

УДК 626.845

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

А.П.Лихацевич, доктор технических наук
РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: режим орошения, водный режим почвы, норма полива, поливной цикл, межполивной интервал

Введение

Расчет режима орошения базируется на основе расчета водного баланса почвы в конкретных почвенно-климатических условиях. На этапе проектирования воднобалансовые расчеты выполняются, как правило, для так называемых типовых лет с фиксированными значениями элементов водного баланса. Очевидно, что при этом моделируется некий абстрактный сценарий водного режима почвы, позволяющий рассчитать параметры проектного режима орошения.

Согласно общепринятому подходу, обоснованному еще А.Н. Костяковым, при расчете проектного режима орошения поливы должны быть так установлены по величине и распределены по времени, чтобы влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы на орошаемой площади поддерживались в диапазоне между верхним и нижним пределами регулирования. Отсюда следует, что можно доводить величину поливной нормы до объема воды, удерживаемого почвой при насыщении от нижнего до верхнего пределов регулирования, только тогда когда на полив площади затрачивается не более одних суток. В противном случае в последующие сутки на неполивной части площади, подлежащей орошению, влагозапасы за счет эвапотранспирации сработаются ниже заданной минимальной границы.

Если же требуемый водный режим необходимо поддерживать на значительной площади, продолжительность орошения которой превышает одни сутки, полив для достижения поставленной цели следует начинать при влажности большей, чем установленный нижний предел регулирования почвенных влагозапасов. Обоснованию такого режима орошения и посвящена данная статья.

Результаты исследований

Для определения параметров полива можно применить графическое моделирование, которое при расчете режима орошения производственной площади впервые использовал украинский ученый Остапчик В.П. [1] (см. схемы). В основе моделирования лежит понятие «модульный участок». Модульным называется участок, продолжительность орошения которого с учетом холостых перебазирок и простоев оросительной техники и оборудования не превышает одних суток. Стационарные опыты по орошению обычно проводятся с использованием модульных участков.

При моделировании предполагается, что в начальный момент времени почвенные влагозапасы находятся на уровне верхнего предела регулирования, в качестве которого служит наименьшая влагоемкость (начальное условие). В простейшем случае, который рассматривается нами, предполагается, что снижение (сработка) почвенных влагозапасов происходит равномерно по линейному закону с заданной (расчетной) величиной водопотребления орошаемой культуры.

Продолжительность сработки влагозапасов на модульном участке от верхнего до нижнего предела регулирования при расчетной интенсивности водопотребления соответствует продолжительности расчетного (минимального) межполивного интервала, а диапазон сработки равен расчетной поливной норме, что может быть представлено уравнением

$$\Delta W_0 = W_{НВ_0} - W_{ПП_0} = \varepsilon_p T_o = m_o \quad (1)$$

где ΔW_0 – диапазон сработки почвенных влагозапасов на модульном участке в течение расчетного (минимального) межполивного интервала; $W_{НВ_0}$, $W_{ПП_0}$ – соответственно верхний (наименьшая влагоемкость) и нижний (предполивной) пределы регулирования почвенных влагозапасов на модульном участке; ε – расчетная интенсивность сработки почвенных влагозапасов (среднесуточная эвапотранспирация); T_o – продолжительность расчетного (минимального) межполивного интервала для модульного участка; m_o – норма полива (нетто) модульного участка.

Отметим, что в уравнении (1) формализовано необходимое условие подобия режимов орошения: *режимы орошения подобны тогда и только тогда, когда подобны создаваемые с их помощью водные режимы почв*. Поэтому для того, чтобы уравнивать режимы орошения на модульном участке и на орошаемой производственной площади, следует определить условия подобия водных режимов почв на этих участках.

