

УДК 502/504:631.674:004.5

С.А. АНДРЕЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

**ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ
УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВОМ**

Тщательное соблюдение агротехнических требований к влажности почвы является залогом высокой эффективности растениеводства. Поскольку влажность почвы зависит от вида растений, от периода вегетации и от многочисленных погодных факторов, важное значение приобретает управление поливом. Распространенные способы управления искусственным увлажнением почвы не обеспечивают необходимой точности соблюдения агротехнических требований, характеризуются высокой инерционностью и не учитывают возмущающие воздействия: температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, а также прогноз выпадения осадков. Новый способ управления поливом, заключается в сочетании разомкнутого и замкнутого принципов формирования управляющего воздействия с одновременным учетом величин рассогласований и возмущающих факторов. Предлагаемый способ предусматривает корректировку управления по получаемому прогнозу выпадения осадков. Для реализации разработанного способа предложена система автоматического управления, представленная функциональной схемой. Система содержит объект управления (орошаемый участок почвы), регулирующий орган (оросительное оборудование), электронный регулятор с решающим блоком, блок задания агротехнических требований, пять датчиков возмущающих воздействий, один датчик состояния управляемой величины (датчик влажности почвы), сумматоры и приемный блок. Рассмотрен алгоритм функционирования системы автоматического управления поливом и приведены основные математические выражения, определяющие взаимодействие ее отдельных элементов. Способ управления поливом, осуществляемый разработанной системой, характеризуется высокой точностью, быстродействием и позволяет избежать неоправданного перерасхода воды, энергии и износа оросительного оборудования.

Управление поливом, агротехнические требования, длительность включения оросительного оборудования, температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, прогноз выпадения осадков.

Введение. Соблюдение водного режима развития растений является необходимым условием эффективного земледелия [1]. Поскольку влажность почвы зависит от вида растений, от периода вегетации и от многочисленных погодных факторов, важное значение приобретает управление поливом. К сожалению, современные способы управления искусственным увлажнением почвы не обеспечивают необходимой точности соблюдения агротехнических требований, характеризуются высокой инерционностью и не учитывают комплексного влияния возмущающих воздействий: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости ветра, а также прогноза выпадения осадков [2,3]. Более того, существующие способы управления поливом являются недостаточно гибкими и реализуются либо в функции времени, либо при непосредственном участии оператора [4].

Целью настоящей работы является определение сущности и последовательности выполнения ряда измерительных операций, а также алгоритма обработки полученной информации и формирования управляющего воздействия, обеспечивающего высокую точность полива при существенном сбережении энергии и ресурсов.

Результаты и обсуждения. На сегодняшний день широко распространен способ автоматического управления капельным поливом, который включает измерение влажности почвы на контрольном участке, принятие решения о назначении и окончании полива при достижении влажности почвы нижней или верхней границ и последующий полив участков в соответствии с поливной нормой [5]. Недостатком этого способа является невысокое качество управления вследствие отсутствия учета зависимости интен-

сивности испарения влаги из почвы от температуры и влажности воздуха, атмосферного давления и скорости ветра. При реализации описываемого способа влажность почвы на контрольном участке может оказаться ниже нижней границы, в то время как пониженная температура воздуха или повышенная его влажность, повышенное атмосферное давление или отсутствие ветра существенно сдерживают испарение влаги. Тем не менее, в соответствии с известным способом полив будет назначен и осуществлен в соответствии с поливной нормой. В результате почва окажется переувлажненной.

Возможна и обратная ситуация. Например, влажность почвы на контрольном участке будет выше верхней границы, а температура воздуха при этом – повышенной или его влажность – пониженной, атмосферное давление – пониженным при сильном ветре. В соответствии с известным способом превышение влажности почвы на контрольном участке значения верхней границы определит окончание полива, но повышенная температура воздуха, его пониженная влажность, пониженное атмосферное давление и сильный ветер интенсифицируют испарение влаги. В итоге почва окажется обезвоженной.

Интересен еще один способ управления автоматизированной системой полива [6], включающий измерения влажности почвы, а также наличия и интенсивность осадков, по результатам которых осуществляют включение и отключение оросительного оборудования. Основным недостатком этого способа можно считать низкое качество управления, допускающее, с одной стороны, переувлажнение почвы или перерасход воды и перерасход энергии на ее подачу, а, с другой, – обезвоживание почвы. Отклонение влажности почвы на недопустимую величину при реализации известного способа объясняется тем, что этот способ не предусматривает учет следующих факторов:

- температуры воздуха;
- влажности воздуха;
- атмосферного давления;
- наличия и скорости ветра;
- информации метеорологических служб

о прогнозе выпадения осадков в установленное время.

