирование управления в ИАС должно осуществляться на основе своевременной идентификации состояния влажности почвы. Оптимизацию параметров работы адаптивной системы управления с прогнозом целесообразно осуществлять на основе анализа эффективности адаптивных методов оперативного управления с помощью моделирования.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Структура системы оперативного управления с прогнозирующей моделью приведена на рис. 1 [2]. Объект управления (ОУ) наблюдается посредством измерительной системы (ИС). Блок оценивания (БО) формирует оценку текущего состояния объекта  $\hat{x}_i$ . Модель долгосрочного прогноза (МДП) формирует вектор выхода  $\hat{y}_{i+1}$  на горизонт прогноза, т.е. для момента времени  $t_i + \tau$ . Для прогноза вектора выхода  $\hat{y}_{i+1}$  используется условно-постоянная информация (массив данных  $\vec{R}$ ) о типе почвы подпахотного и пахотного слоев, почвенно-гидрологических константах слоев, о типе культивируемых культур и условиях их выращивания, о наличии единиц оросительной техники, их расположении на географической плоскости,

которая хранится в базе данных (БД), а также информация о прогнозируемых климатических условиях, полученная от гидрометеорологических служб.

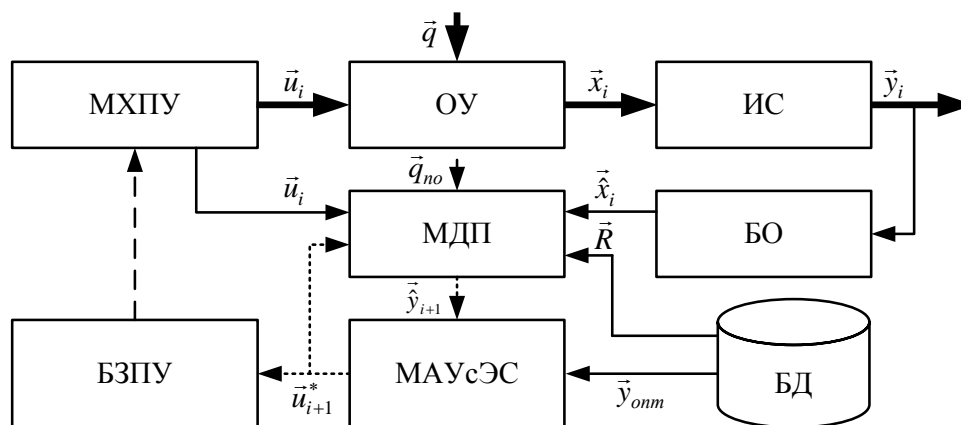


Рис. 1. Структура системы оперативного управления с прогнозом:

1 —  $t \in (t_i, t_{i+1})$ , 2 —  $t \in (t_i, t_i + \tau_1)$ , 3 —  $t \in (t_i + \tau_1, t_i + \tau_1 + \tau_2)$ , 4 —  $t = t_i + \tau$ .

Модуль адаптивного управления с экспоненциальным сглаживанием (МАУсЭС) и краткосрочным прогнозом [3] формирует вектор управления  $\vec{u}_{i+1}^*$  на горизонт управления для интервала времени  $t \in (t_i + \tau, t_i + 2\tau)$  с учетом заданного коридора влажности  $\vec{y}_{i\delta} - \Delta y_{\ddot{a}} \leq \vec{y}_i \leq \vec{y}_{i\delta} + \Delta y_{\ddot{a}}$ , при этом найденное оптимальное управление записывается в блок запоминания программ управления (БЗПУ) и передается в модуль хранения программ управления (МХПУ) к моменту времени  $t_{i+1} = t_i + \tau$  для реализации на интервале времени  $t \in (t_i + \tau, t_i + 2\tau)$ . На  $i + 1$  интервале управления формирование графика полива повторяется с учетом скорректированной оценки прогноза состояния влажности почвы в корнеобитаемом слое  $\vec{y}_{i+1}$  с сохранением длины интервала прогноза  $\tau$ .

Продолжительность интервала достоверного прогноза  $\tau$  для формирования графика полива, в течение которого систему можно считать квазилинейной, как и периодичность опроса датчиков, можно определять с помощью одномерного спектрального анализа динамики влажности почвы распределенных сельскохозяйственных угодий в конкретных климатических и агротехнических условиях [4], или путем моделирования работы адаптивной системы управления с прогнозом при различных значениях  $\tau$ .

