

**Тема УПРАВЛЕНИЕ ДОЖДЕВАНИЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРИБЫЛИ ОТ ОРОШЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

1. Алгоритм водобалансового расчета режима орошения сельскохозяйственных культур
2. Особенности орошения овощных культур

Первый вопрос

В основу расчета положено уравнение водного баланса почвы, которое состоит из приходных и расходных статей.

Приходные статьи ($P_i + m_i$) и Расходные – ($E_i + C_{\Pi i} + C_{Vi}$),

где i - порядковый номер текущих суток, начиная от даты начала расчета;

P_i - атмосферные осадки за i -е сутки, мм;

m , - поливная норма (нетто), постоянная для всей орошаемой площади, включается в уравнение водного баланса, если в i -е сутки начат полив орошаемой площади, мм;

E_i - водопотребление (суммарное испарение) орошаемого поля (культуры) за i -е расчетные сутки, мм;

$C_{\Pi i}$ - величина поверхностного стока в i -е сутки (если выпали обильные осадки), мм;

C_{Vi} - величина сбросов гравитационной влаги за пределы расчетного слоя в i -е сутки (в периоды переувлажнения почвы), мм.

Приходные элементы водного баланса повышают содержание влаги в почве, а расходные, наоборот, понижают. При достаточно продолжительном расчетном интервале (месяц и более) в уравнении водного баланса могут присутствовать все составные элементы:

$$W_{Ki} = W_{Hi} + P_i + m_i - E_i - C_{\Pi i} - C_{Vi} \quad (8)$$

где W_{Ki} - влагозапасы расчетного слоя почвы на конец i -х суток, мм;

W_{Hi} - влагозапасы расчетного слоя почвы на начало i -х суток, мм.

При минимальной продолжительности расчетного интервала (одни сутки) в уравнении (8) некоторые элементы водного баланса отсутствуют. Например, величина поливной нормы (m) появляется только в те сутки, когда начался полив площади, обслуживаемой комплектом ирригационного оборудования (одной дождевальной машиной) в течение сезона. Кроме того, в уравнении водного баланса при наличии поливной нормы (m) должен отсутствовать сток, то есть при $m > 0$, $C_{\Pi i} = 0$ и $C_{Vi} = 0$. При появлении стока, наоборот, должен отсутствовать полив, то есть при $C_{\Pi i} + C_{Vi} > 0$, $m = 0$.

Величина поливной нормы (нетто) устанавливается до начала водобалансового расчета.

Напомним, что *начальные влагозапасы почвы в первые сутки расчета* (W_{H1}) определяются по формуле (5). А в последующие расчетные сутки начальные влагозапасы почвы будут равны влагозапасам на конец предыдущих расчетных суток, то есть $W_{Kj} = W_{H(i+1)}$

Водопотребление орошаемого поля - основная статья водного баланса (включает испарение влаги почвой и транспирацию растениями). При содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости водопотребление будет максимальным.

Максимальное водопотребление орошаемого поля (E_{mi} , мм) определяется по биотермическому коэффициенту орошаемой культуры и максимальной суточной температуре воздуха с учетом температурного режима в предыдущие дни:

$$E_{mi} = \frac{1}{10} k_{ti} \sum_{i-9}^i t_{mi} \quad (9)$$

где 10 - число дней, включая предшествующие девять и текущие сутки, за которые выполняется осреднение максимальных суточных температур воздуха;

k_{ti} - биотермический коэффициент, характеризующий потребность орошаемой культуры в воде в i -е расчетные сутки, мм / °С;

t_{mi} - максимальная суточная температура воздуха в i -е расчетные сутки, град.;

$\sum_{i=9}^i t_{mi}$ - сумма максимальных суточных температур за 10 суток (включая текущую дату и предыдущие 9 суток), °С.

В первые 10 дней после начала получения значений максимальной суточной температуры воздуха эти температуры осредняются за весь охваченный расчетом интервал, то есть за i суток:

$$E_{mi} = \frac{1}{i} k_{ti} \sum_1^i t_{mi} \quad (10)$$

Биотермические коэффициенты (табл.4) для условий Беларуси получены по результатам полевых опытов.

