

Тема **ВОДОБАЛАНСОВЫЙ РАСЧЕТ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Цель занятия. Выполнить водобалансовый расчет режима орошения сельскохозяйственных культур

Методическое обеспечение.

1. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях, обеспечивающему за счет оперативности и повышения качества полива условия для получения максимальной прибыли от орошения сельскохозяйственных культур

2. Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП/ПР 45-3.ОФ-178-2009 (02250). - Введ. 29.12.2009. - Минск: Мин-во архитектуры и ства Респ. Беларусь, 2010. - 74 с

3. Технологическая карта на полив сельскохозяйственных культур мобильными шланговыми дождевальными машинами / А. П. Лихацевич [и др.] // РУП «Институт мелиорации». - Минск : РУП «Институт мелиорации», 2017. - 36 с.

4. Пособие Инновационные.....

Содержание задания и методические рекомендации

В основу водобалансового расчета положен разработанный в РУП «Институт мелиорации» способ посуточного контроля динамики почвенных влагозапасов с использованием максимальной суточной температуры воздуха и атмосферных осадков в качестве метеорологических данных.

Для управления поливами необходимо, прежде всего, располагать **долгосрочной информацией** о водно-физических свойствах орошаемых почв (полная влагоемкость, наименьшая влагоемкость и объемная масса) и возделываемых культур (значения их биотермических коэффициентов). Кроме того, необходимо знать величины поливных норм (нетто) для каждой орошаемой культуры.

Полная влагоемкость почвы ($W_{пв}$) – это наибольшее количество воды, которое может вместиться в заданном слое почвы при заполнении ее пор водой.

Наименьшая влагоемкость (W_m) – это наибольшее количество воды, которое может удерживаться в заданном слое почвы после полного стекания гравитационной влаги в условиях, исключающих капиллярное подпитывание слоя от грунтовых вод.

Объемная масса ($\gamma_{об}$) - это масса твердой фазы почвы (без наличия влаги) в единице ее объема при ненарушенной структуре сложения; одна из важнейших почвенно-гидрологических характеристик.

Биотермические коэффициенты орошаемых сельскохозяйственных культур характеризуют их биологические особенности, которые учитываются при расчете водопотребления в течение вегетации.

Поливная норма (нетто) (m) - это количество воды, впитавшееся в почву в течение одного полива на единице орошаемой площади; соответствует высоте слоя воды в миллиметрах. Фактически выдаваемая в поле *поливная норма (брутто)* определяется с учетом потерь поливной воды на испарение в процессе полива и на снос ветром за пределы участка.

Долгосрочную информацию необходимо получать и вносить в компьютерную базу данных до начала оросительного сезона.

К краткосрочной информации относятся:

– измеренные в поле *начальные почвенные влагозапасы ($W_{н1}$)* количество влаги, содержащейся в корнеобитаемом слое почвы на начальной позиции полива (с которой начинается орошение площади) на дату начала (первую дату) водобалансового расчета;

– *предполивные влагозапасы (W_{mn})* - нижняя граница допустимого снижения влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы на начальной позиции полива;

– *метеорологические показатели* - ежесуточно измеряемые атмосферные осадки (P) и максимальная суточная температура воздуха (t_m) на орошаемом участке.

От точности измерения метеоданных зависит точность управления дождеванием, поскольку состояние погоды определяет динамику приходных и расходных элементов водного баланса орошаемой почвы.

В сельскохозяйственных предприятиях, использующих орошение при возделывании сельскохозяйственных культур, рекомендуется иметь мини лабораторию, обеспеченную комплектом технических средств для оперативного определения водно-физических свойств и влажности почв на орошаемых участках:

- *почвенный бур и пробоотборник;*
- *лабораторные термостойкие стаканчики (бюксы);*
- *сушильный шкаф (типа 2В-151 или типа СНОЛ 58/350);*
- *лабораторные аналитические весы с точностью до 0,01 г (типа RV- 1502).*

Характеристика орошаемых почв по гранулометрическому составу. Орошаемые участки могут располагаться как на минеральных почвах, так и на осушенных торфяных. Минеральные почвы по гранулометрическому составу подразделяются так: песчаные, супесчаные, суглинистые, глинистые.