Температура воздуха, влажность воздуха, атмосферное давление, наличие и скорость ветра влияют на интенсивность испарения влаги. При выращивании растений

может оказаться, что влажность почвы достигла минимально допустимого значения, но из-за низкой температуры воздуха, его высокой влажности, высокого атмосферного давления или отсутствия ветра испарение влаги из почвы будет происходить крайне медленно. При этом оросительное оборудование можно либо не включать, либо подключить с некоторой выдержкой времени, рассчитывая на изменение погоды. В противном случае, может произойти переувлажнение почвы или перерасход энергии, затраченной на обеспечение работы оросительного оборудования. Аналогично при достижении влажности почвы верхнего допустимого значения немедленное отключение оросительного оборудования, сопровождающееся повышенной температурой воздуха, его пониженной влажностью, низким атмосферным давлением и сильным ветром, испарение влаги из почвы окажется интенсивным и почва будет обезвоживаться. Поэтому оросительное оборудование должно еще некоторое время оставаться во включенном состоянии.

Отсутствие учета информации метеорологических (синоптических) служб также может привести к переувлажнению почвы и к повышенному расходу энергии. Например, при достижении влажности почвы нижнего допустимого значения известный способ предполагает включение оросительного оборудования. Однако может оказаться, что в это время к местности выращивания растений приближается сильный ливень. Включение оросительного оборудования в этом случае неоправданно, так как через некоторое время влажность почвы может стать недопустимо высокой. Кроме того, включение оросительного оборудования обусловит перерасход энергии, воды и дополнительный износ движущихся частей, а также коррозию металлических элементов конструкции.

Испарение влаги из почвы представляет собой процесс перехода воды в газообразное состояние – в пар, не сопровождающийся разложением молекул на составляющие их атомы. Испарение состоит в отделении частиц от свободной поверхности почвы в окружающую среду. Это явление становится сильнее с повышением температуры. Повышение температуры воздуха двояко влияет на изменение скорости испарения. Во-первых, повышенная температура увеличивает упругость водяного пара и, во-вторых, облегчает его диффузию. Упругость пара над влажной почвой противодействует стремле-

нию частиц влаги отделиться от ее поверхности. Теоретически, при насыщении воздуха над почвой водяным паром испарение должно прекратиться. Однако, вследствие нахождения почвы в открытом пространстве, насыщения не происходит. Поэтому можно заключить, что осушение почвы практически не увеличивает влажность среды. Испарение не прекращается, так как пар из надпочвенного слоя диффундирует в более отдаленное пространство или уносится течением воздуха. Таким образом, фактически остается только одностороннее влияние температуры воздуха: при увеличении температуры воздуха над почвой изменяется коэффициент диффузии пара, что приводит к повышению интенсивности испарения воды.

Примером могут служить данные по зависимости продуктивной почвенной влаги в метровом слое при выращивании пшеницы в период от входа в трубку до восковой спелости от температуры и интенсивности осадков [7]:

$$\Delta W = -0,36T + 0,46m - 0,03W + 5,9$$

для Заволжья

$$\Delta W = -0,26T + 0,60m - 0,46W + 4,0$$

для Кулундинской степи,

где ΔW – изменение запасов воды, мм/сутки;
 T – среднесуточная температура воздуха, град С;
 m – количество осадков, мм/сутки
 W – начальное количество влаги в почве, мм.

Влажность воздуха, находящегося над почвой, тоже влияет на скорость испарения влаги. В условиях сухого воздуха влажностный напор со стороны осушаемой почвы возрастает, и скорость испарения увеличивается. И, напротив, при высокой влажности воздуха процесс осушения почвы замедляется.

Известно, что атмосферное давление также существенно влияет на интенсивность осушения почвы. Так, в соответствии с формулой Дальтона [8], количество испарившейся за единицу времени влаги P может быть рассчитано по формуле:

$$P = \frac{A \cdot S \cdot (F - f)}{H},$$

где A – коэффициент, учитывающий природу жидкости, г м²/с;
 S – поверхность почвы, взаимодействующая с воздухом, м²;
 F – предельная упругость водяного пара, мм рт.ст.;
 f – фактическая упругость водяного пара, мм рт.ст.;
 H – атмосферное давление, мм рт.ст.