Для определения фактического суточного водопотребления используют его связь с текущими почвенными влагозапасами и максимальным водопотреблением:

$$E_i = \psi_i E_{mi} \quad (11)$$

где ψ_i - коэффициент, учитывающий зависимость водопотребления растений от увлажнения почвы в i -е расчетные сутки;

E_{mi} - максимальное водопотребление (суммарное испарение) орошаемого поля (культуры) за z -е расчетные сутки при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости, мм.

Коэффициент увлажнения почвы (γ_1) определяется по формуле:

$$\psi_i = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{W_{HB}}{W_{Hi}} - 1 \right)^2 \right] \quad (12)$$

Поверхностный и внутрпочвенный сток появляются в водобалансовом расчете тогда, когда в течение расчетного интервала выпадают обильные атмосферные осадки, интенсивность которых превышает скорость впитывания воды в почву. Дождевая вода не может вместиться в почве и накапливается на поверхности, поэтому ее часть стекает и теряется на поверхностный сток, а часть просачивается ниже границы корнеобитаемого слоя, образуя внутрпочвенный сток, и не участвует в повышении влагосодержания почвы.

Следует обратить внимание, что поливная норма (m_i), поверхностный (C_{Pi}) и внутрпочвенный сток (C_{Vi}) участвуют в водобалансовом расчете только после сравнения значений начальных и конечных почвенных влагозапасов в i -е расчетные сутки с известными для данной почвы опорными показателями W_{III} , W_{HB} , W_{PB} .

где W_{III} - предполивной уровень влагозапасов почвы, мм;

W_{HB} - влагозапасы почвы в расчетном слое почвы при его водой до наименьшей влагоемкости, мм;

W_{PB} - влагозапасы при полной влагоемкости (при полном заполнении водой пор в расчетном слое почвы), мм.

Предполивной уровень влагозапасов зависит от наименьшей влагоемкости и поливной нормы (нетто):

$$W_{III} = W_{HB} - l, 5m, \quad (13)$$

где m - заданная поливная норма (нетто), мм.

Перед каждым очередным посуточным водобалансовым расчетом анализируется численное значение начальных почвенных влагозапасов в i -е сутки (W_{Hi}). Решение о начале или отсрочке полива основывается на результатах сравнения величины этих влагозапасов с опорными показателями W_{III} и W_{HB} .

Результаты сравнения могут быть следующими.

Первый случай. Начальные влагозапасы почвы в z -е расчетные сутки оказались ниже предполивного уровня:

$$W_{Hi} < W_{III}, \quad (14)$$

где W_{Hi} - начальные влагозапасы в расчетном слое почвы в i -е сутки, мм.

Выполнение условия (14) означает, что полив должен быть начат. Срочно начинаем полив площади, установленной поливной нормой. При этом влагозапасы на конец расчетных суток определяются по водобалансовому уравнению следующего вида:

$$W_{ki} = W_{Hi} + P_i - \psi_i E_{mi} + m \quad (15)$$

где W_{ki} - влагозапасы расчетного слоя почвы на конец расчетных суток, мм;

W_{Hi} - влагозапасы расчетного слоя почвы на начало расчетных суток, мм;

P_i - осадки за расчетные сутки, мм;

$(\psi_i E_{mi})$ - водопотребление в i -е расчетные сутки, мм;

m - заданная, постоянная для орошаемой площади поливная норма (нетто), мм.