Для определения вида минеральной почвы необходим лабораторный анализ. Точное название орошаемой почвы можно также найти на почвенных картах, которые имеются в каждом хозяйстве. Однако работники агропредприятий не всегда могут воспользоваться лабораторией или почвенными картами, поэтому можно установить вид минеральной почвы визуально с помощью метода раскатывания образцов.

Метод заключается в следующем: берется изучаемый почвенный образец, слегка смачивается водой и раскатывается на ладони. В зависимости от прочности образуемого шнура определяется вид почвы по гранулометрическому составу:

- *если шнур при раскатывании образца не образуется, то это песок;*
- *формируются зачатки шнура - супесь;*
- *шнур дробится на части при раскатывании - легкий суглинок;*
- *шнур сплошной, однако, при свертывании в кольцо распадается - средний суглинок;*
- *шнур сплошной, кольцо при свертывании с трещинами - тяжелый суглинок;*
- *шнур сплошной, кольцо при свертывании цельное - глина.*

От гранулометрического состава почвы зависят ее пористость, полная влагоемкость и наименьшая влагоемкость, а также поливная норма и предполивные влагозапасы.

Ниже приводятся ориентировочные данные по значениям влагозапасов при *полной влагоемкости почвы* и *наименьшей влагоемкости почвы* (табл. 1 и 2).

Т а б л и ц а 1.– Ориентировочные значения влагозапасов почвы при насыщении до полной влагоемкости (ПВ), мм

Тип почвы по гранулометрическому со-	Полная влагоемкость в слое почвы			
	0-30 см	0—40 см	0-50 см	0-100 см
Песчаная	125-135	175-185	225-235	450-470
Супесчаная	135-145	185-195	235-245	470-490
Суглинистая	145-155	195-205	245-255	490-510
Глинистая	155-165	205-215	255-265	510-530
Торфяная осушенная	240-260	320-340	420—440	840-880

Т а б л и ц а 2.– Ориентировочные значения влагозапасов почвы при наименьшей влагоемкости (НВ), мм

Почва	Запасы влаги при наименьшей влагоемкости в слое почвы			
	0-30 см	0—40 см	0-50 см	
Песчаная связная	50	62	75	
Супесчаная	рыхлая	65	82	100
	связная	80	105	130
Суглинистая	легкая	95	125	160
	средняя	110	145	180
	тяжелая	120	155	200
Глинистая	125	165	210	
Торфяная осушенная	180	245	320	

Начальные влагозапасы почвы на орошаемом поле на первую дату расчетного периода рекомендуется определять стандартным термостатно-весовым методом, с отбором образцов почвы в корнеобитаемом слое в дату, предшествующую началу расчетного периода.

Величина поливной нормы (m) постоянна в течение каждого полива (поливного цикла). В табл. 3 приведены ориентировочные для условий Беларуси значения поливных норм (нетто) без учета технологических потерь поливной воды на орошаемом поле.

Т а б л и ц а 3– Максимальные поливные нормы (нетто) с учетом окультуренности почв, мм [1]

Почвы	Степень окультуренности почв		
	высокая	средняя	слабая
Песчаные	20	15	10
Супесчаные	30	25	20
Суглинистые	35	30	25
Осушенные торфяные	40	35	30

Фактически выдаваемые в поле поливные нормы (брутто) определяют

Для управления поливами сельскохозяйственных культур разработан цифровой аналог алгоритма водобалансового расчета режима орошения на базе электронных таблиц программного средства *Excel*,

Программное средство *Excel* – это универсальное средство для автоматизации расчетов при больших объемах табличных данных. Алгоритм работы на компьютере является аналогом методики расчета режима орошения сельскохозяйственных культур и реализуется в электронной таблице программного средства *Excel*.

Окно *Excel* состоит из строк заголовка (шапка таблицы *Excel*) и рабочей области. Рабочая область - это таблица, состоящая из пронумерованных цифрами строк и пронумерованных буквами столбцов (рис. 9.)