#### Формулирование цели исследования

Целью исследований является анализ эффективности функционирования адаптивной системы управления с прогнозирующей моделью для оперативного управления влагообеспечением при различных настройках параметров системы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- выполнить моделирование работы системы оперативного управления с прогнозом, в пределах отдельной оросительной системы, согласно структуре, приведенной на рис. 1, с использованием динамической модели распределения влаги в пахотном слое, позволяющей прогнозировать влажность почвы в корнеобитаемом слое;
- провести анализ влияния длительности временных интервалов  $\tau$  на показатели качества работы системы оперативного управления влагообеспечением.

#### Изложение основного материала исследования

При практической реализации системы оперативного управления с прогнозом в течение всего периода вегетации повторяются циклы длительностью  $\tau$ , в процессе которых измерение и управление осуществляется в режиме реального времени, а формирование векторов оценки выхода  $\vec{y}_{i+1}$  и оптимального управления  $\vec{u}_{i+1}^*$  – в ускоренном времени.

Эффективность работы системы оперативного управления с прогнозом существенно зависит от продолжительности временных интервалов, так как при большом  $\tau$  прогнозируемые внешние условия в реальности могут существенно отклоняться от действительных. При малых значениях  $\tau$  значительно увеличивается объем вычислений, что может привести к необоснованно большим затратам времени. Анализ эффективности адаптивных методов управления влагообеспечением проводился на основе моделирования с использованием в качестве объекта управления дискретизированной модели динамики влажности почвы на основе уравнения Дарси [5]

$$\begin{cases} \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{f}(\bar{x}) + \bar{b}(\bar{x})\bar{u} + \bar{q}, \\ \bar{y} = \mathbf{C}\bar{x}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\bar{x} = (x_0, x_1, \dots, x_k, \dots, x_N)^T$  – вектор состояния (значений влажности почвы по глубине);  $\bar{f}(\bar{x})$  и  $\bar{b}(\bar{x})$  – вектора функций, зависящих от элементов вектора состояния и формирующихся на основе гидрофизических характеристик почвы;  $\bar{u}$  – вектор управления;  $\bar{q} = (q_0 \quad -TR(x_1) \quad \dots \quad -TR(x_{N-1}) \quad q_N)^T$  – вектор внешних воздействий, включающий осадки  $q_0$ , водопотребление культур по слоям  $TR(x_i)$ ,  $i = 1, N-1$ , а также сток в подпахотный слой  $q_N$ ;  $\mathbf{C}$  – матрица, формирующаяся согласно структуре системы измерения влажности;  $\bar{y}$  – вектор выхода, представляющий доступные для измерения значения влажности почвы.

На основе использования динамической модели распределения влаги в пахотном слое (1) было проведено моделирование работы системы оперативного управления с прогнозом согласно структуре, показанной на рис. 1. Временные интервалы работы различных компонент системы оперативного управления в  $i$ -м цикле приведены на рис. 2:

- при  $t \in (t_i, t_{i+1})$  для всех  $i = 0..N$  осуществляется измерение и непосредственно управление объектом на протяжении всего вегетационного периода  $t \in (T_H, T_K)$ . Блоки на рис. 1 соединены толстыми сплошными линиями (1) и задействованы постоянно;
- $\tau_1$  – интервал времени формирования прогноза состояния влажности почвы  $\bar{y}_{i+1}$ , при котором в системе управления задействованы блоки, соединенные тонкими сплошными линиями (2);
- $\tau_2$  – интервал времени, в течение которого осуществляется поиск оптимального управления  $\bar{u}_{i+1}^*$  на следующий период времени  $t \in (t_{i+1}, t_{i+2})$ , при этом задействованы блоки, соединенные пунктирными линиями (3);
- $t = t_i + \tau$  – предельный момент передачи найденного графика оптимального полива на предстоящий интервал времени в ОУ (задействованы блоки, соединенные пунктирными линиями (4)).

