

минеральные добавки (песок, глина). В мелиоративном проекте следует предусматривать противопожарные мероприятия, исключающие возможность возгорания торфа и обеспечивающие быструю локализацию очагов пожара.

Предупреждение возгорания торфяных почв осуществляется путем выполнения организационно-хозяйственных гидро- и агро-мелиоративных мероприятий. При этом важным условием агро-мелиоративных мероприятий является постоянное нахождение растительности на полях торфяного объекта.

Наши исследования [3] показали, что максимальная температура поверхности торфяных почв, занятая многолетними травами, на 14,8°C ниже, чем на паровой площадке, что исключает процесс самовозгорания. Эффективным агро-мелиоративным приемом по сохранению торфяных почв от самовозгорания является структурная мелиорация, заключающаяся в внесении на поверхность залежей слоя песка или глины. Этот прием не только предохраняет торфяную почву от возгорания, но и повышает ее продуктивность на 15-30 процентов. Важным гидротехническим мероприятием сохранения выведенных (по некоторым причинам) из эксплуатации торфяных объектов сельскохозяйственного назначения от пожара, является их обводнение (затопление). Обводнение торфяников заключается в строительстве сооружений, препятствующих стоку воды, и устройстве ее подачи на объект, в случае необходимости. Работы по обводнению торфяников ведутся в Московской и Владимирской Мещере.

Заключение. Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что для защиты торфяных почв от антропогенной деградации (выработки, сработки) и возгорания необходимо:

- наличие осушительно-увлажнительных систем, позволяющих оперативно управлять водным режимом и обеспечивать оптимальную влажность почвы для роста и развития сельскохозяйственных культур;
- использование торфяных почв в щадящих травопольно-кормовых или травопольных севооборотах с наличием многолетних трав не менее 70 процентов и исключении чистых паров;
- применение структурной мелиорации (покровного или смешанного пескования, глинования);
- использование подтопления территорий, выработанных или сработанных торфяников с целью обводнения прилегающих территорий.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виленский, Д.Г. Мещерская низменность и ее комплексное исследование // Исследование природных условий сельского хозяйства Мещерской низменности: тр. Окско-Мещерской экспедиции биолого-почвенного фак. МГУ-М издательство. – МГУ, 1961. – С. 9–11.
2. Панадиади, А.Д. Критерии оценки мелиоративного состояния осушенных земель / А.Д. Панадиади, Ю.А. Томин, П.И. Пыленок // Информационный листок №174. – Рязанский ЦНТИ, 1986.
3. Черников, А.Е. Агро-мелиоративные направления охраны торфяных почв при сельскохозяйственном использовании / А.Е. Черников, Ю.А. Томин, Ю.А. Мажайский, С.М. Курчевский // Мелиорация и водное хозяйство. – № 6. – 2012. – С. 8–10.

Материал поступил в редакцию 14.06.2016

#### MAZHAYSKY Yu.A., TOMIN Yu.A., IKROMOV I.I., FIRDAVS I. The modern condition of reclaimed land Oksko-Meshchersky woodland and the protection of natural environment

The article presents brief characteristics of the Oksko-Meshchersky woodland: climate, hydrology, soils. Analyzes the use of reclaimed land in 1970–80 years, their area and condition. Current state of irrigation and drainage systems. Given the criterion of technical assessment of their condition. It is estimated that around 70% of installations are in poor condition and require reconstruction. Shows the required protection of the natural complex of the Oksko-Meshchersky woodlands, and protection of peat soils from their transformation and fire.

УДК 631.67

Попов В.Н., Таргоний Н.Н.

## ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПОДАЧЕЙ НА ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

**Введение.** Ежегодно подкачивающие насосные станции (НС) закрытых оросительных систем (ЗОС) Украины потребляют около 500 млн кВт·ч электроэнергии. Увеличение тарифов на электроэнергию и энергоёмкости орошения требует внедрения энергосберегающих мероприятий на оросительных системах. Одним из приоритетных организационно-технических мероприятий на ЗОС является автоматизация НС с использованием частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата (НА).

**Решение задачи.** Для обоснования выбора эффективного автоматизированного управления водоподачей на ЗОС нами предложен метод, основанный на применении математического моделирования динамических процессов водоподачи и электропотребления, а также вероятностно-статистической модели процессов при орошении.