Прежде всего формируется шапка таблицы *Excel*. Для указания на конкретную ячейку используется ее адрес, состоящий из обозначения столбца (латинской буквы) и строки (арабской цифры), на пересечении которых находится ячейка (пояснения даются по рис. 9.1).

Место расположения (адрес) каждой ячейки определяется по буквам столбца (на рис. 9.1 - это буквы **A, B, C, D...P**), расположенным вверху над шапкой таблицы, и по цифрам строки (на рис.9.1 - это цифры **1, 2, 3, 4...25** и т. д.), расположенным в крайнем левом столбце вне таблицы. На рис. 9.1 эти буквы и цифры помещены на голубом фоне.

Ниже приведен пример цифрового управления дождеванием *капусты поздней, возделываемой на суглинистых почвах, с использованием электронной таблицы программного средства Excel*. Изложена последовательность действий при проведении ежегодного водобалансового расчета

В первую строку, в заданные ячейки, вводим информацию которая характеризует объект орошения.

A1 - год, в котором ведется расчет, например, 2017 г.;

B1,C1 - вид орошаемой сельхозкультуры, (капуста поздняя);

D1 - буквенное обозначение влагозапасов в расчетном слое почвы при полной влагоемкости ($W_{пв=}$);

E1 - численную величину влагозапасов в расчетном (0-50 см) слое почвы при полной влагоемкости в мм, например (**255**);

F1 - буквенное обозначение влагозапасов в расчетном слое почвы при наименьшей влагоемкости ($W_{нв=}$);

G1 - численную величину влагозапасов в расчетном слое почвы (0-50 см) при наименьшей влагоемкости в мм, например (**180**);

H1 - буквенное обозначение предполивных влагозапасов в расчетном слое почвы ($W_{пп=}$);

I1 - численную величину предполивных влагозапасов в расчетном слое почвы в мм, например (**135**);

J1 - буквенное обозначение поливной нормы ($m=$);

K1 - численную величину заданной поливной нормы (нетто) в мм, например (30);

L1 - пропускаем;

M1, N1 - название почвы по гранулометрическому составу (суглинок средний);

O1, P1 - пропускаем.

Во вторую строку по пронумерованным буквами столбцам заносятся буквенные обозначения показателей, входящих в алгоритм водобалансового расчета:

A2 - № п/п от начала ввода данных водобалансового расчета;

B2 - месяц;

C2 - дата;

D2 - поливная норма (m);
E2 - атмосферные осадки (P);
F2 - максимальная температура воздуха (t_m);
G2 - сумма максимальных температур воздуха (сумма Σt_m) за 10 суток (в течение первых 9 расчетных суток - сумма за все предыдущие сутки);
H2 - расчетная максимальная температура воздуха (сумма $\Sigma t_m/n$);
I2 - биотермический коэффициент (K_m);
J2 - максимальное водопотребление орошаемой культуры за текущие сутки (E_{mi});
K2 - коэффициент увлажнения (Ψ);
L2 - фактическое водопотребление за текущие сутки (E);
M2 - поверхностный сток (C_n);
N2 - внутрипочвенный сток (C_e);
O2 - конечные за текущие сутки почвенные влагозапасы (W_{ki});
P2 - прогнозируемое количество суток, остающихся до начала следующего полива культуры (N , сут).

Далее, начиная с третьей строки, выполняется заполнение таблицы данными для расчета. Для проведения водобалансовых расчетов по стандартной схеме представляем алгоритм работы в таблице по рис. 9.1.

В третью строку вводятся:

в ячейку **A3** - начальный номер даты, предшествующей началу расчета (№ п/п - 0),

ячейку **B3** - название текущего месяца (**апрель**);

ячейку **C3** - дата, предшествующая началу расчета (10), так как расчет начинается с **11 апреля**.

Ячейки **D3, E3, F3, G3, H3, I3, J3, K3, L3, M3, N3, P3** остаются пустыми.