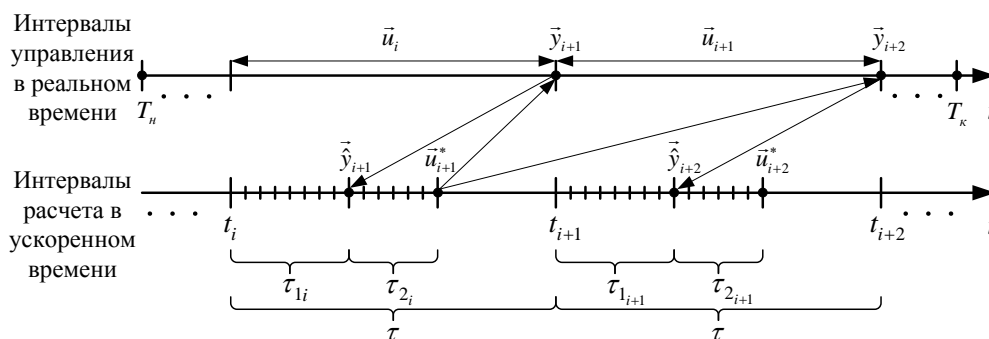
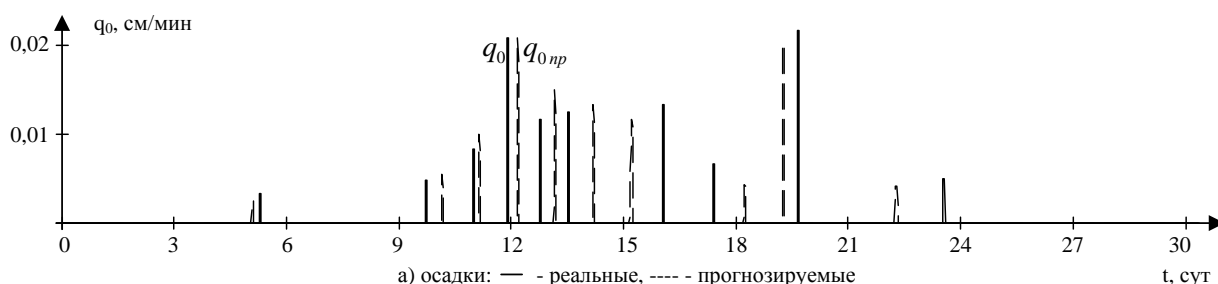


Рис. 2. Временные интервалы работы системы оперативного управления

Периодический расчет оптимального управления влагообеспечением в пределах отдельной оросительной системы должен осуществляться в АРМ диспетчера для каждой единицы поливной техники.

Результаты моделирования прогнозируемой динамики влажности почвы с учетом коррекции текущего состояния объекта, изменение которого обусловлено отклонением времени выпадения, длительности и объема прогнозируемых и реальных осадков (рис 3,а) и управления (рис 3,б) приведены на рис. 3,в для интервала времени  $\tau = 3$  суток и на рис 3,г для  $\tau = 6$  суток.