Математическую модель ЗОС как объект управления водоподачей представляют в виде структурной схемы. Такая модель состоит из типовых звеньев в виде передаточных функций, характеризующих математическую связь входных сигналов с выходными [1].

Математическое моделирование динамических процессов управления водоподачей на ЗОС осуществляется с применением пакета

программ Matlab/Simulink. Для описания математической модели используются стандартные блоки из библиотеки Simulink [2–3].

Для определения передаточных функций математической модели и идентификации их параметров используются переходные характеристики гидравлических и электрических процессов водоподачи, напорно-расходные характеристики дождевальных машин (ДМ), полученные экспериментально на объектах оросительных систем с применением современных средств измерительной техники и информационных систем [4].

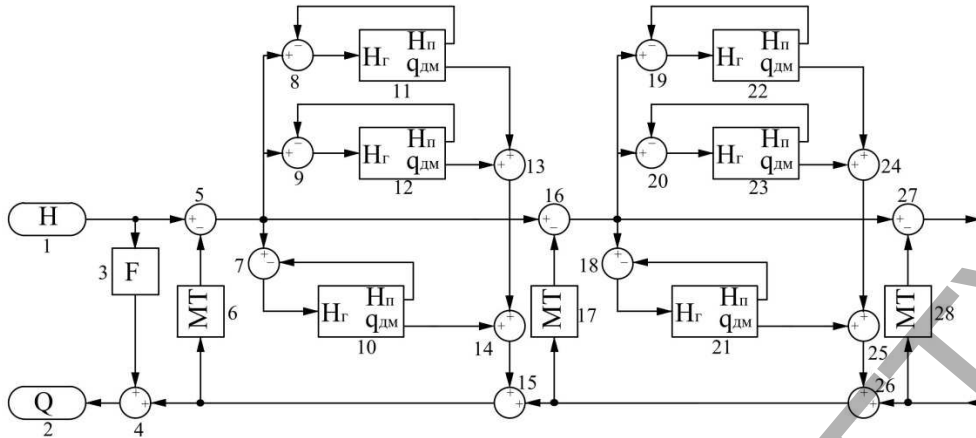
Математическая модель системы автоматизированного управления водоподачей (САУВ) на ЗОС разрабатывается по ее структурно-функциональной схеме. Она состоит из отдельных взаимодействующих подсистем – НС с автоматизированным электроприводом одного из основных НА и оросительной сети с ДМ.

Модель оросительной сети с ДМ создают на основе конструктивных параметров оросительной сети, формул потерь напора в трубопроводах по длине, напорно-расходных характеристик ДМ, а также зависимости технологических потерь воды на оросительной сети от напора [5].

Фрагмент модели оросительной сети представлен на рисунке 1.

Попов Виктор Николаевич, д.т.н., главный научный сотрудник Института водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины

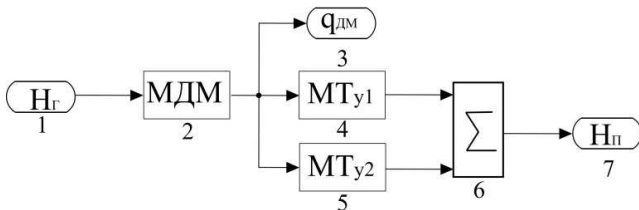
Таргоний Николай Николаевич, аспирант Института водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины Украина, ИВПиМ НААН Украины, 03022, г. Киев, ул. Васильковская, 37.



1 – напор на выходе из НС, м; 2 – объемный расход воды, перекачанной НС, м<sup>3</sup>/ч; 3 – зависимость технологических потерь воды на оросительной сети от напора; 4, 5, 7–9, 13–16, 18–20, 24–27 – сумматоры; 10–12, 21–23 – модели потерь напора по длине полевых трубопроводов с ДМ; 6, 17, 28 – блоки определения потерь напора на участках магистрального трубопровода

Рисунок 1 – Фрагмент модели оросительной сети

Отдельные типовые блоки модели оросительной сети, а именно: модели потерь напора по длине полевых трубопроводов с ДМ, модель ДМ, модель потерь напора по длине трубопровода, приведены на рисунках 2–4.