Ранее нами были установлены показатели подобия водных режимов почв: атмосферного увлажнения сельскохозяйственных земель (критерий зональности), почвенного увлажнения (критерий почвенной влагообеспеченности или влагоемкости почвы), внутрипочвенного влагообмена и поверхностного стока [2,3]. Для упрощения задачи введем граничные условия: ограничим анализ водных режимов почв модульного участка и производственной площади одним регионом, одним типом почв, идентичными условиями образования поверхностного стока и внутрипочвенного влагообмена, т.е. рассматриваем факторы формирования водного режима почвы в одних погодно-климатических, почвенно-гидрологических и морфологических условиях. При таких граничных условиях на модульном участке и производственной площади различаются только показатели почвенного увлажнения, а численные значения показателей атмосферного увлажнения, поверхностного стока и внутрипочвенного влагообмена совпадают. Следовательно, условие динамического подобия водных режимов почв модульного участка и производственной площади, в соответствии с установленным условием подобия водных режимов, можно выразить в виде равенства [3]:

$$\lambda_{wo} = \lambda_w \quad (2)$$

где λ_{wo} , λ_w – показатели почвенного увлажнения для модульного участка (модели) и производственной площади (натуры), соответственно.

В качестве показателя почвенного увлажнения на модульном участке будет отношение [2,3]

$$\lambda_{wo} = \frac{\Delta W_o}{E_o} \quad (3)$$

где E_o – испаряемость за расчетный период (за расчетный межполивной интервал).

Испаряемость за расчетный период

$$E_o = \varepsilon_o T_o, \quad (4)$$

где ε_o – средняя за расчетный период интенсивность испаряемости (среднесуточная испаряемость).

В соответствии с (1), (3) и (4) для модульного участка

$$\lambda_{wo} = \frac{\Delta W_o}{\varepsilon_o T_o} = \frac{m_o}{\varepsilon_o T_o} \quad (5)$$

Аналогично для производственной площади, для которой расчетным периодом будет являться продолжительность поливного цикла,

$$\lambda_w = \frac{\Delta W}{\varepsilon_o T} = \frac{m}{\varepsilon_o T} \quad (6)$$

где m , T – соответственно, норма полива и продолжительность расчетного поливного цикла для производственной площади.

Согласно условию (2), уравнием значения показателей почвенного увлажнения для модульного участка (5) и производственной площади (6)

$$\frac{m}{\varepsilon_o T} = \frac{m_o}{\varepsilon_o T_o}$$

В результате приходим к расчетному соотношению

$$\frac{m}{m_o} = \frac{T}{T_o} \quad (7)$$

Из (7) следует, что подобие проектных режимов орошения для производственной площади и модульного участка в одних погодных-климатических, морфологических и почвенно-гидрологических условиях будет иметь место при равенстве соотношений их поливных норм и продолжительностей поливного цикла и межполивного интервала. Уравнение (7) является основополагающим при согласовании проектных режимов орошения модульного участка и производственной площади.

Согласно (1), величина поливной нормы для модульного участка

$$\varepsilon_p T_o = m_o \quad (8)$$

Перепишем последнее равенство как

$$m_o = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_o} \varepsilon_o T_o \quad (9)$$

Из (8) получаем

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_o} = \frac{m_o}{\varepsilon_o T_o} \quad (10)$$

Аналогичное соотношение можно получить и для производственной площади. Таким образом, согласно (5), (6) и (10), в обозначенных выше начальных и граничных условиях показатели почвенного увлажнения (5) и (6) численно равны обобщающему комплексному показателю влагообеспеченности растений (λ)

$$\lambda = \varepsilon_p / \varepsilon_o.$$

Следовательно, для наиболее общего случая условие подобия водных режимов почв (например, для 1 и 2-го участков) может быть представлено в виде равенства:

$$\lambda_{E1} = \lambda_{E2} \quad \text{или} \quad \lambda_E = idem.$$

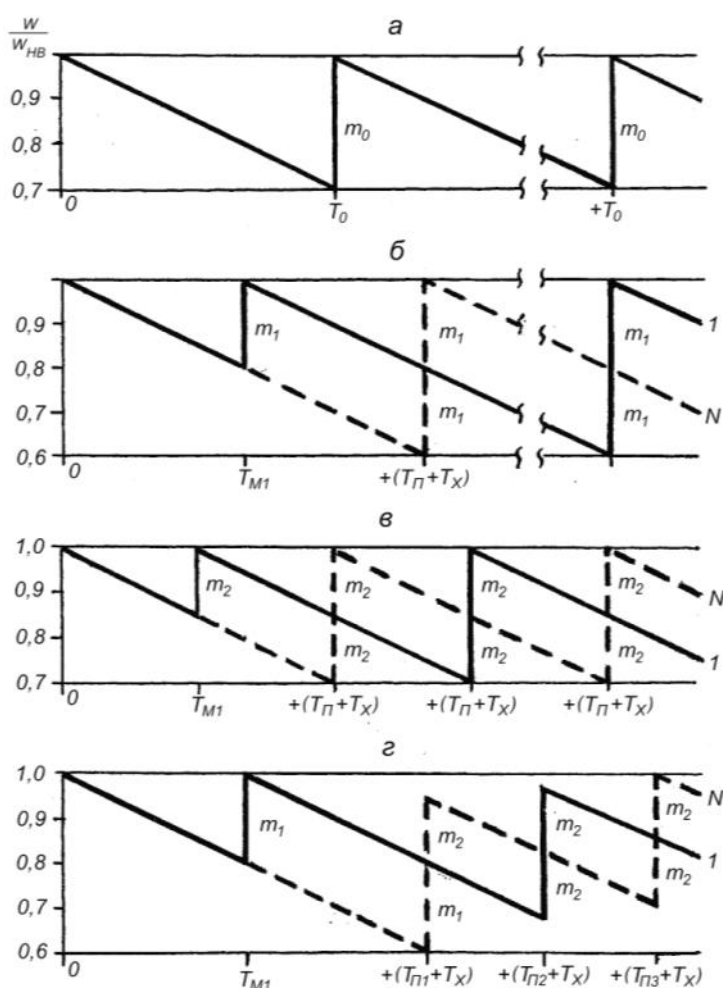
На схеме (а) показана динамика почвенных влагозапасов на модульном участке.

В отличие от модульного участка полив производственной площади выполняется не одновременно, а в процессе перемещения по орошаемой площади поливного устройства со скоростью, зависящей от интенсивности полива и поливной нормы.

На принципиальных схемах б, в, г приведена динамика почвенных влагозапасов на орошаемой производственной площади.

В качестве расчетного рассмотрим прежде период от начала сработки почвенных влагозапасов с уровня наименьшей влагоемкости (начальное условие) до проведения первого полива. Для модульного участка этот период соответствует минимальному межполивному интервалу (см.схему, а).

Для определения элементов режима орошения на производственной площади рассмотрим крайние (первую и последнюю) позиции полива, учитывая, что с первой позиции полив начинается, а на последней он завершается. Как и на модульном участке, допускаем, что почвенные влагозапасы снижаются равномерно по линейному закону. Поэтому на политой и неполитой частях производственной площади (в процессе перемещения поливного устройства) влагозапасы различаются на величину поливной нормы (нетто), выравниваясь только после завершения полива (схемы б, в, г). Следовательно, режим орошения всей производственной площади, основываясь на принятых выше начальных и граничных условиях, можно осредненно охарактеризовать среднеарифметическими показателями, рассчитанными по этим крайним позициям полива.



Принципиальные схемы динамики почвенных влагозапасов на модульном участке и производственной площади при поливе в прямом и в обратном направлениях при отсутствии холостой перебазировки поливного устройства с последней на первую (исходную) позицию для очередного полива ($T_x = 0$): а – одновременный охват поливом всей орошаемой площади (модульный участок); б – полив площади при неустойчивом естественном увлажнении; в – полив площади в условиях постоянного дефицита естественного увлажнения; г – полив площади в условиях перехода от неустойчивого к постоянному дефициту естественного увлажнения.