Увеличение количества испарившейся влаги при уменьшении атмосферного давления объясняется облегчением условий отрыва молекул воды и перехода их в газообразное состояние. Одновременно на скорость испарения влаги оказывает влияние и скорость течения воздуха (в естественных условиях – ветра). Эта зависимость описывается формулой Де Гина [9]:

$$v = \frac{A \cdot (F - 0,88f)}{u},$$

где u – скорость течения воздуха.

Известно, что даже непродолжительное отклонение содержания влаги в почве негативно сказывается на эффективности выращивания сельскохозяйственных растений [10]. Вместе с тем инерционность зависимости влажности почвы от внешних воздействий делает низкоэффективным управление поливом в функции влажности или выпадения осадков, как требует известный способ. Поэтому помимо управления поливом по отклонению влажности почвы от заданного значения или по факту выпадения осадков необходимо вести упреждающее управление по внешним воздействиям. Из вышеприведенной информации следует, что такими воздействиями в первую очередь являются температура воздуха, влажность воздуха, скорость ветра и атмосферное давление. Помимо учета внешних возмущающих факторов процесс полива должен быть скорректирован при получении информации об ожидаемых осадках.

Таким образом, для повышения эффективности полива известный способ управления следует дополнить измерением температуры, влажности воздуха, атмосферного давления и скорости ветра, а также получением информации о прогнозе выпадения осадков [11]. При этом периодичность и интенсивность полива должны определяться агротехническими требованиями, а его длительность – значениями влажности почвы, интенсивности осадков, температуры и влажности воздуха, а также атмосферного давления, скорости ветра и прогнозом выпадения осадков. Длительность полива необходимо увеличивать при положительных разностях между заданными и фактическими значениями влажности почвы, интенсивности осадков, влажности воздуха и атмосферного давления и уменьшать при положительных раз-

ностях между заданными и фактическими значениями температуры воздуха и скорости ветра [12]. Кроме того, длительность полива следует уменьшать при положительном прогнозе выпадения осадков в установленное время.

Словесное описание алгоритма управления поливом можно представить следующим образом.

После измерения влажности y_0 почвы, интенсивности f_1 осадков, температуры f_2 и влажности f_3 воздуха, атмосферного давления f_4 и скорости f_5 ветра определяют разность между заданным значением влажности g_0 почвы и его фактическим (измеренным) значением y_0 . Аналогично рассчитывают разности между заданными значениями интенсивности g_1 осадков, температуры g_2 , воздуха, его влажности g_3 , атмосферного давления g_4 , скорости g_5 ветра и их фактическими (измеренными) значениями: f_1, f_2, f_3, f_4 и f_5 соответственно. Эти разности представляют собой значения отклонений:

$$\varepsilon_0 = g_0 - y_0,$$

$$\varepsilon_1 = g_1 - f_1,$$

$$\varepsilon_2 = g_2 - f_2,$$

$$\varepsilon_3 = g_3 - f_3,$$

$$\varepsilon_4 = g_4 - f_4,$$

$$\varepsilon_5 = g_5 - f_5.$$

Принципиальным отличием разности ε_0 от всех остальных ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ и ε_5) является то, что она характеризует отклонение управляемой величины. В то же время остальные разности свидетельствуют об отклонении возмущающих факторов [13].

Полученные значения разностей соответственно умножают на коэффициенты k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 и k_5 , учитывающие значимость каждого из факторов.

Длительность полива t определяют в соответствии с выражением:

$$t = \varepsilon_0 \cdot k_0 + \varepsilon_1 \cdot k_1 - \varepsilon_2 \cdot k_2 + \varepsilon_3 \cdot k_3 + \varepsilon_4 \cdot k_4 - \varepsilon_5 \cdot k_5$$

и получении положительного прогноза выпадения осадков в установленное время полив растений отменяется и оросительное оборудование не включается независимо от прочих условий.

Реализация предложенного способа управления поливом может осуществляться с помощью автоматической системы, функциональная схема которой представлена на рисунке 1.

Орошаемый участок почвы представляет собой объект 1 управления, характеризующийся влажностью (управляемой величиной y_0). На управляемую величину y_0 оказывают влияние несколько природных факторов, являющихся по отношению к объекту 1 управления возмущающими воздействиями: f_1, f_2, f_3, f_4 и f_5 . Этими возмущающими воздействиями являются: f_1 – интенсивность осадков, f_2 – температура воздуха, f_3 – влажность воздуха, f_4 – атмосферное давление, f_5 – скорость ветра.