Второй случай. Начальные влагозапасы почвы в расчетные сутки находятся в пределах

$$W_{III} \leq W_{Hi} \leq W_{HB} \quad (16)$$

В этом случае из расчетного уравнения водного баланса (8) исключается поливная норма (m_i), поверхностный и внутрипочвенный сток (C_{pi}) и (C_{vi}). Почвенные влагозапасы на конец расчетных суток (W_{ki}) определяются по формуле

$$W_{ki} = W_{Hi} + P_i - \psi_i E_{mi} \quad (17)$$

Третий случай. Условие (16) может нарушаться после выпадения обильных атмосферных осадков в предшествующие сутки. Известно, что внутрипочвенный сток воды (C_v) появляется только тогда, когда влагозапасы превышают водоудерживающую способность (наименьшую влагоемкость) почвы, но при этом не поднимаются выше полной влагоемкости, то есть при

$$W_{HB} < W_{Hi} \leq W_{ПВ} \quad (18)$$

Способность влаги под действием собственного веса стекать в нижележащие слои почвы зависит от инфильтрационной способности почвы. В процессе стекания гравитационной влаги ее содержание в почве может изменяться от полной влагоемкости (сразу после обильного дождя) и до наименьшей влагоемкости (после полного стекания гравитационной воды из корнеобитаемого слоя). Поскольку продолжительность расчетного интервала равна одним суткам, что не превышает продолжительности полного стекания гравитационной влаги в любых почвах, то для более точной оценки результата используется условие

$$W_{HB} \leq (W_{Hi} - E_{mi}) \leq W_{ПВ} \quad (19)$$

При выполнении условия (19) расчет конечных влагозапасов выполняется по уравнению водного баланса

$$W_{ki} = W_{Hi} - E_{mi} + P_i - C_{vi} \quad (20)$$

Величина потерь воды на внутрипочвенный сток (C_{vi}) в уравнении водного баланса (20) устанавливается по типу орошаемой почвы, начальным влагозапасам, атмосферным осадкам, выпавшим в расчетные сутки, и максимальному водопотреблению культуры за текущие сутки:

$$C_{vi} = (W_{Hi} - E_{mi} - W_{HB}) \left(\frac{z}{Z}\right)^a + P_i \left(\frac{z}{Z}\right)^b$$

где z - продолжительность расчетного интервала, изменяющаяся в диапазоне времени $1 < z < Z$, сут (при посуточном расчете $z = 1$);

a, b - эмпирические коэффициенты (для суглинистых почв $a = 0,5$; $b = 2$; для супесчаных почв $a = 0,25$; $b = 1$; для песчаных почв $a = 0,11$; $b = 0,5$);

Z - продолжительность полного стекания гравитационной влаги из корнеобитаемого слоя после заполнения водой всех почвенных пор при отсутствии подпора от капиллярной каймы грунтовых вод, сут.

Продолжительность полного стекания гравитационной влаги из расчетного слоя почвы зависит от вида почвы и плотности ее сложения:

- на легких почвах рыхлого сложения может изменяться в диапазоне 1-2 суток;
- на легких почвах средней плотности - 2-3 суток;
- на средних по гранулометрическому составу почвах рыхлого сложения на это потребуется 3-4 суток;
- на средних по гранулометрическому составу почвах средней плотности - до 4-5 суток
- на более тяжелых почвах - до 5-6 суток и более.

В расчетные сутки может иметь место не только внутрпочвенный, но и поверхностный сток (C_n), если в расчете конечные влагозапасы почвы (W_{ki}) превысят полную влагоемкость ($W_{пв}$), то есть при

$$W_{ki} > W_{пв} \quad (21)$$

В данные сутки поверхностный сток (C_n) будет равен

$$C_{Pi} = W_{ki} - W_{пв} \quad (22)$$

При соблюдении условия (21) расчет влагозапасов почвы на конец расчетных суток выполняется по уравнению водного баланса

$$W_{ki} = W_{HI} + P_i - E_{mi} - C_{Pi} - C_{Vi} \quad (23)$$

Полив орошаемой площади назначается на следующие сутки только в том случае, если конечные влагозапасы в расчетном слое почвы снизились до предполивного уровня:

$$W_{ki} < W_{ПП} \quad (24)$$

Результатом ежедневного расчета водного баланса почвы являются почвенные влагозапасы в корнеобитаемом слое на конец текущих суток. Эти же значения почвенных влагозапасов будут являться начальными влагозапасами следующих суток.

