

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВОДНОГО БАЛАНСА

*И. А. Романов, ассистент*

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

### Аннотация

Выполнена оценка затрат на управление эксплуатационным режимом орошения с помощью водобалансовых расчетов. Приведен краткий литературный обзор существующих методов управления режимом орошения. Отмечено, что наиболее точным методом контроля влажности почвы является термостатно-весовой метод, однако данный метод отличается высокой трудоемкостью. В качестве производственного метода управления режимом орошения предлагается использовать метод водного баланса почвы. Сравнение эксплуатационных затрат на установление сроков полива сельскохозяйственных культур с помощью водобалансовых расчетов по предложенному нами алгоритму и с применением термостатно-весового способа показало ежегодную экономию 1780 руб. в расчете на 100 га.

**Ключевые слова:** водный баланс, орошение, датчики влажности почвы, водобалансовый расчет, дождевальная техника.

### Abstract

*I. A. Romanov*

### ECONOMIC EVALUATION OF IRRIGATION MANAGEMENT USING THE WATER BALANCE METHOD

An assessment of the costs of managing the operational regime of irrigation using water balance calculations was made. A brief literature review of the existing methods of irrigation regime control is given. It is noted that the most accurate method of controlling soil moisture is the thermostatic-weight method, however, this method is highly labor-intensive. It is proposed to use the method of soil water balance as a production method for controlling the irrigation regime. Comparison of operating costs of determining for the timing of irrigation of agricultural crops using water balance calculations according to the algorithm proposed by us and using the thermostatic-weight method showed an annual saving of 1780 rubles per 100 ha.

**Keywords:** water balance, irrigation, soil moisture sensors, water balance calculation, sprinkling equipment.

### Введение

Оросительные мелиорации для влаголюбивых овощных и кормовых культур, возделываемых на территории Беларуси, являются важным фактором интенсификации и повышения эффективности земледелия и животноводства. В зоне рискованного земледелия, подверженного периодическим засухам, особенно важно создание благоприятного водного режима для сельскохозяйственных растений посредством орошения.

Эффективность орошения в производственных условиях зависит от качества управления каждым поливом, определяемого точностью установления сроков его начала и завершения.

Способы назначения сроков и норм полива можно разделить на три группы: инструментальные, расчетные и органолептические [1–4].

Инструментальный способ назначения поливов требует применения специализирован-

ных приборов для определения наступления срока пополнения почвенных влагозапасов. Индикатором, указывающим на необходимость проведения полива, в таких случаях служит степень влагонасыщения почвы или растения.

При назначении сроков поливов по состоянию почвы используют прямые и косвенные методы для измерения текущего содержания влаги в почве. К прямым относятся термогравиметрические, химические, экстракционные и пикнометрические способы [5]. Они позволяют непосредственно измерять количество влаги, содержащейся в почве.

Наиболее применяемым прямым методом измерения влажности почвы служит термостатно-весовой метод. Его суть заключается в отборе образцов почвы с требуемой глубины с помощью почвенного бура и помещении образцов в бюксы с последующим взвешиванием. После взвешивания бюксы отправляются в

сушильный шкаф, где высушиваются на протяжении, как правило, не менее 8 часов при температуре 105 °С. Затем бюксы извлекаются из сушильного шкафа, охлаждаются и опять взвешиваются. Искомое количество влаги определяется как разница между массой влажной и сухой почвы [6].

Косвенные методы ориентированы на контроль за каким-либо свойством почвы, коррелирующим с ее влажностью. Например, приборы и датчики для косвенного определения влажности почвы используют связь влажности почвы с ее водным потенциалом, температурой, скоростью проникновения электромагнитных или нейтронных излучений, электрической проводимостью и т. п. [7]. В орошаемом земледелии часто применяются тензиометры, пористые сенсоры, FDR-сенсоры и другие приборы [8]. Однако косвенные методы менее точны и требуют предварительной калибровки – в этом

### Методика проведения исследований

В соответствии с результатами наших исследований расчет эксплуатационного режима орошения рекомендуется вести посуточно, то есть с шагом в одни сутки. Это позволяет избежать больших ошибок, свойственных для периодов переувлажнения почвы в связи с обильными атмосферными осадками, выпадающими в течение вегетации, что характерно для Беларуси [11].

Уравнение водного баланса расчетного слоя почвы для территорий с глубоким залеганием грунтовых вод имеет вид [9]:

$$W_{Ki} = W_{Hi} + P_i + m_i - \varphi E_{mi} - C_i \quad (1)$$

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;

$P_i$  – осадки за  $i$ -е сутки, мм;

$m_i$  – поливная норма (нетто), если в  $i$ -е сутки выполнен полив начальной позиции, мм;

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий зависимость водопотребления растений от увлажненности почвы в  $i$ -е расчетные сутки;

$E_{mi}$  – максимальное водопотребление орошаемой культуры (суммарное испарение) за

закладывается их основной недостаток. Предварительная калибровка состоит в построении калибровочной кривой по данным о влажности почвы, полученной прямым методом измерения влажности. Это обуславливает довольно высокую стоимость и низкую масштабируемость использования такой методики.

