

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

1. Показатели, необходимые для расчета текущего содержания влагозапасов в почве
2. Исходные данные для водобалансового расчета режима орошения сельскохозяйственных культур

Первый вопрос

Почвенная влага является одним из важнейших факторов жизни растений: от ее содержания в почве зависят уровень усвоения растениями питательных веществ, содержащихся в почве, и способность культуры формировать высокий урожай.

Снизить потери урожая от недостатка естественной влаго-обеспеченности призвано орошение. Для того чтобы получить при этом максимальную прибыль, необходимо максимально приблизить проведение поливов к потребностям культуры при складывающихся погодных условиях, то есть обеспечить оптимальный режим орошения, включая поливные нормы и сроки поливов. Основа для определения качественного (оптимального) режима орошения - контроль водного баланса почвы.

Для управления поливами сельскохозяйственных культур разработан цифровой аналог алгоритма водобалансового расчета режима орошения на базе электронных таблиц программного средства *Excel*, который изложен в приложении 3.

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 ($W_{нв}$) – 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_{nn}) - 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.

Измерение показателей, характеризующих текущие метеорологические условия на орошаемом участке. Для управления поливами необходимо знать текущую информацию о состоянии погоды на орошаемом участке. В данной методике метеорологические условия характеризуются максимальной суточной температурой воздуха и атмосферными осадками. От точности измерения этих метеоданных зависит точность управления дождеванием, поскольку состояние погоды определяет динамику приходных и расходных элементов водного баланса орошаемого поля.

Для измерения метеорологических показателей используется метеопост. Участок для метеопоста должен быть открытым, ровным, удаленным от строений, деревьев и других препятствий. Поскольку атмосферные осадки выпадают крайне неравномерно и существенно изменяются по территории, для соблюдения требуемой точности водобалансового расчета метеопост оборудуется в пределах орошаемой площади, или не далее одного километра от ее границы.

Для измерения количества выпавших атмосферных осадков используются дождемер почвенный или осадкомер Третьякова.

Почвенный дождемер состоит из металлического дождемерного ведра и гнезда для установки ведра. Гнездо для установки ведра имеет форму цилиндра высотой 28 см и диаметром 35 см. Дождемерное ведро в форме цилиндра имеет приемную площадь 500 см². Для слива осадков ведро имеет впаянный носик, закрывающийся колпачком. Гнездо почвенного дождемера на открытой площадке заглубляется в почву так, чтобы его верхний край выступал на 5 см над поверхностью, а верхний срез дождемерного ведра, установленного на опоры внутри гнезда, был строго горизонтален. На дне установочной ямы делается углубление диаметром на 10-15 см меньше диаметра гнезда. Углубление предназначается для приема воды, сливающейся через отверстие гнезда.

Осадкомер Третьякова имеет приемную площадь цилиндра 200 см². Устанавливают его на специальной подставке или деревянном столбе высотой 1,5 м так, чтобы приемная поверхность прибора, имеющего высоту 0,5 м, находилась в 2 м от земли и была строго горизонтальна. Измеряют осадки специальным измерительным стаканом. Стандартный стакан имеет 100 делений. Одно деление стандартного мерного стакана вмещает 5 см³ и соответствует слою осадков в 0,1 мм. Можно для этих целей использовать и обычную мензурку с делениями, пересчитав, сколько делений вмещает объем 5 см³, которые соответствуют 0,1 мм осадков. Измерение атмосферных осадков производится в одно и то же время - утром до 10:00 (показатель за предыдущие сутки) или вечером, после 17:30 (характеризует данные за текущие сутки).

Максимальная суточная температура воздуха измеряется с помощью термометра, который располагается в защитной жалюзийной будке, установленной на метеопосту на высоте 2 м от поверхности земли. В качестве средства измерения максимальной суточной температуры рекомендуется использовать термометр метеорологический стеклянный ТМ 1. Данный термометр имеет специальное устройство, препятствующее спаданию ртутного столбика при понижении температуры.

Измерение максимальной температуры производится ежесуточно утром до 10:00 (характеризует данные за прошедшие сутки) или вечером, после 17:30 (характеризует данные за текущие сутки). Значение максимальной температуры за предыдущие или за текущие сутки используют для расчета водопотребления орошаемого поля.