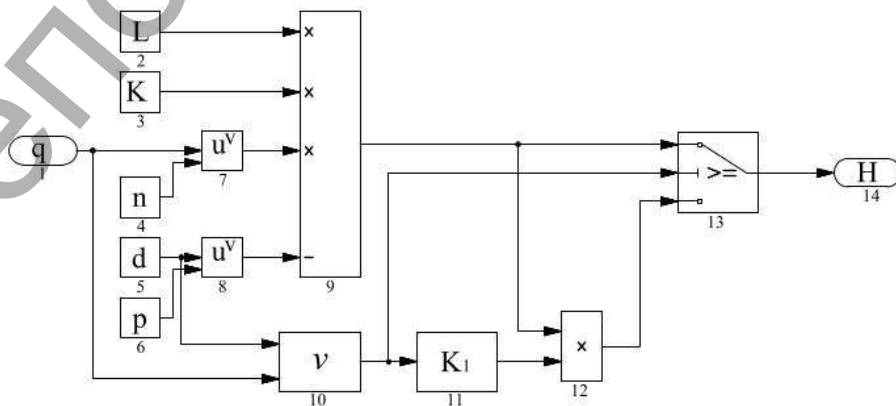


1 – входной сигнал (напор, м); 2 – блок имитации работы ДМ; 3 – выходной сигнал (расход ДМ, м<sup>3</sup>/год); 4, 5 – блоки для определения потерь напора на трубопроводе определенного диаметра и длины; 6 – сумматор; 7 – выходной сигнал (общие потери напора на *i*-м участке, м)

Рисунок 2 – Модель потерь напора по длине полевых трубопроводов с ДМ

При математическом моделировании САУВ с применением преобразователя частоты (ПЧ) модель асинхронного электродвигателя насоса представляют в виде структурной схемы, которая приведена на рисунке 5 [6].

Векторы напряжения  $U_{1a}$ ,  $U_{1b}$  сформированы ПЧ в синусоидальном виде со сдвигом по фазе на 90°.



1 – входной сигнал (расход воды, м<sup>3</sup>/ч); 2 – длина трубопровода, м; 3, 4, 6 – коэффициенты, зависящие от материала трубы; 5 – диаметр трубы; 7, 8 – степенной блок; 9, 12 – блоки математических действий (умножение, деление); 10 – блок определения скорости движения воды в трубопроводе; 11 – блок определения поправочного коэффициента; 13 – ключ; 14 – выходной сигнал (потери напора, м)

Рисунок 4 – Модель потерь напора по длине трубопровода



1 – входной сигнал (напор, м); 2 – ключ (имитация включения ДМ); 3 – умножения сигналов; 4 – передаточная функция ДМ; 5 – расходная характеристика Q(H) ДМ; 6 – выходной сигнал (расход ДМ, м<sup>3</sup>/ч)

Рисунок 3 – Модель ДМ

Модель центробежного насоса с изменением частоты вращения его рабочего колеса представлена на рисунке 6.

Данная модель центробежного насоса воспроизводит соотношение:

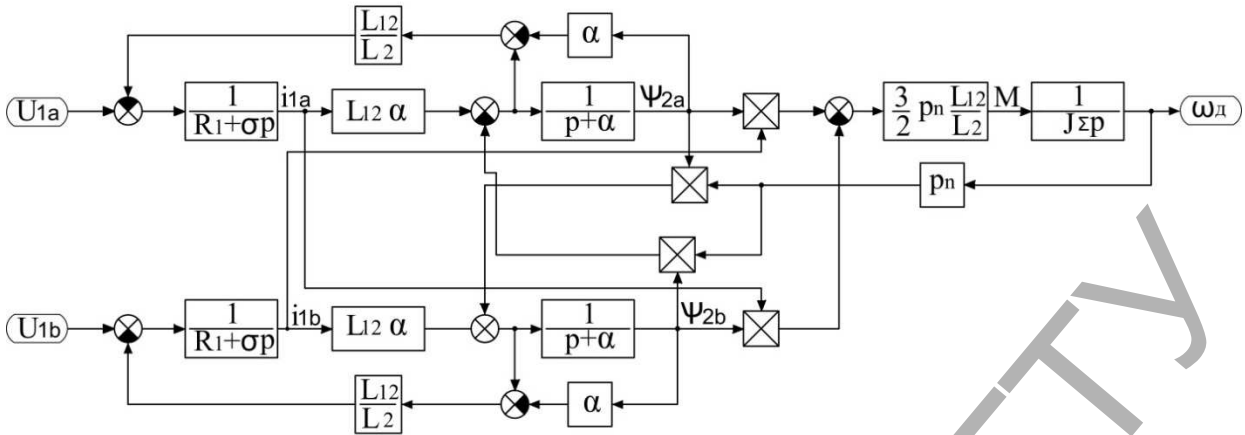
$$\frac{H_{\phi}}{H} = \left( \frac{\omega_{\phi}}{\omega} \right)^2, \quad (1)$$

где  $H_{\phi}$ ,  $\omega_{\phi}$  – фактические значения напора насоса и частоты вращения его рабочего колеса.