Полив осуществляется посредством работы регулирующего органа 2, представляющего собой оросительное оборудование. Включение и выключение регулирующего органа 2 осуществляется регулятором 3, в качестве которого может быть использован простой электронный процессор.

Учет вида растений, периода вегетации, способа выращивания, климатических, погодных и почвенных условий в соответствии с агротехническими требованиями производится в блоке 4 задания, на выходе которого формируется задающее воздействие g_0 . Это задающее воздействие определяет величину требуемой влажности почвы (объекта 1 управления).

Фактическое значение влажности почвы y измеряется воспринимающим элементом 5, представляющим собой датчик влажности. Электрический сигнал, соответствующий измеренной влажности, поступает на отрицательный вход сумматора 6. На положительный вход сумматора 6 подается задающее воздействие g_0 с блока 4 задания. В сумматоре 6 производится операция сравнения входных сигналов посредством вычисления разности:

$$\varepsilon_0 = g_0 - y_0,$$

Наличие сигнала ε_0 отклонения (расхождений) свидетельствует об отклонении фактической влажности почвы от заданного значения. При этом отрицательное значение ε_0 соответствует о недоувлажнении почвы, а положительное – о переувлажнении. При превышении величины отклонения ε_0 порога чувствительности регулятора 3 происходит срабатывание последнего и корректировка длительности полива. Регулирую-

щий орган 2 (оросительное оборудование) включается на установленную длительность и воздействует на объект 1 управле-

ния посредством подачи требуемого количества воды, обозначенного на схеме управляющим воздействием u .

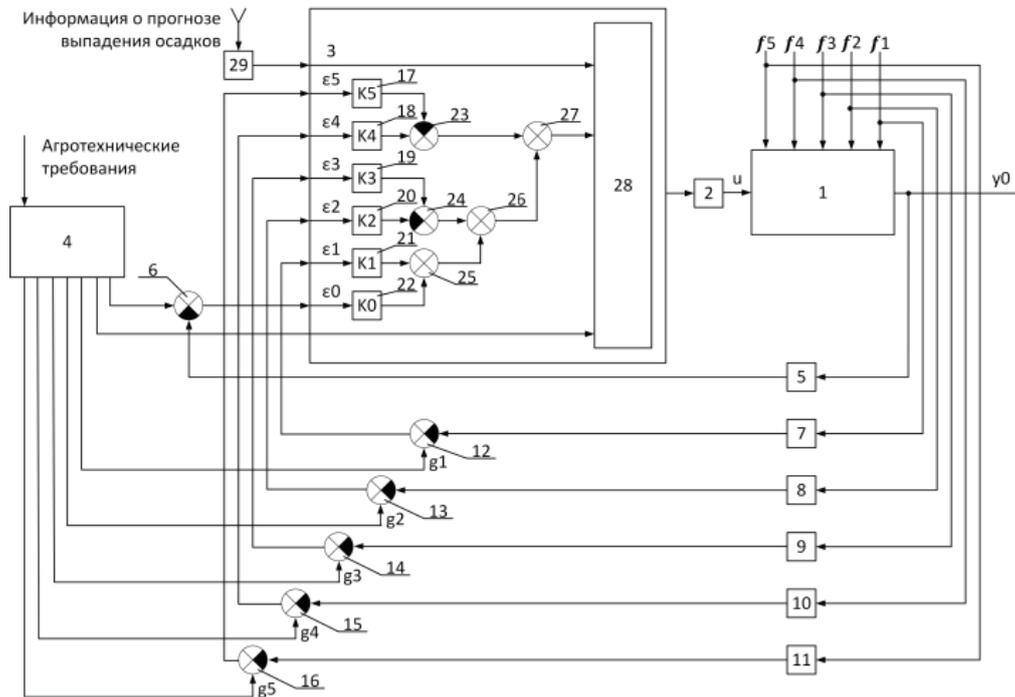


Рис. 1. Функциональная схема системы управления поливом

Рассмотренный контур автоматического управления реализует принцип «по отклонению». Этот принцип в основном обеспечивает требуемую влажность почвы, однако обладает двумя недостатками:

- для осуществления управления необходимо хотя бы кратковременное наличие сигнала отклонения ε_0 , свидетельствующего о неравенстве управляемой величины y_0 заданному значению g_0 , что не всегда допустимо;

- вследствие относительно высокой инерционности отдельных элементов контура длительность переувлажнения или недоувлажнения почвы может превысить величину, установленную агротехническими требованиями.