Данные максимального термометра снимаются с точностью 0,1 °С. Сняв показания, встряхивают максимальный термометр, пока не установится показание не выше, чем температура на данный момент. Затем возвращают термометр обратно в будку. Следующее показание соответствует максимальной температуре воздуха, имевшей место в течение всего периода после предыдущего замера.

Изменение максимальных температур воздуха по территории незначительно, поэтому в расчетах можно пользоваться значениями максимальных суточных температур воздуха, замеренных на ближайшей к орошаемому объекту метеостанции.

Процесс замера метеоданных и их ввода в компьютер не прерывается в выходные дни в течение всего оросительного периода. Замер атмосферных осадков и максимальной температуры воздуха желательно производить в одно и то же удобное для оператора время, осуществляя его в промежутке с 0:00 до 10:00 (как показатель за предыдущие сутки) или с 17:30 до 24:00 (как показатель за текущие сутки).

Значения атмосферных осадков и максимальной температуры воздуха в компьютер вводятся ежедневно не позднее, чем в 10:30 текущих суток в любом случае, замерены они с 17:30 до 24:00 предыдущих суток или до 10:00 текущих суток.

Сразу же после ввода значений атмосферных осадков и максимальных суточных температур воздуха компьютер автоматически по заданной программе водобалансового расчета выполняет расчет влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы и показывает их значения на конец предшествующих суток, которое одновременно является значением влагозапасов на начало текущих суток

К краткосрочной информации относится также *дата начала расчетного периода*.

Датой начала расчетного периода будет являться дата отбора почвенных образцов на орошаемом поле на первой позиции полива с целью определить начальные влагозапасы в расчетном (корнеобитаемом) слое почвы.

Существует два варианта установления даты, с которой необходимо начинать проводить водобалансовые расчеты для контроля водного режима на орошаемых полях.

Для многолетних культур рекомендуются следующие даты отбора почвенных образцов для определения начальных влагозапасов в расчетном слое почвы: 11 апреля в южном и 21 апреля в северном регионе Беларуси (первый вариант).

Для сельскохозяйственных культур, посев которых производится в более поздние сроки (например, овощи), допускается второй вариант, при котором определение почвенных влагозапасов в поле выполняется аналогичным образом, но в дату, предшествующую посеву орошаемой культуры. Данные влагозапасы используют в качестве начальных (W_{nl}) для расчета по установленному алгоритму. Водобалансовый расчет в этом случае начинается с даты определения почвенных влагозапасов. Несмотря на более позднее начало водобалансового расчета, метеорологические показатели (атмосферные осадки и максимальные суточные температуры воздуха) рекомендуется вносить в базу данных компьютера с 11 апреля в южном регионе и с 21 апреля в северном регионе Беларуси.

Допускается отклонение от рекомендуемых дат определения начальных влагозапасов - не более 2-х суток ($\pm 1-2$ дня).

Определение объемной массы, влажности и влагозапасов почвы. Объемную массу почвы определяют стандартным методом «режущего кольца» при помощи объемного бура. На орошаемом поле на глубину корнеобитаемого слоя почвы отрывают шурф размером 0,5 × 0,5 м. С южной стороны шурфа с глубины, равной половине корнеобитаемого слоя, режущим кольцом заданного (известного) объема отбирают три пробы почвы, не нарушая плотность ее сложения.

Отобранную почву помещают в бьюксы и взвешивают. Затем образцы почвы в бьюксах помещают в сушильный шкаф и высушивают при постоянной температуре 105 °С до полного испарения влаги из почвы. Продолжительность высушивания зависит от типа почвы. Например, для торфяных почв до полного высушивания образцов почвы необходимо ориентировочно не менее 3 суток, для глинистой почвы - не менее 2,5, для суглини-

стой почвы - не менее 2, для супесчаной почвы - не менее 1,5, для песчаной почвы - не менее одних суток. Для подтверждения полного высушивания почвенных образцов после первого взвешивания их опять помещают в сушильный шкаф и взвешивают повторно после 2-3 часа сушки. Если разница в результатах взвешивания не превышает 0,05 г, образец считается высушенным.