Структурно-функциональная схема САУВ на ЗОС, которая обеспечивает изменение подачи НА с ПЧ в соответствии с напором в диктующей точке оросительной сети, приведена на рисунке 7.

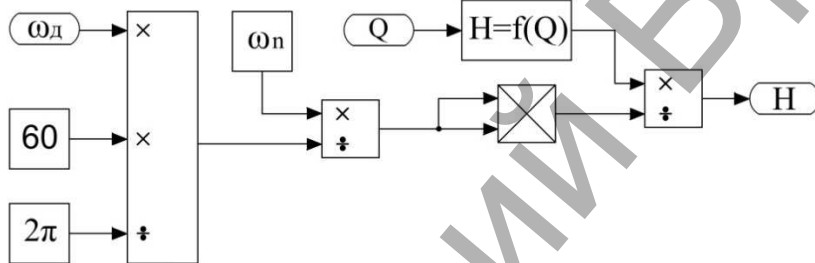
Модель ПЧ представляют в виде структурной схемы, которая приведена на рисунке 8 [6].

В качестве критериев выбора эффективного способа управления водоподачей на ЗОС служат: минимальный удельный расход



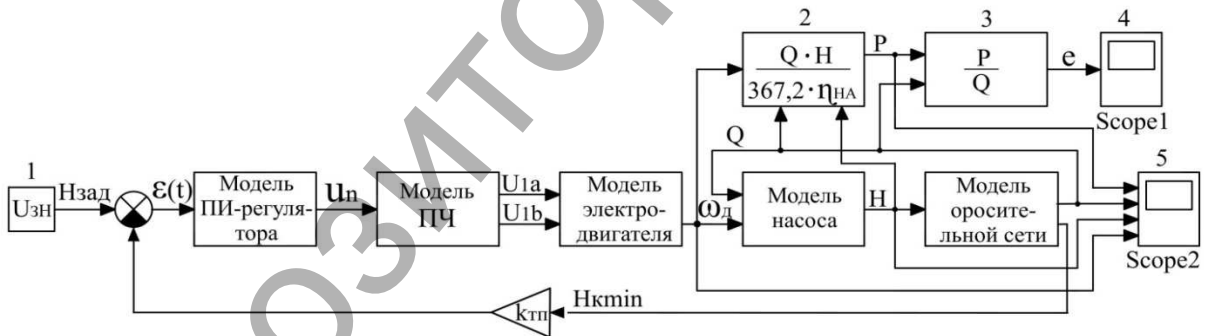
$U_{1a}, U_{1b}$  – векторное напряжение статора на оси  $a-b$ ;  $i_{1a}, i_{1b}$  – векторы тока статора на оси  $a-b$ ;  $\psi_{2a}, \psi_{2b}$  – векторы потокоцепления ротора на оси  $a-b$ ;  $R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;  $a=R_2/L_2$  – отношение активного сопротивления роторной цепи, приведенной к статору и индуктивности обмотки ротора;  $L_1$  – индуктивность обмотки статора;  $L_{12}$  – взаимная индуктивность обмоток статора и ротора;  $p_n$  – количество пар полюсов;  $s=(L_1 L_2 - L_{12}^2)/L_2$ ;  $J_s$  – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции НА;  $\omega_d$  – обороты электродвигателя, рад/с

Рисунок 5 – Математическая модель асинхронного электродвигателя



$H=f(Q)$  – напорная характеристика насоса; 60 – переводной коэффициент оборотов с рад/с в об/мин.;  $\omega_n$  – номинальные обороты насоса, об/мин;  $Q$  – расход воды, создаваемый НА, м<sup>3</sup>/ч;  $H$  – напор насоса, м