Расчетные способы управления эксплуатационным режимом орошения получили наиболее широкое распространение. Именно на основе контроля за элементами водного баланса почвы разрабатываются технологии управления водным режимом растений при орошении в производственных условиях [1, 2].

В данной статье выполнена сравнительная количественная оценка затрат на управление режимом орошения в производственных условиях на основе термостатно-весового метода и водобалансовых расчетов по предложенному нами алгоритму [9, 10].

$i$ -е расчетные сутки (при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости), мм;

$C_i$  – величина сбросов излишков осадков и поливных вод в  $i$ -е сутки за пределы расчетного слоя в периоды переувлажнений.

Согласно уравнению (1) управление водным режимом требует два вида исходной информации: постоянную (единовременную) и переменную (суточную). К условно постоянной информации (единовременной) относятся начальные влагозапасы первой позиции полива орошаемого участка, наименьшая влагоемкость почвы, тип (гранулометрический состав) почвы, биотермические коэффициенты и поливная норма. Переменная (суточная) информация – это максимальная суточная температура воздуха и атмосферные осадки. Затраты на получение данной информации зависят в большой степени от требуемой точности расчета, площади орошения и финансовых возможностей предприятия, обеспечивающего организацию и управление орошением.

### Результаты исследований и их обсуждение

Для уменьшения затрат на организацию и управление режимом орошения мы пред-

лагаем использовать три варианта получения исходной информации.

Вариант 1. *Минимум эксплуатационных затрат. Высокая погрешность.*

Данный вариант не предусматривает специальных средств и оборудования для сбора исходной информации. Постоянная информация при этом варианте управления принимается по справочной литературе [12]. Переменная информация берется из открытых интернет-источников государственной метеорологической сети [12].

Названный вариант получения исходной информации актуально применять в случаях, когда у хозяйства есть небольшие орошаемые площади, полив которых можно завершить за 1–2 дня и погрешность в определении сроков полива существенно не повлияет на режим орошения и его эффективность.

Вариант 2. *Средний уровень эксплуатационных затрат. Средняя погрешность.*

При таком уровне организации управления режимом орошения требуются регулярные метеонаблюдения за атмосферными осадками и максимальной суточной температурой воздуха вблизи орошаемого участка. Водно-физические свойства почвы при этом устанавливаются в полевых условиях один раз в сезон: перед началом водобалансового расчета.

Вариант 3. *Высокий уровень эксплуатационных затрат. Максимальная точность.*

Этот вариант получения исходной информации рекомендуется применять при значительных площадях с орошением и пестром гранулометрическом составе почв, а также при проведении научных исследований. Всю необходимую исходную информацию получают непосредственно на орошаемом массиве.

Для экономической оценки управления водным режимом сравним затраты на инструментальный (базовый вариант) и расчетный способы (новый вариант) управления режимом орошения. Согласно предложенной методике [13] мы оценим затраты на планирование орошения при базовом и новом вариантах.

В качестве базового варианта управления режимом орошения мы определяли сроки начала полива путем измерения влажности почвы термостатно-весовым методом, который остается эталонным. Он применяется для калибровки датчиков влажности почвы и контроля за динамикой влажности почвы [1].

Для качественного управления режимом орошения при определении сроков полива термостатно-весовым способом рекомендуется отбирать пробы почвы через каждые 5–10 дней в зависимости от погодных условий [3, 14–16]. С учетом того, что поливы могут быть нужны уже в мае, за период май – август может потребоваться от 12 до 25 выездов на орошаемое поле для определения влажности почвы.

Количество точек измерений будет зависеть от пестроты гранулометрического состава почвы, рельефа местности, орошаемых культур и длины межполивного интервала [5].

При проектировании оросительных систем тип используемой дождевальной техники зависит от площади орошаемого массива. В Беларуси наиболее распространены широкозахватные дождевальные машины кругового типа и дождевальные машины барабанного типа. Широкозахватные машины кругового типа могут иметь различную площадь орошения: так, дождевальная машина фирмы *Reinke*, применяемая в КСУП «Брилево» Гомельского р-на, с одной позиции орошает 98 га. В КСУП «Светлогорская овощная фабрика» используется дождевальная машина «Фрегат» с площадью орошения 47 га и две машины фирмы *Reinke* с площадью орошения 192 га [17]. В ОАО «Фирма “Кадино”» эксплуатируется широкозахватная дождевальная машина фирмы *T-L* с площадью орошения 56 га.