1 – позиция первая (начало площади полива);
N – позиция последняя (завершение полива площади)

Для определения численных значений поливной нормы и продолжительности первого поливного цикла уточним осредненный для первой и последней позиций полива производственной площади диапазон сработки почвенных влагозапасов от наименьшей влагоемкости (НВ) до предполивного уровня (ПП). Этот диапазон (см. схему б) составляет:

$$W_{НВ} - W_{ПП} = \frac{1}{2} (m_1 + 2 m_1) = \frac{3}{2} m_1 \quad (11)$$

где ($W_{НВ} - W_{ПП}$) – диапазон отклонений почвенных влагозапасов от НВ (свободная водоудерживающая емкость в почве) в течение поливного цикла, средний для производственной площади; $W_{НВ}$ – наименьшая влагоемкость; $W_{ПП}$ – предполивные влагозапасы; m_1 – норма первого полива (нетто) производственной площади.

Согласно (1), для модульного участка

$$W_{НВ} - W_{ППО} = m_0, \quad (12)$$

где ($W_{НВ} - W_{ППО}$) – диапазон колебания почвенных влагозапасов в течение межполивного интервала на модульном участке.

Показатели почвенного увлажнения на модульном участке (12) и производственной площади (11) в течение первого поливного цикла будут равны при условии (схемы а, б)

$$m_1 = \frac{2}{3} m_o \quad (13)$$

В соответствии с условием подобия режимов орошения (7) при этом

$$T = \frac{2}{3} T_o \quad (14)$$

Равенства (13) и (14) устанавливают расчетные значения поливной нормы и продолжительности поливного цикла для производственной площади при планировании первого полива, когда справедливо начальное условие $W(T=0) = W_{НВ}$ (в начальный момент времени почвенные влагозапасы соответствуют наименьшей влагоемкости). В условиях неустойчивого увлажнения, когда высока вероятность выпадения атмосферных осадков, насыщающих почву на всей производственной площади до уровня наименьшей влагоемкости, установленные величины составных элементов режима орошения (13) и (14) будут являться рекомендуемыми как при проектировании, так и при эксплуатации оросительных систем (схема б).

При продолжительном дефиците естественного увлажнения в качестве расчетных следует выбирать не первый, а последующие поливные циклы. В этом случае справедливо начальное условие $W(T=0) = W_{НВ} - m_2 = W_{ППN}$ (в начальный момент времени почвенные влагозапасы соответствуют предполивной влажности почвы на первой позиции полива). При этих условиях допустимый диапазон колебаний почвенных влагозапасов на орошаемой площади и продолжительность колебаний в заданном диапазоне в соответствии со схемой (в) будут составлять

$$W_{НВ} - W_{ППN} = 2m_2, \quad T_o = 2T, \quad (15)$$

где $W_{ППN}$ – предполивные влагозапасы почвы на последней (N) позиции при завершении полива площади; m_2 – норма полива (нетто) площади в условиях постоянного дефицита естественного увлажнения.

Уравнивая (12) и (15) найдем, что в таких условиях

$$m_2 = \frac{m_o}{2} \quad (16) \quad T = \frac{T_o}{2} \quad (17)$$

Установленные параметры режима орошения (16), (17) рекомендуются в качестве расчетных при проектировании и эксплуатации оросительных систем в условиях продолжительного дефицита естественного увлажнения (при продолжительных засухах).

Сравним режимы орошения модульного участка и производственной площади. Принципиальное их различие состоит в том, что на производственной площади диапазон

недостатка насыщения почвы (от предполивного уровня до наименьшей влагоемкости) перед передвигающимся поливным устройством изменяется в процессе полива от m до $2m$ (схемы б, в, г). На модульном участке этот диапазон постоянен и равен разности между верхним и нижним пределами регулирования почвенных влагозапасов (m_0), схема а.