Рисунок 6 – Модель центробежного насоса



$U_{3n}(1)$  – блок задания;  $H_{зад}$  – заданный напор;  $\epsilon(t)$  – сигнал рассогласования;  $U_n$  – сигнал управления;  $H_{kmin}$  – минимальный напор на к-м диктующему гидранте;  $k_{тп}$  – коэффициент передачи;  $P$  – фактическая мощность, потребляемая электродвигателем, кВт;  $e$  – удельный расход электроэнергии на перекачку воды НА, кВт·ч/м<sup>3</sup>; 2 – блок вычисления потребляемой мощности; 3 – блок определения удельных расходов электроэнергии на перекачку воды НА; 4, 5 – блоки графического отображения результатов моделирования

Рисунок 7 – Структурно-функциональная схема САУВ на ЗОС

электроэнергии на перекачивание воды НА, минимальные технологические потери воды на оросительной сети, а также минимальное потребление электроэнергии НА.

Обоснования выбора эффективного способа управления водоподачей рекомендуется осуществлять по результатам математического моделирования САУВ с учетом вероятностно-статистических характеристик процесса водоподачи на электропотребления при орошении [7].

Процесс водоподачи в орошении ДМ «Фрегат» имеет случайный дискретный характер, обусловленный случайным количеством одновременно работающих ДМ. При общем количестве  $n$  ДМ,

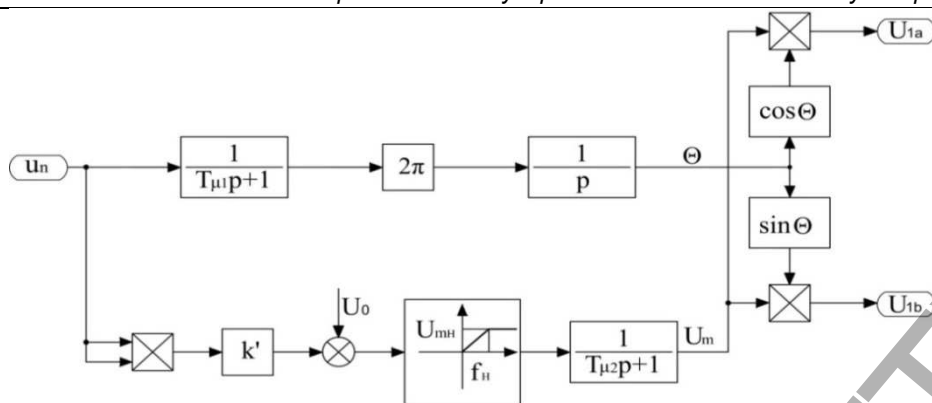
заявленных для выполнения суточного плана-заявки, в каждый момент времени одновременно работает  $k$  ДМ.

Вероятность того, что в каждый момент времени на оросительной системе из группы  $n$  работает  $k$  ДМ, определяется по биномиальному закону распределения [7]:

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

где параметр биномиального распределения  $P$  – вероятность того, что в течение определенного времени из группы  $n$  работает  $k$  ДМ, а

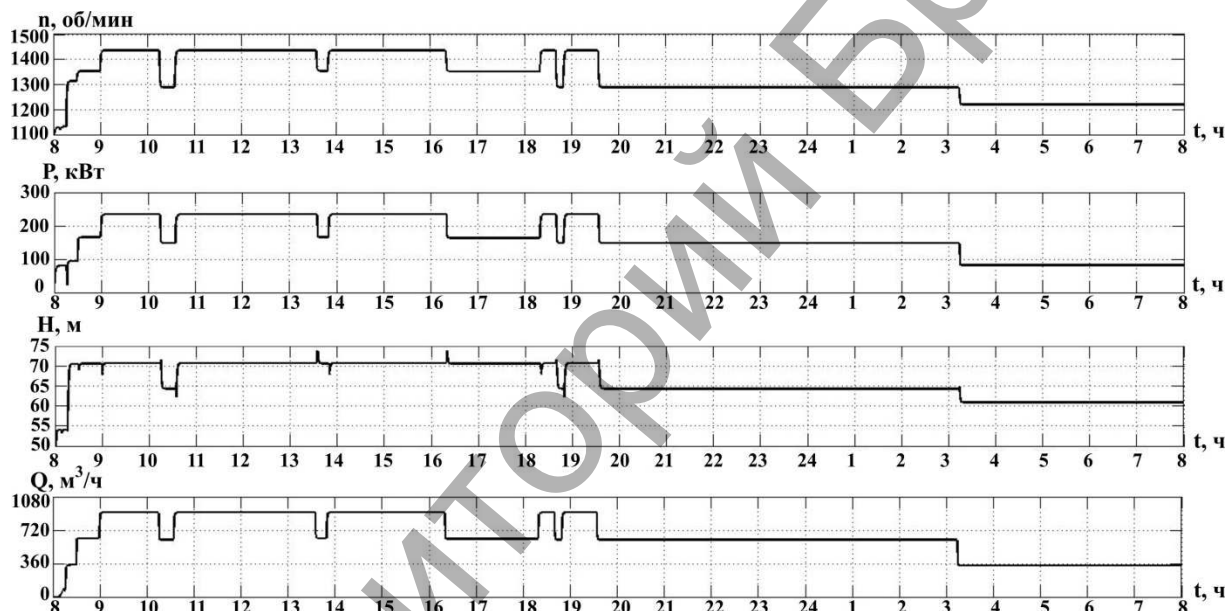
$$C_n^k = \frac{n!}{k! \cdot (n - k)!}.$$