В ячейку **O3** вводится численное значение почвенных влагозапасов в мм, замеренных во вторую половину дня, предшествующего началу расчета (**149,0**). Эти влагозапасы на дату 10 апреля являются конечными, а на следующую дату 11 апреля они – **начальные**.

Алгоритм определения влагозапасов в расчетном слое почвы приведен в приложении.

С четвертой строки начинается ввод конкретных значений показателей водобалансового расчета. Численные значения вводимых показателей в миллиметрах, начиная от столбца **E** и до столбца **H**, от столбца **L** и до столбца **O**, вводятся с точностью до десятых долей миллиметра. Значение биотермического коэффициента в столбце **I** вводится с точностью до сотых долей мм/°С, а значение коэффициента увлажнения почвы за текущие сутки (столбец **K**) вычисляется с точностью до трех знаков после запятой.

Столбцы **A, B, C** от начала водобалансового расчета и до предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры заполняются целиком.

В ячейку **A4** вводится номер расчетных суток, начиная с 1, и далее продолжается соответственно по столбцу: **A5-2, A6-3, A7-4, A8-5, A9-6, A10-7, A11-8, A12-9, A13-10, A14-11** и т. д. до даты предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры.

Ячейка **B4** и другие ячейки, расположенные ниже в данном столбце текущего месяца (**апрель**), остаются пустыми до его завершения. В ячейку **B24** вводится название следующего месяца (**май**). Далее по столбцу ячейки остаются пустыми до **B55**, в которую вводится название следующего месяца (**июнь**) и т. д. до даты предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры.

В ячейку **C4** вводится дата начала расчета (11) и далее продолжается по столбцу соответственно: **C5-12, C6-13, C7-14, C8 – 15, C9-16, C10-17, C11-18, C12-19, C13-20, C14-21 ...**

C23-30, C24-1... и т. д. до даты предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры.

Столбцы **D, E, F** заполняются посуточно в конце дня (после 17:00) или в начале текущего дня (до 10³⁰) следующим образом.

В ячейку **D4** вводится величина поливной нормы нетто в миллиметрах. Если полив на начальной позиции не проводился, ячейка остается пустой.

В ячейку **E4** вводится количество выпавших в течение расчетной даты (11 апреля) атмосферных осадков в миллиметрах. Если их нет, ячейка остается пустой.

В ячейку **F4** вводится величина максимальной температуры воздуха в °С, имевшей место в расчетную дату 11 апреля (**16,0**).

Начиная со столбца **G** выполняется расчет с использованием введенных показателей, кроме столбца **I**, в который вводятся численные значения биотермических коэффициентов для орошаемой культуры с точностью до сотых долей (до двух знаков после запятой) в мм/°С (табл. 9.4) на каждую дату по всему столбцу до даты предполагаемого конца оросительного периода.

В ячейке **G4** выполняется расчет сумм максимальных температур воздуха. В начале расчета за текущие первые расчетные сутки значения в ячейках **F4** и **G4** совпадают, то есть в ячейку **G4** вводим (**=F4**). Далее, во вторые расчетные сутки, то есть в ячейку **G5**, вводим (**=G4+F5**). В третьи расчетные сутки, то есть в ячейку **G6** вводим (**=G5+F6**) и так далее аналогичным способом до ячейки **G14**. Начиная с ячейки **G14** вводят в расчет формулу (**=G13+F14-F4**), в ячейку **G15** вводим (**=G14+F15-F5**) и т. д., что позволяет ограничить осреднение расчетной максимальной температуры 10 сутками.

После расчета сумм максимальных температур воздуха в ячейках **G14** и **G15** дальнейший расчет можно будет производить автоматически с помощью компьютерной мышки без ввода каких-либо формул. Для этого достаточно зафиксировать мышкой ячейку **G15** и с нажатием левой клавиши провести мышку вниз по столбцу до даты предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры.