Для исключения этих недостатков в систему автоматического управления введены пять контуров, реализующих принцип «по возмущению». Первый контур предусматривает формирование управляющего воздействия по величине интенсивности f_1 осадков, второй – по температуре f_2 воздуха, третий – по влажности f_3 воздуха, четвертый – по атмосферному давлению f_4 и пятый – по скорости f_5 ветра. Принцип «по возмущению» позволяет осуществить упреждающее изменение управляющего

воздействия u не допустить существенного отклонения влажности почвы y_0 . В то же время ограничиваться только этими пятью контурами было бы неправильно вследствие повышения риска неучтенного влияния каких-то других внешних факторов, влияющих на влажность почвы. Кроме того, из-за усложнения системы увеличивается вероятность выхода ее из строя. Поэтому в системе автоматического управления поливом предложено использовать комбинированный принцип, при котором формирование управляющего воздействия «по отклонению» и «по возмущению» реализуются одновременно. При этом в обычном режиме управление осуществляется «по возмущению», а при аварийной ситуации – «по отклонению». Таким образом, контур управления «по отклонению» предотвратит возможные ложные срабатывания контуров «по возмущению» и исключит выход управляемой величины y_0 (влажности почвы) за установленные пределы.

В контуры, реализующие принцип управления «по возмущению», входят: воспринимающие элементы 7, 8, 9, 10 и 11, являющиеся датчиками интенсивности f_1 осадков, температуры f_2 воздуха, влажности f_3 воздуха, атмосферного давления f_4

и скорости f_5 ветра, соответственно, а также сумматоры 12, 13, 14, 15 и 16. При этом выходы воспринимающих элементов 7, 8, 9, 10 и 11 подключены к отрицательным входам сумматоров 12, 13, 14, 15 и 16, а к положительным входам сумматоров 12, 13, 14, 15 и 16 подводятся задающие воздействия g_1 , g_2 , g_3 , g_4 , и g_5 , сформированные блоком 4 задания.

Сумматоры 12, 13, 14, 15 и 16 формируют сигналы рассогласования возмущающих воздействий в соответствии с условиями:

$$\varepsilon_1 = g_1 - f_1,$$

$$\varepsilon_2 = g_2 - f_2,$$

$$\varepsilon_3 = g_3 - f_3,$$

$$\varepsilon_4 = g_4 - f_4,$$

$$\varepsilon_5 = g_5 - f_5.$$

Значения ε_1 , ε_2 , ε_3 , ε_4 и ε_5 подаются на вход регулятора 3, в котором производится вычисление длительности полива в соответствии с выражением

$$t = \varepsilon_0 \cdot k_0 + \varepsilon_1 \cdot k_1 - \varepsilon_2 \cdot k_2 + \varepsilon_3 \cdot k_3 + \varepsilon_4 \cdot k_4 - \varepsilon_5 \cdot k_5$$

В состав регулятора 3 входят усилители 17, 18, 19, 20, 21 и 22, сумматоры 23, 24, 25, 26 и 27, а также решающий блок 23.

Значимость отклонений каждого фактора характеризуется значением коэффициентов k_0 , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , и k_5 , которые определяются оператором и задаются в виде коэффициентов передачи в блоках усилителей 17, 18, 19, 20, 21 и 22. Операция суммирования полученных произведений $(\varepsilon_0 \cdot k_0)$, $(\varepsilon_1 \cdot k_1)$, $(\varepsilon_2 \cdot k_2)$, $(\varepsilon_3 \cdot k_3)$, $(\varepsilon_4 \cdot k_4)$ и $(\varepsilon_5 \cdot k_5)$ с учетом их знаков выполняется с помощью сумматоров 23, 24, 25, 26 и 27. Полученная сумма с выхода сумматора 27 поступает на вход решающего блока 28, который формирует длительность включения регулирующего органа 2.

Агротехнические требования, определяющие периодичность и интенсивность полива, вводятся оператором в блок 4 задания, который формирует соответствующий сигнал и подает его непосредственно на вход решающего блока 28 регулятора 3.