$T_{\mu 1}, T_{\mu 2}$  – постоянные времени;  $U_0$  – амплитуда напряжения статора при нулевой частоте, которая определяется по формуле  $U_0 = 0,06 \cdot U_{mn}$ , в которой  $U_{mn}$  – номинальное напряжение электродвигателя, В;  $k'$  – коэффициент связи между частотой и амплитудой, определяется по формуле

$$k' = \frac{U_{mH} - U_0}{f_H^2}, \frac{B}{\Gamma U^2}$$

Рисунок 8 – Структурная схема ПЧ



$n$  – обороты НА, об/мин;  $P$  – мощность, потребляемая НА, кВт;  $H$  – напор на выходе из НС, м;  $Q$  – расход воды, создаваемый НА, м³/ч

Рисунок 9 – Изменение технологических параметров САУВ на ЗОС при реализации суточного плана-заявки

Таблица 1 – Техничко-энергетические показатели оценки эффективности способов управления водоподачей при выполнении суточного плана-заявки

Показатели оценки способов управления водоподачей	Способы управления водоподачей		
	вариант 1	вариант 2	вариант 3
Средневзвешенный напор на выходе НС, м	79,02	70,68	66,43
Средневзвешенный удельный расход электроэнергии на перекачку воды НА кВт·ч/тыс.м³.	331,22	260,73	250,64
Объем перекачанной воды, м³	16752,82	15988,52	15644,49
Технологические потери воды на оросительной сети, м³	2055,77	1947,95	1879,98
Потребленная электроэнергия, кВт·ч	5548,84	4168,61	3921,10

Параметр биномиального распределения  $P$  определяют по отношению среднесуточного расхода воды к его максимальному значению, за расчетный период.

На рисунке 9 представлены результаты моделирования САУВ на ЗОС при реализации суточного плана-заявки на три ДМ «Фрегат» с общим расходом 864 м³/ч.

При моделировании учтены технологические потери воды на оросительной сети, изменяющиеся в зависимости от величины напора на выходе НС.

По результатам моделирования получают суточные графики изменения основных технологических параметров автоматизированного управления процессом водоподачи на ЗОС.

На примере действующей ЗОС в таблице 1 приведены основные технико-энергетические показатели применения различных способов управления водоподачей. К таким способам принадлежат:

- управление водоподачей, которое осуществляется машинистами НС в ручном режиме (вариант 1);

- автоматизированное управление водоподачей путем стабилизации напора на выходе НС, который задают за напором на диктующем гидранте оросительной сети (вариант 2);
- автоматизированное управление водоподачей путем стабилизации напора на диктующем гидранте оросительной сети, месторасположение которого меняется в зависимости от количества и расхода работающих ДМ (вариант 3).

**Заключение.** Сравнение технико-энергетических показателей при применении различных технологий управления водоподачей на ЗОС показало очевидные преимущества автоматизированного управления.

Автоматизированное управление водоподачей путем стабилизации напора на выходе НС, по сравнению с управлением водоподачей, что осуществляется машинистами НС в ручном режиме, обеспечивает экономии электроэнергии до 25%.