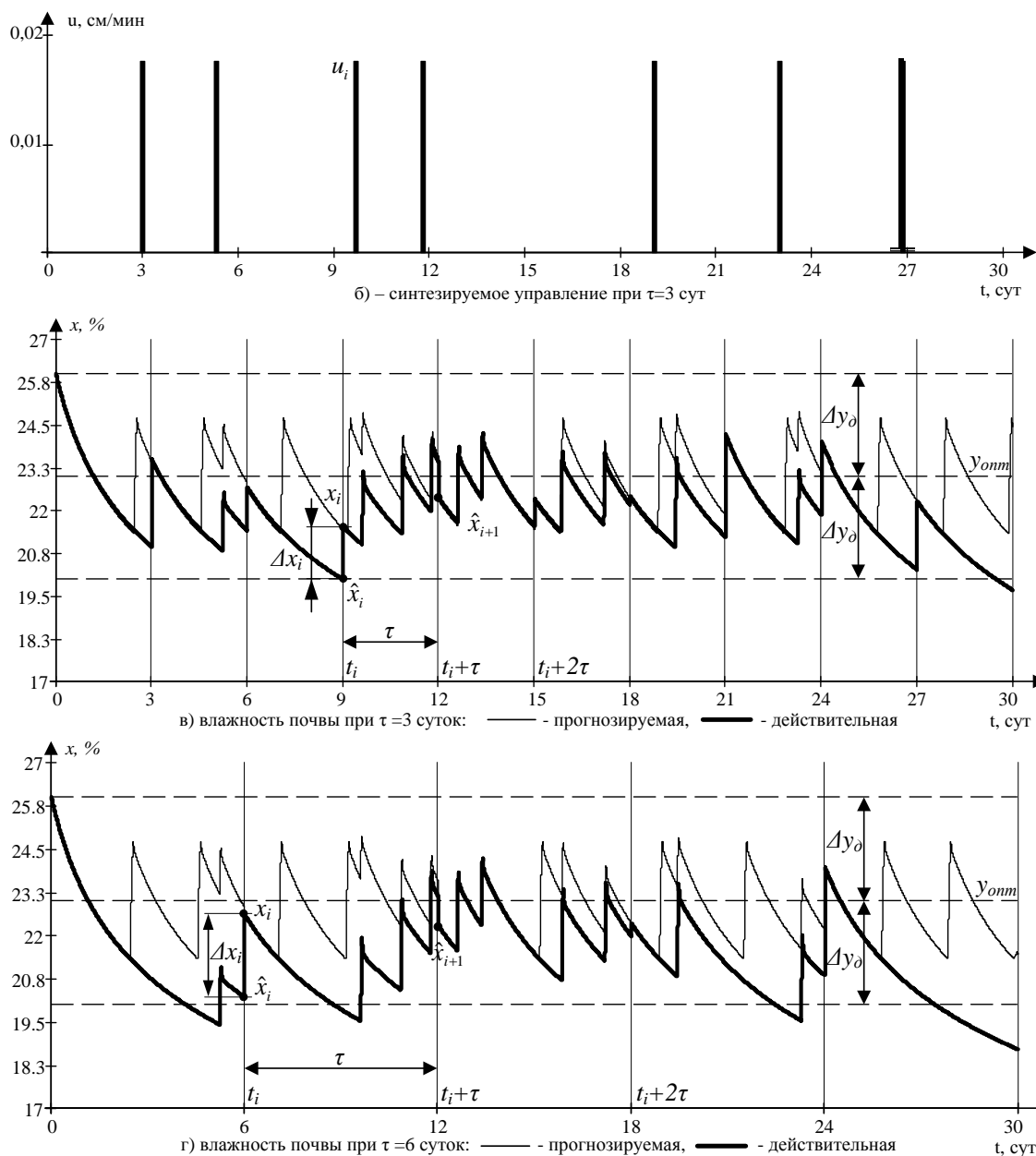


Рис. 3. Результаты моделирования влажности почвы

Для оценки эффективности работы адаптивной системы управления влагообеспечением с прогнозом использовались следующие показатели:  $\bar{X}_{пр}$ ,  $\bar{X}_{д}$  – среднее значение прогнозируемой и действительной влажности почвы за весь интервал наблюдения,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение динамики влажности почвы от оптимального значения,  $\delta$  – относительная погрешность действительной влажности почвы по отношению к оптимальным значениям. Зависимость показателей качества работы адаптивной системы от интервала прогноза  $\tau$  показана на рис 4.

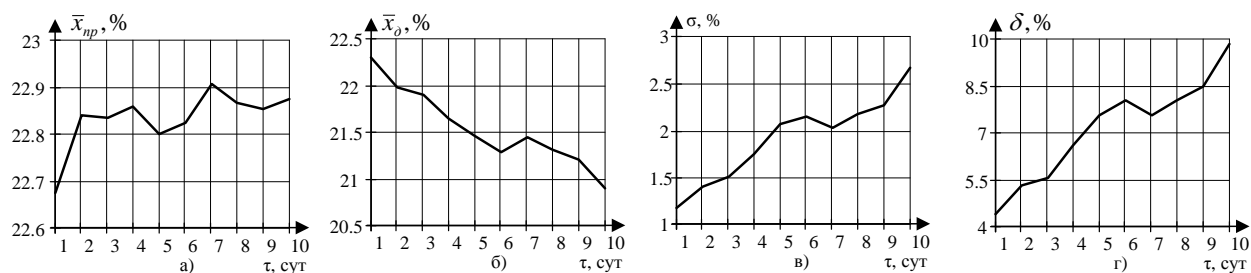


Рис. 4. Зависимость показателей качества работы адаптивной системы от интервала прогноза

На рис 5 показаны зависимости от  $\tau$  времен  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  (в процентах), соответствующих обеспечению заданной влажности в допустимом коридоре  $x_1 \in [x_{opt} - 5\%, x_{opt} + 5\%]$ ,  $x_2 \in [x_{opt} - 10\%, x_{opt} + 10\%]$  и  $x_3 \in [x_{opt} - 15\%, x_{opt} + 15\%]$ , а также суммарное количество суток (в процентах) нарушения оптимальных условий для роста культур по влажности  $T_{H1}$ ,  $T_{H2}$  и  $T_{H3}$  соответственно.