Дождевальные машины барабанного типа представлены различными моделями, как зарубежными *Beinlich Monsun, Nettuno, Bauer, Irriland*, так и отечественными УД-2500, ПДМ-3000. В основном сезонная нагрузка на дождевальную машину барабанного типа не превышает 40 га [14, 18].

Таким образом, сезонная производительность дождевальной техники может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от культуры, типа почвы, погодноклиматических условий (оросительной нормы) и конкретных производственных ограничений.

Для упрощения расчетов выполним экономическую оценку качественного управления поливом для площади в 100 га на примере оросительного комплекса в ОАО «Фирма “Кадино”» Могилевской обл.

При качественном инструментальном управлении режимом орошения на каждые

10 га требуется не менее трех точек измерений влажности почвы [2, 3], и тогда исходные данные для расчетов будут следующими:

- размер орошаемой площади – 100 га;
- удаленность от базы организации – 5 км;
- количество выездов за май – август для отбора проб образцов почвы – 19;
- количество точек отбора образцов – 30.

Время отбора образцов почвы через каждые 10 см до глубины 50 см с одной позиции (точки), с учетом перемещений на следующую позицию (точку), составит в среднем 20 минут согласно хронометражу. Удаленность от автоматизированной метеостанции менее 5 км. В данном варианте будем считать, что все необходимое оборудование (табл. 1) в организации имеется и стоимость его приобретения не учитывается, однако учтём, что срок службы оборудования составляет 10 лет, а величину амортизации рассчитаем линейным способом.

В новом варианте мы используем разработанный нами алгоритм для расчета с высо-

ким уровнем вложений; он гарантирует максимальную точность управления поливом. В этом случае начальные влагозапасы определяются термостатно-весовым методом, метеоданные принимаются по ближайшей метеостанции (расстояние менее 5 км). В расчетах учтем, что для внесения суточных метеоданных в расчет водного баланса по предложенному нами алгоритму расчета и на определение сроков полива потребуется в среднем 15 минут. Выезд на объект предполагается на УАЗ 3741, расход топлива для данного автомобиля по техническому паспорту составляет 11,2 л на 100 км. Оплату заработной платы работника, определяющего сроки поливов, будем принимать исходя из ненормированного рабочего дня с почасовой оплатой. Из справочной литературы известно, что средняя стоимость 1 часа работы в сельском хозяйстве по итогам первого квартала 2022 г. составляла 6,3 руб. Рассмотренные варианты отражены в табл. 2.

Таблица 1. Используемое оборудование при определении влажности почвы термостатно-весовым методом

Наименование	шт.	Цена, руб. (на 01.06.2022)
Шкаф сушильный ШС-80-01-СПУ	1	1400
Бюксы алюминиевые с крышкой 30 x 40	450	1650
Бур почвенный АМ-26	1	1000
Весы лабораторные ВК-600	1	1400
Ящик для инструментов Deko DKTB30	1	80
Ноутбук ASUS E510MA-BR698	1	1075
Итого	–	6605

Таблица 2. Техничко-экономические показатели управления режимом орошения

Показатели	Ед. изм.	Варианты	
		Базовый	Новый
Срок службы оборудования	лет	10	10
Стоимость оборудования	руб.	6605	6605
Годовая норма амортизации	руб.	660,5	660,5
Оплата труда работника	руб./час	6,3	6,3
Затраты на однократное определение влагозапасов в почве термостатно-весовым методом на 100 га			
Затраты времени на отбор почвенных проб в одной контрольной точке (слой 0–50 см)	мин	20	20
Количество точек на 100 га	шт.	30	30
Затраты времени для отбора проб	час	10	10
Оплата электроэнергии (работа сушильного шкафа)	руб.	2,8	2,8
Затраты времени на взвешивание бюксов	час	6	6
Стоимость определения влажности	руб.	103,6	

Окончание табл. 2

Затраты за оросительный период (май – август, 100 га)			
Количество выездов	шт.	19	1
Расстояние до объекта	км	5	5
Затраты на топливо	руб.	52,35	2,76
Общая стоимость измерений влажности почвы инструментальным способом	руб.	1968,40	103,6
Затраты времени на расчет сроков полива	час	9,5	30,75
Оплата труда работника за обработку данных	руб.	59,85	193,73
Размер ежегодных затрат	руб.	2741,10	960,6
Экономия средств	руб.	–	1780,50

Проанализировав табл. 2, можно сделать вывод, что предложенный нами вариант управления режимом орошения позволяет ежегодно экономить 1780 руб. (в

### Заключение

Затраты на получение исходной информации для управления режимом орошения в производственных условиях с помощью водобалансовых расчетов в значительной степени зависят от планируемой эффективности орошения, диктующей задаваемую точность расчета. Для уменьшения затрат на организацию и управление режимом орошения мы предлагаем использовать три варианта получения исходной информации:

1 вариант – получение постоянной и переменной исходной информации из открытых источников (затрат нет, низкая точность расчета);

2 вариант – получение постоянной информации на орошаемом объекте, а перемен-

расчете на 100 га). При использовании базового варианта управления режимом орошения потребуются штатная единица инженера-гидротехника на весь оросительный период.