Наиболее эффективным является способ автоматизированного управления водоподачей путем стабилизации напора на диктующем гидранте оросительной сети, месторасположение которого меняется. Применение данного способа управления водоподачей позволяет уменьшить потребление электроэнергии до 30% за счет уменьшения удельного расхода электроэнергии на перекачивание воды на и минимизации технологических потерь воды на оросительной сети.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трофимов, А.И. Методы теории автоматического управления, ориентированные на применение ЭВМ. Линейные стационарные и нестационарные модели / А.И. Трофимов, Н.Д. Егунов, А.Н. Дмитриева – М.: Энергоатомиздат. 1997. – 656 с.
2. Васильев, В.В. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB: учебное пособие / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбников // Simulink – К.: НАН Украины, 2008. – 91 с.
3. MATLAB: анализ, идентификация и моделирования систем. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 438 с.
4. Коваленко, П.І. Управління водорозподільними системами за принципами ресурсо- та енергоощадження / П.І. Коваленко, В.М. Попов – К.: Аграрна наука, 2011. – 368 с.
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. Попович, М.Г. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод (теорія і практика) / М.Г. Попович, В.В. Костицький. – К.: КНУТД, 2008. – 408 с.
7. Попов, В.М. Характеристики випадкового процесу водоподачі у зрошенні / В.М. Попов // Вісн. аграр. науки. – 2002. – № 8. – С. 55–58.

Материал поступил в редакцию 19.04.2016

#### POPOV V.N., TARGONII N.N. Feasibility of energy efficiency control of water supply in close irrigation systems

It is given a feasibility method of effective automated control of water supply in closed irrigation systems with the use of mathematical modeling of dynamic processes of water supply and power consumption based on their probabilistic and statistical characteristics.

УДК 631.62(043.5)

**Рокочинский А.Н., Коптюк Р.Н., Волк П.П., Мешик О.П., Васильев С.В.**

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДРЕНАЖА И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ ПРИ ГЛУБОКОМ РЫХЛЕНИИ ПОЧВЫ

**Введение.** Одной из проблем земледелия на мелиорированных землях является обеспечение высокопродуктивного использования почв среднего и тяжелого гранулометрического состава. Неблагоприятные водно-физические свойства почв приводят к быстрому переувлажнению пахотных горизонтов и застою воды на поверхности в периоды выпадения атмосферных осадков. При дальнейшем высыхании на поверхности образуется почвенная корка, существенно снижающая аэрацию, появляются трещины, достигающие метровой глубины и повреждающие корневую систему [1].

Так, в структуре земельного фонда Волынского Полесья преобладают дерново-подзолистые почвы, подпахотные горизонты которых значительно уплотнены, что негативно влияет на их влагообеспеченность и, соответственно, плодородие. Также необходимо отметить неоднозначное влияние осушения на почвенные процессы, при мелиоративном освоении и использовании почв рекомендуется одновременно с устройством дренажа проводить ряд агро-мелиоративных мероприятий, направленных на увеличение аккумуляционной способности активного слоя почвы, улучшение поверхностного и внутрипочвенного стока, обогащение почвы питательными элементами.

Отсюда, по аналогии с [2], вытекают следующие пути улучшения

работы дренажных систем в слабопроницаемых почвах:

- проведение агро-мелиоративных мероприятий, усиливающих приток воды к дрене из подпахотных горизонтов;
- оструктурирование подпахотного горизонта, что позволяет создавать окультуренный, хорошо фильтрующий пахотный слой мощностью до 0,4 м;
- улучшение водопроницаемости траншейной засыпки;
- планировка поверхности, что позволяет улучшить условия отвода и ускорить поверхностный сток.

Наиболее эффективным из таких мероприятий для дерново-подзолистых почв является их глубокое рыхление.

**Глубокое рыхление, выполненное в оптимальные сроки с соблюдением всех нормативных требований [3, 4],** улучшает водно-воздушный режим, условия питания и развития растений и соответственно повышает производительность мелиорированных земель. При этом повышается эффективность работы закрытого систематического дренажа и появляется возможность для увеличения расстояния между дренами, что, в свою очередь, позволяет уменьшить удельные капиталовложения в проектах строительства и реконструкции

**Рокочинский Анатолий Николаевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой природообустройства и гидромелиораций Национального университета водного хозяйства и природопользования.

**Коптюк Роман Николаевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры природообустройства и гидромелиораций Национального университета водного хозяйства и природопользования.

**Волк Павел Павлович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры природообустройства и гидромелиораций Национального университета водного хозяйства и природопользования.

Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, 11.

**Васильев Сергей Васильевич**, начальник Ровенского областного управления водных ресурсов.

Украина, 33013, г. Ровно, ул. Кавказская, 7.