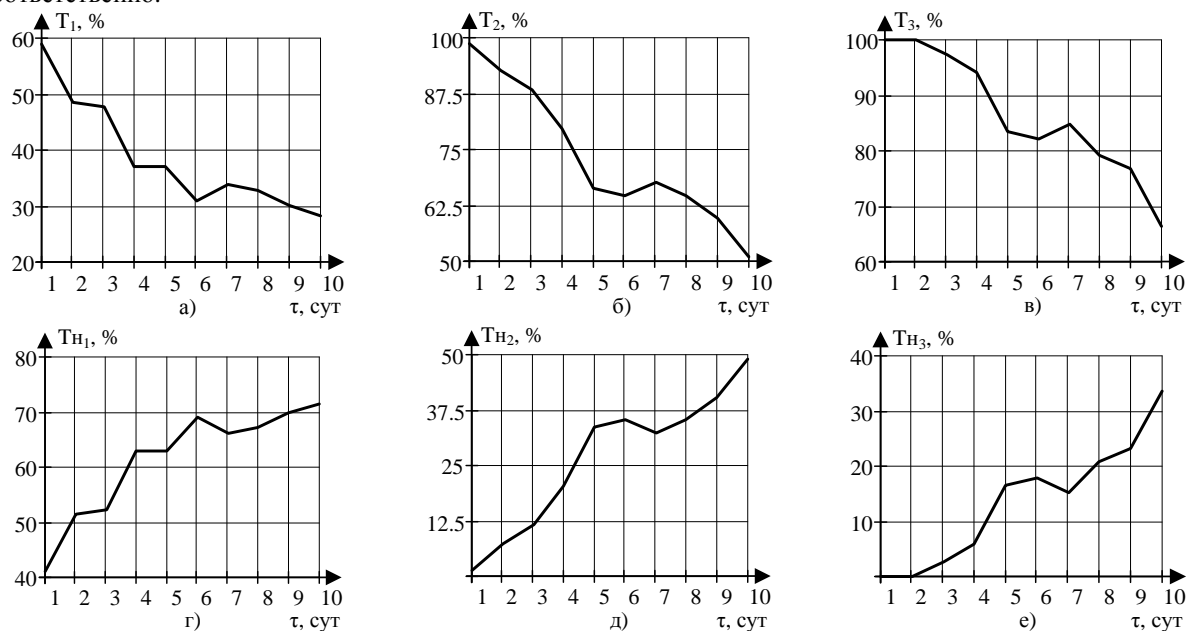


Рис. 5. Зависимости времени обеспечения и нарушения оптимальных условий для роста культур по влажности от  $\tau$

Моделирование показало, что при коридоре влажности  $x \in [x_{opt} - 15\%, x_{opt} + 15\%]$  рационально выбирать интервал прогноза  $\tau \leq 3$  суток, что подтверждает рекомендации, полученные другим путем – на основе спектрального анализа динамики влажности почвы. При более жестких ограничениях на отклонение по влажности  $\tau$  должно быть уменьшено.

### Выводы

Методы адаптивного управления с прогнозирующей моделью целесообразно использовать для оперативного управления влагообеспечением сельскохозяйственных угодий. Для повышения эффективности системы адаптивного управления необходимо предварительно проводить анализ параметров функционирования с целью определения оптимального интервала прогноза в зависимости от допустимого отклонения влажности от заданных (оптимальных) значений.

### Список использованной литературы

1. Поливода О.В. Оптимизация управления влагообеспечением в ирригационных системах / О.В. Поливода, А.В. Рудакова, С.П. Шейник // Международная научно-практическая конференция «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития», 10 декабря 2012г. [Текст]: [материалы] / Приволжский научно-исследовательский центр. – Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2013. – С. 120 – 123.
2. Поливода О.В. Методы оперативного управления влагообеспечением в ирригационных системах с прогнозирующей моделью / О.В. Поливода, А.В. Рудакова // Системные исследования и информационные технологии. – 2014. – №2. – С. 95–101.
3. Поливода О.В. Використання методу експоненціального згладжування для адаптивного управління іригаційною системою / О.В. Поливода, Г.В. Рудакова, Н.В. Сарафаннікова // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2013. – №48. – С. 54 – 59.
4. Поливода О.В. Применение спектрального анализа в контуре идентификации состояния информационно-управляющей системы ирригационной сети / О.В. Поливода // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – №2(41). – С. 245–250.
5. Поливода О.В. Оптимізація оперативного керування вологозабезпеченням в іригаційній системі: Дис.... канд. тех. наук: 05.13.07 / Поливода Оксана Валеріївна. – Херсон, 2013. – 175 с.