Пользуясь принципиальной схемой динамики почвенных влагозапасов (схемы б, в, г), составим пропорцию, связывающую диапазон недостатка насыщения на первой позиции производственной площади с производительностью поливного устройства:

$$\frac{W_{HB} - W_{ПП1}}{W_{HB} - W_{ППN}} = \frac{T}{T + T_{П} + T_{Х}}, \quad (18)$$

где $W_{ПП1}$ – предполивной уровень почвенных влагозапасов на первой позиции полива; $W_{ППN}$ – предполивной уровень почвенных влагозапасов на N -й (последней) позиции полива производственной площади; T – продолжительность поливного цикла для производственной площади; $T_{П}$ – продолжительность поливного периода (продолжительность полива) для всей производственной площади; $T_{Х}$ – продолжительность холостой перебазировки с последней на первую позицию полива, если это предусмотрено технологической схемой полива.

Знаменатель левой части пропорции представляет собой допустимый при орошении предел дефицита почвенных влагозапасов на последней позиции полива производственной площади. Числитель равен норме полива производственной площади.

В расчетных условиях (при нормативной нагрузке на поливную технику) продолжительность поливного цикла

$$T_{П} + T_{Х} = T \quad (19)$$

Согласно (19) уравнение (18) приводится к виду

$$\frac{W_{HB} - W_{ПП1}}{W_{HB} - W_{ППN}} = \frac{1}{2} \quad (20)$$

В соответствии с (20) получаем

$$m_{доп} = \frac{1}{2} (W_{HB} - W_{ППN}) \quad (21)$$

где $m_{доп}$ – допустимый верхний предел нормы полива производственной площади.

Таким образом, делаем вывод, что при нормативной нагрузке на поливную технику допустимая величина нормы полива производственной площади равна половине влагозапасов, удерживаемых почвой в диапазоне регулирования на последней позиции полива. Другими словами, в проектном режиме орошения при нормативной нагрузке на поливную технику величина поливной нормы ограничивается половиной влагозапасов, удерживаемых корнеобитаемым (увлажняемым) слоем почвы в диапазоне регулирования на последней позиции полива производственной площади. Данный вывод весьма

важен при определении режима орошения площади со сложным почвенным покровом. Заметим, что при равенстве показателей почвенного увлажнения на производственной площади (б) и на модульном участке (5) нижние пределы регулирования почвенных влагозапасов не всегда совпадают (схемы б, з).

После установления величины поливной нормы следует определить уровень предполивных влагозапасов, который следует принимать при расчете проектного режима орошения (схемы б, в, з). Зная величину средней для производственной площади свободной водоудерживающей емкости в почве в течение поливного цикла (11), найдем

$$w_{пп} = w_{нв} - \frac{3}{2} m, \quad (22)$$

где $w_{пп}$ – проектный предполивной уровень почвенных влагозапасов; m – норма полива производственной площади.

Заключение

Для согласования составных элементов режимов орошения опытного участка и производственной площади разработан алгоритм моделирования режимов орошения. Алгоритм реализует условие динамического подобия и уравнивает водные режимы почв модульного участка и производственной площади. С использованием данного алгоритма по установленному режиму орошения опытного участка задаются составные элементы проектного режима орошения производственной площади: предполивные влагозапасы (22) и поливная норма при неустойчивой погоде (13) и при продолжительном дефиците естественного увлажнения (16).

Литература

1. Остапчик, В.П. Оптимальные нормы и сроки проведения поливов / В.П.Остапчик// Докл.ВАСХНИЛ. – 1094. – №6. – С.36-38.
2. Лихацевич, А.П. Условия подобия водных режимов сельскохозяйственных культур / А.П. Лихацевич // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2008. – №4. – С.44-48.
3. Лихацевич, А.П. Основы оценки водных режимов почвы / А.П. Лихацевич // Мелиорация. – 2010. – №1(63). – С. 15-23.

Summary

Likhatsevich A. Model analysis of reclamation design order

An algorithm of model analysis of reclamation design order was elaborated for coordination of reclamation components of pilot and working areas. This algorithm implements a condition of dynamic similarity and balancing of water schedule of soils of model and working areas. Components of reclamation design order of a working area - pre - water storage and reclamation rate - are set by application of this model to the established reclamation order of a pilot area.

Поступила 11 июня 2010 г.