Объемную массу (плотность сложения) почвы определяют по формуле

$$\gamma_{об} = \frac{M_1 - M_0}{V}, \quad (1)$$

где M_1 - масса образца почвы с бюксом (г) после высушивания в сушильном шкафу до постоянного веса;

M_0 - масса пустого бюкса, г;

V - объем внутренней полости режущего кольца, который использовался для отбора почвенного образца, см³.

Объемная влажность почвы ($v_{об}$, %) выражает содержание влаги в единице объема почвы и определяется по формуле

$$v_{об} = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 100 \quad (2)$$

где M_2 и M_1 - масса образца отобранной почвы с бюксом (г), соответственно до высушивания и сухой после высушивания в сушильном шкафу до постоянного веса.

Объемная влажность, средняя для всего расчетного слоя почвы (например, для полуметрового слоя), вычисляется по формуле

$$v_{об} = (v_{об(0-10)} + v_{об(10-20)} + \dots + v_{об(40-50)}) / 5 \quad (3)$$

где $v_{об(0-10)} \dots v_{об(40-50)}$ - объемные влажности отобранных почвенных образцов, вычисленные по формуле (2) для каждого слоя: (0-10 см), (10-20 см), (20-30 см), (30-40 см), (40-50 см), %;

5 - количество почвенных слоев, шт.

Влагозапасы почвы соответствующие наименьшей влагоемкости. Для определения в полевых условиях влагозапасов, соответствующих наименьшей влагоемкости почвы, используют стандартный «метод залива площадок». На участке поля выбирают ровную площадку размером примерно 2,5 × 2,5 м. Поверхность площадки рыхлят на глубину 10-15 см, как принято при возделывании полевых культур. Затем площадку по периметру обваловывают земляным валиком высотой 30 см и с шириной у основания 50-55 см. Почву для обвалования выбирают с внешней стороны валика. Внутри обвалованной площади устанавливают деревянную или металлическую рамку размером 1,5 × 1,5 м и высотой 35-40 см, которую вдавливают в почву на глубину 6-8 см, чтобы уменьшить растекание воды, подаваемой внутрь рамки.

На подготовленную подобным образом учетную площадку (внутри рамки) постепенно (чтобы вода не перетекала за бортики рамки) подают такой объем воды, который насытит корнеобитаемый слой почвы до полной влагоемкости. Приблизительно это составляет около 3-4 м³ для минеральных почв и 5-6 м³ для торфяных почв. Такой объем воды приблизительно равен полной влагоемкости метрового слоя почвы.

После выдачи на площадку и впитывания в почву всей воды учетную площадку и защитную полосу (между рамой и валиками) закрывают полиэтиленовой пленкой и покрывают сверху 40-сантиметровым слоем соломы или травы для предохранения от потерь воды на испарение. Через двое суток на песчаных почвах, через трое на почвах супесчаных и через четверо на почвах суглинистых с площадок снимают защиту от испарения. Внутри учетной площадки отрывают шурф несколько глубже расчетного (корнеобитаемого) слоя почвы (плюс 10-15 см) и с южной его стороны послойно, в трех точках (в трехкратной повторности) на глубинах 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 см и т. д., на всю глубину расчетного слоя почвы, с помощью режущего кольца известного объема отбирают образцы почвы.

Затем по стандартной методике послойно определяют объемную массу и объемную влажность почвы.

Влагозапасы при наименьшей влагоемкости (в мм) определяются для всего расчетного слоя почвы по полученным послойно влажностям с использованием формулы

$$W_{нв} = 0,1v_{об(нв)} \times h \quad (4)$$

где $v_{об(нв)}$ - объемная влажность, вычисленная по формулам (2), (3) по образцам почвы, взятым после ее насыщения до наименьшей влагоемкости (НВ), средняя для всего расчетного слоя почвы, %;

h - мощность расчетного слоя почвы в см.

Ориентировочные значения влагозапасов почвы при наименьшей влагоемкости приведены в табл. 2.