Для *заблаговременного планирования начала очередного полива* по конечным влагозапасам (W_{ki}) и текущему водопотреблению (E_i) оценивают количество дней, остающихся до очередного полива, полагая, что дожди в данный период будут отсутствовать:

$$N_i = \frac{W_{ki} - W_{ПП}}{E_i} \quad (25)$$

где N_i - приблизительное количество суток до начала следующего полива, сут;

W_{ki} - влагозапасы расчетного слоя почвы на конец i -х суток, мм;

$W_{ПП}$ - предполивные влагозапасы, определенные по зависимости (13), мм;

E_i - водопотребление орошаемой культуры в текущие сутки, мм/сут.

Продолжительность проводимого полива орошаемой площади от текущей (i -й) даты и до его завершения не должна превышать количество суток, полученное по формуле (25)

Приведенный выше алгоритм водобалансового расчета реализован в электронной таблице программного средства *Excel* (Приложение В)

Второй вопрос

Орошение овощных культур имеет некоторые особенности: поливы начинаются сравнительно поздно - в мае или начале июня. Поэтому для этих культур измерение

начальных почвенных влагозапасов в поле *выполняется в дату, предшествующую посеву (посадке) орошаемой культуры.*

Для *рассадных культур* (капуста, томаты) первый полив небольшой нормой (10-15 мм) следует проводить в случае отсутствия дождей в период посадки или пересадки. Выпадов рассады (даже при нормальной влажности почвы ($W_{nn} < W_H < W_{HB}$)). После посадки необходимо повторить полив той же нормой. Надобность в посадочных поливах в день высадки рассады (или накануне) отпадает лишь при выпадении осадков 10-15 мм и более.

Раннюю и среднеспелую капусту в овощном севообороте требуется поливать в первую очередь. Даже непродолжительное понижение влажности почвы ниже 70 % от наименьшей влагоемкости резко снижает урожайность.

Поздняя капуста также требует повышенной влажности почвы в период вегетации. Однако при выращивании капусты для хранения в последние полтора месяца вегетации требуется умеренное увлажнение, а за 20-30 дней до уборки поливы следует полностью прекратить.

При высевах *столовых корнеплодов* (морковь, свекла и др.) также рекомендуется применять предпосевной или послепосевной полив небольшими нормами (10-15 мм), если отсутствовали дожди в период посадки и при пересохшем верхнем слое почвы.

Свекла столовая наиболее отзывчива на орошение в период интенсивного роста и развития зеленой массы и корнеплодов, поэтому основные поливы свеклы столовой проводят начиная с июля. Более ранние поливы (в июне) в основном провоцируют рост ботвы.

Картофель предъявляет повышенные требования к увлажнению почвы, начиная с периода бутонизации и далее при цветении и особенно в период нарастания клубней (начало июля). При недостатке влаги в почве в этот период образуется мало завязей. Эти потери не смогут восполнить более поздние поливы и дожди. И наоборот: если влажность почвы до появления всходов будет высокая, то формируется поверхностная корневая система. Это приводит к повреждению корней при междурядных обработках. Поливы раннего картофеля необходимо прекращать за 6-7 дней до уборки, а среднепозднего картофеля за 15-20 дней до уборки.

Рост и развитие *лука* в первое время после всходов (15-18 дней после посадки) идет очень медленно. В течение месяца формируются лишь четыре-пять листочков очень малого размера. Со второй половины лета (ориентировочно с 12 июля) большинство сортов лука формируют луковицы примерно в течение трех недель. Лук поливают небольшими нормами (15-20 мм). Он хорошо отзывается на такой полив, поскольку корневая система развита слабо и сосущая сила корней невелика. В молодом возрасте лук требует постоянной повышенной влажности почвы для усиления роста. При выращивании лука на репку высокую влажность поддерживают до начала образования луковицы (примерно 60 дней). Недопустима высокая влажность почвы в период формирования луковицы, так как при этом луковицы не вызревают, поражаются гнилью и плохо хранятся. Когда луковица начинает созревать, поливы необходимо прекратить.