Получение прогноза выпадения осадков в установленное время может производиться по линиям связи от соответствующих метеорологических служб, по каналам Интернет со специализированных порталов,

а также от локальных метеорологических станций в непрерывном или периодическом режиме. Эта информация принимается приемным блоком 29 и также подается к решающему блоку 28 регулятора 3. В случае получения положительного прогноза о выпадении осадков полив отменяется и регулирующей орган 2 не включается или отключается.

Таким образом, новый способ управления поливом предусматривает:

1. программное управление периодичностью и интенсивностью работы оросительного оборудования, позволяющее в основном соблюсти агротехнические требования.

2. управление длительностью включения оросительного оборудования по результатам оценки отклонений возмущающих воздействий (интенсивности осадков, температуры воздуха, влажности воздуха, атмосферного давления и скорости ветра), от их заданных значений, обеспечивающих повышенное качество полива за счет увеличения быстродействия.

3. управление длительностью включения оросительного оборудования по величине отклонения фактической влажности почвы от заданного значения, позволяющее избежать ложных срабатываний системы и не допускающее выхода значения влажности почвы за установленные пределы.

4. корректировку режима полива растений при получении положительного прогноза о выпадении осадков в установленное время, позволяющее избежать перерасхода энергии, воды и неоправданного износа оросительного оборудования, а также исключить переувлажнение почвы.

Выводы

Техническим результатом осуществления разработанного способа управления является повышение качества полива, проявляющееся в более точном соблюдении агротехнических требований, увеличении быстродействия возвращения влажности почвы к заданному значению при воздействии температуры воздуха, его влажности, а также атмосферного давления и скорости ветра, при снижении риска переувлажнения почвы в результате воздействия осадков. Кроме того, реализация разработанного способа позволяет избежать перерасхода энергии и воды, а также исключить неоправданный износ оросительного оборудования.

Библиографический список

1. Ерхов Н.С., Ильин Н.И., Миснев В.С. Мелиорация земель. 2 изд., перераб и доп. М.: Агропромиздат, 1991. 319 с.

2. Иванов В.Д., Кузнецова Е.В. Мелиоративное почвоведение: учебное пособие. Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2006. 255 с.

3. Черемесинов А.Ю., Бурлакин С.И. Сельскохозяйственная мелиорация: учебное пособие. Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2004. 247 с.

4. Коваленко П.И. Автоматизация мелиоративных систем. – М.: Колос, 1983. – 304 с.

5. Патент № 2216930 Российская Федерация МПК А 01 G 25/16 (2000.01), А 01 G 9/00 (2000.01), А 01 G 9/02 (2000.01) Способ автоматического управления капельным поливом в теплице и устройство для его осуществления / Егоров Ю.В., Литвинов С.С., Галицкий В.И., Нурметов Р.Д. – 2001135084/13; заявл. 26.12.2001; опубл. 27.11.2003. Бюл.№ 33.

6. Авторское свидетельство № 1319803 СССР МПК А 01 G 25/16, А 01 G 27/00 Способ управления и контроля автоматизированной системой полива /Чефонов Н.Г., Коршунов В.И., Чефопова Т.А. – 3907113/30-15; заявл. 05.06.1985; опубл. 30.06.1987. Бюл.№ 24.

7. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. 230 с.

8. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 569 с.

9. Химический энциклопедический словарь. / Гл. ред. И.Л. Кнунянц. М.: Советская энциклопедия, 1982. 792 с.

10. Кузнецова Е.И., Закабунина Е.Н., Спинич Ю.Ф. Орошаемое земледелие: учебник. М.: ФГБОУ ВПО РНАЗУ, 2012. 117 с.

11. Патент № 2622695 Российская Федерация МПК А 01 G 25/16 Способ управления поливом / Андреев С.А., Судник Ю.А., Матвеев А.И. – 2016100223; заявл. 11.01.2016; опубл. 19.06.2017 Бюл.№ 17.

12. Кузьмин А.В., Схиртладзе А.Г. Теория систем автоматического управления: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2017. 224 с.

13. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления. М.: КолосС, 2005. 351 с.

Материал поступил в редакцию 13.06.2017 г.