Примечание. *Каждый раз после ввода в ячейку численных значений параметров или формулы для их вычисления необходимо нажимать клавишу «ENTER».*

В ячейку **H4** вводим формулу вычисления расчетной максимальной температуры воздуха. На 11 апреля расчетная максимальная температура воздуха равна отношению суммы максимальных температур воздуха в расчетную дату на номер строки, то есть в *Excel* (**=G4/A4**), и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем конкретное значение расчетной максимальной температуры воздуха за текущие сутки (**16,0**). Начиная с ячейки **H14** вводим в расчет другую формулу (**=G14/10**) и нажимаем клавишу «ENTER».

В ячейке **I4** приведено численное значение биотермического коэффициента на расчетную дату с точностью до двух знаков после запятой (**0,06**) и далее продолжается по столбцу соответственно: **15-0,06; 16-0,06; 17-0,06; 18-0,06; 19-0,06; I10-0,06; I11-0,06; I12-0,06; I13-0,06; I14-0,06... I23-0,06; I24-0,12... I33-0,12; I34-0,14; I35-0,14** и т. д. до даты предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры.

В ячейку **J4** вводим формулу расчета численного значения максимального водопотребления орошаемой культуры за текущие сутки, то есть в *Excel* (**=I4*K4**), и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем конкретное значение максимального водопотребления орошаемой культуры за текущие сутки (**1,0**).

В ячейку **K4** вводим формулу расчета численного значения коэффициента увлажненности почвы, то есть в *Excel* (**=exp(-0,5*(G\$1/O3-1)^2)**), и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем значение коэффициента увлажненности почвы за текущие сутки (**0,979**).

В ячейку **L4** вводим формулу расчета численного значения фактического суточного водопотребления, то есть в *Excel* ($=J4*K4$), и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем конкретное значение фактического суточного водопотребления, округленное до десятых (0,9).

В ячейку **M4** вводим логическое условие расчета численного значения поверхностного стока через мастер функций *Excel*, то есть $=\text{если}(O3>\$E\$1;O3-\$E\$1;0)$, и нажимаем «OK».

В ячейку **N4** вводим логическое условие расчета численного значения внутрипочвенного стока через мастер функций *Excel* $=\text{если}(O3-34)>\$C\$1;(O3-T4-\$C\$1)*0,5+E4*(0,25)^2;0$ и нажимаем «OK». В результате получаем конкретное значение внутрипочвенного стока, округленное до десятых (0,0).

В ячейку **O4** вводим общую водобалансовую формулу расчета численного значения конечных на текущие (расчетные) сутки почвенных влагозапасов, то есть в *Excel* ($=O3+D4+E4-L4-M4-N4$), и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем значение конечных на текущие (расчетные) сутки почвенных влагозапасов, округленное до десятых (148,1).

В ячейку **P4** вводим формулу расчета численного значения количества суток, остающихся до начала следующего полива орошаемой культуры, то есть в *Excel* ($=(O4-\$I\$1)/L4$), и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем приблизительное количество суток, остающихся до начала следующего полива орошаемой культуры (13,9).

С пятой строки, помимо продолжения ввода данных, начинается дублирование программ водобалансового расчета.

Ячейки **A5, B5, C5, I5** заполнены.

В ячейку **D5** должна вводиться величина поливной нормы нетто, но, если полив на начальной позиции в текущую дату не проведен, ячейка остается пустой.

В ячейку **E5** вводится количество выпавших в течение расчетной даты (12 апреля) атмосферных осадков. Если их нет, ячейка остается пустой.

В ячейку **F5** вводится величина максимальной температуры воздуха, имевшей место в расчетную дату 12 апреля, то есть T_m . Е1а эту дату она составила (12,0).

В ячейку **G5** вводим сумму максимальных температур воздуха (в начале расчета - за все предыдущие сутки, количество которых меньше десяти, затем - за 10 предыдущих суток). Е1а 12 апреля сумма максимальных температур воздуха равна ($=G4+F5$), нажимаем клавишу ENTER. В результате получаем сумму максимальных температур воздуха, имевших место 11 и 12 апреля, округленную до десятых (28,0).