ной – из открытых источников (средний уровень затрат, средняя точность);

3 вариант – получение постоянной и переменной информации на орошаемом объекте (максимальный уровень затрат, высокая точность расчета и максимальная эффективность орошения).

Сравнение эксплуатационных затрат на установление сроков полива сельскохозяйственных культур с помощью водобалансовых расчетов по предложенному нами алгоритму и с использованием термостатно-весового способа показало ежегодную экономию 1780 руб. в расчете на 100 га.

### Библиографический список

1. Тищенко, А. П. Оперативное управление режимами орошения сельскохозяйственных культур по инструментальному методу / А. П. Тищенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1. – С. 17–23.

2. Афанасик, Г. И. Методические указания по определению водно-физических почвогрунтов мелиорируемых земель / Г. И. Афанасик, К. П. Лундин. – Минск : БелНИИМивХ, 1973. – 82 с.

3. Голченко, М. Г. Методические рекомендации по оперативному планированию режимов дождевания сельскохозяйственных культур на минеральных почвах Белорусской ССР / М. Г. Голченко, В. И. Вихров, О. А. Шавлинский. – Горки : Белсельхозакадемия, 1986. – 44 с.

4. Evett, S. R. Soil Water and Monitoring Technology / S. R. Evett // Irrigation of Agricultural Crops : in 2 ch. / American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, R. J. Lascano and R. E. Sojka (ed.). – 2nd ed., ch. 2. – Madison, WI, 2007. – P. 25–84. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr30.2ed.c2>

5. Берлинер, М. А. Измерение влажности / М. А. Берлинер. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Энергия, 1973. – 400 с.

6. Лысогоров, С. Д. Практикум по орошаемому земледелию / С. Д. Лысогоров, В. А. Ушкаренко. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 128 с.

7. Шадских, В. А. Выращивание сельскохозяйственных культур по заданной программе / В. А. Шадских, В. Е. Кижаяева // Вестн. Саратов. гос. агроун-та им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 8. – С. 46–49.
8. Панкова, Т. А. Определение влажности почвы для регулирования режима орошения сельскохозяйственных культур в условиях Саратовского Заволжья / Т. А. Панкова, А. Н. Руковичникова // Научн. жизнь. – 2013. – № 4. – С. 17–23.
9. Лихацевич, А. П. Управление режимом орошения сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88). – С. 18–25.
10. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях, обеспечивающему за счет оперативности и повышения качества полива условия для получения максимальной прибыли от орошения сельскохозяйственных культур / А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина [и др.] ; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию; РУП «Институт мелиорации». – Минск : Институт мелиорации, 2020. – 40 с.
11. Лихацевич, А. П. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2017. – № 2 (80). – С. 5–9.
12. Фактическая погода за последний срок наблюдения [Электронный ресурс] / Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей сред». – Режим доступа: <https://belgidromet.by/>. – Дата доступа: 03.09.2022.
13. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рацпредложений [Электронный ресурс] / АО «Информационная компания «Кодекс». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/600208>. – Дата доступа: 12.09.2022.
14. Желязко, В. И. Применение мобильной барабанно-шланговой дождевальной установки *Bauer Rainstar T-61* в условиях Могилевской области : рекомендации / В. И. Желязко, В. М. Лукашевич. – Горки : УО «БГСХА», 2014. – 24 с.
15. Набздоров, С. В. Влияние пищевого режима, влаго- и теплообеспеченности вегетационных периодов на водопотребление сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2020. – № 4. – С. 135–142.
16. Дрозд, Д. А. Водопотребление и режим орошения сортов клевера лугового различных групп спелости / Д. А. Дрозд, Ю. В. Алехина // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 3. – С. 201–206.
17. Латушкина, Г. В. Оценка эффективности орошения овощных культур в условиях Беларуси / Г. В. Латушкина, А. П. Лихацевич, А. С. Анженков // Мелиорация. – 2019. – № 4 (90). – С. 26–31.
18. Лихацевич, А. Орошение овощных культур в условиях Белоруссии / А. Лихацевич, Г. Латушкина // Овощеводство и теплич. хоз-во. – 2016. – № 5. – С. 46–47.

Поступила 21 ноября 2022 г.