Сведения об авторе

Андреев Сергей Андреевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязева, д. 49; e-mail: asa-finance@yandex.ru

S.A. ANDREEV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

ENERGY-RESOURCE SAVING METHOD OF IRRIGATION CONTROL

Careful observance of agro technical requirements to the soil moisture is the guarantee of a high efficiency of plant growing. Since the soil moisture depends on the type of plants, vegetative period and numerous weather factors irrigation management is important. The widespread methods of controlling artificial soil moisture do not provide the necessary accuracy of compliance with agro technical requirements, are characterized by a high inertia and do not take into account disturbing effects: air temperature and humidity, atmospheric pressure, wind speed, and precipitation forecast. The article describes a new method of irrigation management consisting of a combination of open and closed principles for the formation of a control action with simultaneous consideration of the values of mismatches and disturbing factors. In addition, the proposed method provides correction of the management of the received precipitation forecast. To implement the developed method there is proposed an automatic control system represented by a functional diagram. The system contains a control object (irrigated area of the soil), a regulating organ (irrigation equipment), an electronic regulator with a resolver, a set of agro technical requirements, five disturbance sensors, one controlled-state sensor (soil moisture sensor), adders and a receiving module. The algorithm for the automatic control system for irrigation is considered and the main mathematical expressions determining the interaction of its individual elements are given. The method of irrigation control implemented by the developed system is

characterized by a high accuracy, speed and allows avoiding unreasonable over-consumption of water, energy and wear of irrigation equipment.

Irrigation management, agro technical requirements, duration of irrigation equipment operation, air temperature and humidity, atmospheric pressure, wind speed, precipitation forecast.

References

1. **Erkhov N.S., Ilyin N.I., Misenev V.S.** Melioratsiya zemel. 2 izd. 2-e., pererab i dop. M.: Agropromizdat, 1991. 319 s.
2. **Ivanov V.D., Kuznetsova E.V.** Meliorativnoe pochvovedenie: uchebnoe posobie. Voronezh.: FGOU VPO VGAV, 2006. 255 s.
3. **Cheremisinov A.Yu., Burlakin S.I.** Sel'skokozyajstvennaya melioratsiya: uchebnoe posobie. Voronezh: FGOU VPO, 2004. 247 s.
4. **Kovalenko P.I.** Avtomatizatsiya meliorativnyh system. – M.: Kolos, 1983. – 304 s.
5. Patent № 2216930 Rossijskaya Federatsiya MPK A 01 G 25/16 (2000.01), A 01 G 9/00 (2000.01), A 01 G 9/02 (2000.01) Sposob avtomaticheskogo upravleniya kapel'nym polivom v teplitse I ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / Egorov Yu.V., Litvinov S.S., Galitsky V.I., Nurmetov R.D. – 2001135084/13; zayavl. 26.12.2001; opubl. 27.11.2003. Byul.№ 33.
6. Avtorskoe svidetel'stvo № 1319803 SSSR MPK A 01 G 25/16, A 01 G 27/00 Sposob upravleniya i kontrolya avtomatizirovannoj sistemoj poliva /Chefonov N. G., Korshunov V.I., Chefonova T.A. – 3907113/30-15; zayavl. 05.06.1985; opubl. 30.06.1987. Byul.№ 24.
7. **Shuljgin A.M.** Klimat pochvy i ego regulirovanie. L.: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1967. 230 s.
8. **Khromov S.P., Mamontova L.I.** Meteorologicheskij slovarj. L.: Gidrometeoizdat, 1974.569 s.
9. Himichesky entsiklopedichesky slovarj. / Gl. red. I.L. Knunyants. M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1982. 792 s.
10. **Kuznertsova E.И., Zakabunina E.N., Spinich Yu.F.** Oroshaemoe zemledelie: ucheb- nik. M.: FGBOU VPO RNAZU, 2012.117 s.
11. Patent № 2622695 Rossijskaya Federatsiya MPK A 01 G 25/16 Sposob upravleniya polivom / Andreev S.A., Sudnik Yu.A., Matveev A.I. – 2016100223; zayavl. 11.01.2016; opubl. 19.06.2017 Byul.№ 17.
12. **Kuzjmin A.V., Skhirtladze A.G.** Teoriya system avtomaticheskogo upravleniya: ucheb- nik. Stary Oskol: TNT, 2017. 224 s.
13. **Borodin I.F., Andreev S.A.** Avtomatizatsiya tehnologicheskikh protsessov i sistemy avtomaticheskogo upravleniya. M.: KoloS, 2005. 351 s.

The material was received at the editorial office
13.06.2017

Information about the author

Andreev Sergej Andreevich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the chair of automation and robotization of technological processes named after the academician I.F. Borodin, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timitryazeva, d.49; e-mail: asa-finance@yandex.ru