Напомним: в ячейку **G14** вводим ($=G13+F14-F4$), в ячейку **G15** вводим ($=G14+F15-F5$), а дальнейший расчет по столбцу G можно производить автоматически с помощью мышки без ввода каких-либо формул. Для этого достаточно зафиксировать мышкой ячейку **G15** и, нажав левую клавишу, провести мышку вниз по столбцу до даты предполагаемого конца оросительного периода для орошаемой культуры.

В ячейке **H5** вычисляется расчетная максимальная температура воздуха. На 12 апреля (вторые сутки расчета) расчетная максимальная температура воздуха равна отношению суммы максимальных температур воздуха в расчетную дату к номеру строки, то есть ($=G5/A5$), далее нажимаем клавишу «ENTER» и т. д. до ячейки **H14**.

Напомним: начиная с ячейки **H14** вводим в расчет другую формулу ($=G14/10$), затем нажимаем клавишу «ENTER».

Ячейка **I5** заполнена (0,06).

В ячейку **J5** вводим формулу расчета численного значения максимального водопотребления орошаемой культуры за текущие сутки, ($=I5*H5$) и нажимаем клавишу «ENTER». В

результате получаем конкретное значение максимального водопотребления орошаемой культуры за текущие сутки (1,0).

В ячейку **K5** вводим формулу расчета численного значения коэффициента увлажненности почвы ($=\exp(-0,5*(\$G\$1/O4-1)^2)$) и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем конкретное значение коэффициента увлажненности почвы за текущие сутки (0,977).

В ячейку **L5** вводим формулу расчета численного значения фактического суточного водопотребления ($=J5*K5$) и нажимаем клавишу «ENTER». В результате получаем конкретное значение фактического суточного водопотребления, округленное до десятых (0,8).

В ячейку **M5** вводим логическое условие расчета численного значения поверхностного стока через мастер функций *Excel* ($=\text{если}O4>\$E\$1;O4-\$E\$1;0$) и нажимаем «OK». В результате получаем конкретное значение поверхностного стока, округленное до десятых (0,0).

В ячейку **N5** вводим логическое условие расчета численного значения внутрипочвенного стока через мастер функций *Excel* ($=\text{если}(O4-J5)>\$G\$1;(O4-J5-\$G\$1)*0,5+E5*(0,25)^2;0$) и нажимаем «OK». В результате получаем конкретное значение внутрипочвенного стока, округленное до десятых (0,0).

В ячейку **05**, как и в ячейку **04**, вводится общая водобалансовая формула расчета численного значения конечных на текущие (расчетные) сутки почвенных влагозапасов, то есть ($=O4+D5+E5-L5-M5-N5$), затем нажимается клавиша «ENTER». В результате получаем конкретное значение конечных на текущие (расчетные) сутки почвенных влагозапасов, округленное до десятых (147,2).

В ячейку **P5**, аналогично, как и в ячейку **P4**, вводится формула расчета численного значения количества суток, остающихся до начала следующего полива орошаемой культуры ($=(O5-\$I\$1)/L5$), далее нажимается клавиша «ENTER». В результате получаем приблизительное количества суток, остающихся до начала следующего полива орошаемой культуры (14,9).

В шестой и последующих строках расчет проводится аналогичным способом до окончания оросительного сезона.

Напоминаем, что влагозапасы почвы на начало следующих суток всегда принимаются равными влагозапасам почвы на конец текущих суток.

Полив орошаемой площади необходимо завершить и успеть перебазировать дождевальную технику на исходную (первую) позицию до того момента, когда вычисляемое в столбце **P** количество суток станет равным нулю.

Если при проведении полива выпали атмосферные осадки, насытившие почву, на начальной (исходной) позиции сверх наименьшей влагоемкости, а текущий полив еще не завершен, то полив прекращается, дождевальная техника возвращается на исходную позицию и готовится к очередному поливу.

Ежесуточный расчет режима орошения с использованием электронных таблиц *Excel* позволяет оперативно и качественно отслеживать текущую ситуацию по водному режиму на поле с конкретной культурой и своевременно проводить ее поливы.