Начальные влагозапасы (W_{HI}) выражают в миллиметрах и вычисляют для всего расчетного слоя по объемной влажности почвенных образцов (в %), отобранных в дату, предшествующую началу расчетного периода. Например для слоя (0-50 см):

$$W_{HI} = v_{об(0-10)} + v_{об(10-20)} + v_{об(20-30)} + v_{об(30-40)} + v_{об(40-50)} \quad (5)$$

где W_{HI} - начальные влагозапасы почвы для слоя (0-50 см), мм;

$v_{об(0-10)} \dots v_{об(40-50)}$ - объемные влажности отобранных почвенных образцов, вычисленные по формуле (2) для каждого почвенного слоя (0-10 см), (10-20 см), (20-30 см), (30-40 см), (40-50 см), %.

Если объемная масса почвы на орошаемом поле была определена заранее, то при расчете начальных влагозапасов почвы можно воспользоваться абсолютной (весовой) влажностью почвы. Она выражает содержание влаги, отнесенное не к объему, а к массе высушенного образца и может быть определена с нарушением естественного сложения почвы при наборе непосредственно в бюксы. Для этого почву, отобранную из шурфа на заданной глубине, насыпают в бюкс до полного его заполнения. Сырую почву в бюксах взвешивают и затем высушивают в сушильном шкафу при постоянной температуре 105 °С до полного испарения влаги из почвы. Абсолютная весовая влажность почвы определяется по формуле:

$$v = \frac{M_2 - M_1}{M_1 - M_0} \times 100, \% \quad (6)$$

где M_2 и M_1 - масса образца отобранной почвы с бюксом (г), соответственно, до высушивания и после высушивания в сушильном шкафу до постоянного веса;

M_0 - масса пустого бюкса, г.

Объемная влажность ($v_{об}$) связана с абсолютной (весовой) влажностью почвы соотношением:

$$v_{об} = \gamma_{об} \times v \quad (7)$$

Поскольку почва по профилю обычно обладает переменной плотностью (объемной массой), то пользоваться весовой влажностью при вычислении влагозапасов почвы не всегда правомерно. Предпочтительнее при определении начальных влагозапасов использовать объемную влажность, определенную непосредственно в полевых условиях.

Второй вопрос

Сбор исходных данных осуществляется специалистами, непосредственно управляющими орошением сельскохозяйственных культур, владеющими методиками определения водно-физических характеристик орошаемых почв и расчета их водного баланса. К цифровой обработке данных могут привлекаться имеющие соответствующую квалификацию работники научно-исследовательских организаций, специализированных предприятий или учреждений образования гидромелиоративного профиля.

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).

Для измерения и дальнейшего учета влияния складывающихся метеорологических условий на водный режим орошаемых почв необходимо недалеко от границы орошаемой площади устроить метеопост, установив на нем осадкомер (предпочтительнее почвенный, можно и др.), а рядом, в метеорологической будке, максимальный термометр (ТМ1) для ежесуточного измерения максимальной температуры воздуха. Работать с приборами следует согласно прилагаемым к ним инструкциям и рекомендациям. Поскольку максимальные суточные температуры воздуха по территории различаются незначительно, то в расчетах можно пользоваться данными ближайшей к орошаемому объекту метеостанции.

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 влагозапасов при *наименьшей влагоемкости почвы* (табл. 1 и 2).

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 (т) 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 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 ($W_{НВ}$), 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

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

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 с учетом потерь поливной воды на испарение в процессе полива и на снос ветром за пределы участка. В условиях Беларуси они больше в среднем на 15 % по сравнению с приведенными в табл. 3.

Предполивные влагозапасы ($W_{ПП}$) меньше наименьшей влагоемкости на полуторную величину заданной поливной нормы (нетто), то есть:

$$W_{ПП} = W_{НВ} - 1,5m$$

где $W_{ПП}$ - предполивные влагозапасы почвы, мм;

$W_{НВ}$ - наименьшая влагоемкость почвы, мм (табл. 2);

m - заданная поливная норма нетто, мм (табл. 3).

Биотермические коэффициенты для основных орошаемых в Беларуси сельскохозяйственных культур представлены в табл. 4 по декадам вегетационного периода или по циклам использования. Они являются исходной информацией для определения водопотребления орошаемых культур.