

15. Jendritzky G, Havenith G, Weihs P, Batchvarova E (2009) Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. Final Report COST Action 730, Freiburg.
16. Jendritzky G, de Dear R, Havenith G (2012) UTCI—why another thermal index? *Int J Biometeorol* 56(3):421–428.
17. VDI, (2008): VDI Guideline 3787, Part 2: Environmental Meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. VDI.
18. Staiger, H.; Laschewski, G.; and Graetz, A., (2012): The perceived temperature - a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal of Biometeorology* 56(1), 165–176. doi: 10.1007/s00484-011-0409-6.
19. Matzarakis, A.; Mayer, H.; and Iziomon, M. G., (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2), 76–84. DOI: 10.1007/s004840050119.
20. Matzarakis, A. and Mayer, H., (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* (18), 7–10.
21. Климатическая характеристика июня 2021 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-karakteristika-ijunja-2021-goda-4361-2021/>. – Дата доступа : 20.05.2022.
22. Архив погоды – Беларусь – Минск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=26850> – Дата доступа : 20.05.2022.

УДК 631.674

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОЛИВНЫХ НОРМ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

*А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина*

РУП «Институт мелиорации», Минск, Беларусь, [nimel@mail.ru](mailto:nimel@mail.ru)

### **Аннотация**

Разработана методика определения оптимальных поливных норм, которая позволяет установить наиболее экономически выгодное соотношение между прибавкой урожая и суммарными затратами на ее получение на орошаемом поле с учетом технико-экономических показателей конкретной оросительной системы.

**Ключевые слова:** методика, поливная норма, сельскохозяйственные издержки, водно-физические свойства почв, затраты на орошение.

## **DETERMINATION OF OPTIMUM IRRIGATION RATES FOR IRRIGATION OF AGRICULTURAL PLANTS**

*A. S. Anzhenkov, A. P. Likhatsevich, G. V. Latushkina*

## **Abstract**

Work out the methodology for determining the optimal irrigation norms allows us to establish the most economically advantageous ratio between the increase in yield and the total costs of obtaining it in an irrigated field, taking into account the technical and economic indicators of a specific irrigation system.

**Keywords:** methodology, irrigation rate, agricultural costs, water-physical properties of soils, irrigation costs.

**Введение.** Рентабельность производства, в том числе сельскохозяйственного, определяется соотношением расходов и выручки. Использование относительно затратных поливов, при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях ограниченных ресурсов, требует поиска наиболее эффективного режима орошения, позволяющего обеспечить максимально возможную экономическую отдачу и быструю окупаемость вложенных инвестиций в данное мероприятие.

Значительный экономический интерес представляет уменьшение затрат на проведение орошения. Данные показатели в значительной мере зависят от величины поливной нормы.

Результаты исследований режимов орошения сельскохозяйственных культур в регионах с периодическим недостатком естественной влагообеспеченности свидетельствуют о существенной зависимости урожая от степени увлажнения почвы. Однозначно установлено, что с повышением уровня увлажненности почвы пропорционально растет и урожайность орошаемой культуры, если при этом отсутствует переувлажнение и обеспечен свободный воздухообмен в корнеобитаемой зоне. Наиболее благоприятная влагообеспеченность для растений при орошении достигается за счет проведения более частых поливов меньшими нормами, что, в свою очередь, приводит к увеличению числа поливов в течение вегетационного периода.

В настоящее время, при назначении величины поливной нормы принято учитывать только мощность корнеобитаемого слоя орошаемой культуры и водоудерживающую способность почвы, ориентируясь на нижний предел ее «оптимальной» влажности – так называемую критическую влагоемкость [1]. Однако при таком подходе «за скобками» остается вопрос ожидаемой экономической эффективности.

Для перехода от технического нормирования орошения к технико-экономически обоснованному разработана методика определения оптимальных поливных норм, обеспечивающих получение максимальной прибыли с учетом затрат на полив и стоимости прибавок урожаев от орошения. Данная методика позволит устанавливать экономически обоснованные режимы орошения и планировать поливы нормой, дающей максимальный эффект. Особенно актуальна данная методика для культур с высокой рыночной стоимостью, для которых будет получен наибольший прирост чистого дохода от использования разработанной методики.

**Материалы и методы.** Для определения технико-экономически обоснованных поливных норм используются показатели, охватывающие весь

спектр сельскохозяйственных издержек на возделывание, уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию растениеводческой продукции, а также затрат на ее орошение, учитывая которые можно обеспечить получение такой прибавки урожая, которая принесет хозяйству наиболее высокую чистую прибыль.

В перечень этих показателей включены: водно-физические свойства в увлажняемом при поливе корнеобитаемом слое почвы (наименьшая влагоемкость и влагозапасы завядания), определяемые по стандартным методикам или справочной литературе [2]; цена реализации выращиваемой на орошаемом поле сельскохозяйственной продукции (руб./т); затраты на уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию продукции, определяемые на основе нормативных материалов, содержащихся в типовых технологических картах или на основе соответствующих средних затрат, фактически складывающихся в хозяйстве (руб./т); прогнозный максимальный урожай сельскохозяйственной культуры, который может быть получен при оптимальном водном режиме с учетом всех факторов сельхозпроизводства (потенциал семенного материала, дозы удобрений, техника и технология возделывания, плодородия почвы и т. д.), т/га; коэффициент полезного действия (КПД) оросительной системы; объем воды, забираемой из водосточника насосной станцией для орошения культуры на данном объекте за один час, м<sup>3</sup>/час; средние затраты на 1 час проведения орошения (зависящие от конструкции оросительной системы), руб./га. *Для действующей оросительной системы все поименованные выше показатели устанавливаются непосредственно в хозяйстве с привлечением почвенных карт, данных бухгалтерской отчетности по орошаемым культурам и справочных данных по водно-физическим свойствам орошаемых почв, технике, режимам и технологиям орошения сельскохозяйственных культур. Для проектируемой оросительной системы вышеуказанные показатели устанавливаются проектной организацией с привлечением почвенных карт, данных бухгалтерской отчетности хозяйства на объекте проектирования, по справочным данным и объектам-аналогам.*

**Результаты и обсуждения.** Расчет технико-экономически обоснованной поливной нормы при орошении сельскохозяйственных культур в открытом грунте осуществляется по теоретически обоснованной зависимости, объединяющей водно-физические свойства почв, технические и технологические характеристики поливной техники и экономические показатели орошения сельскохозяйственных культур

$$m_o = \frac{b(W_{HB} - W_{B3})^2}{2a^2\eta(c-r)Y_m} \left( c_B + \beta \frac{C_{\Pi}}{Q} \right), \quad (1)$$

где  $m_o$  – технико-экономически обоснованная поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $b$  – коэффициент, зависящий от водоудерживающей способности почвы и имеющий размерность «полив»: для овощных культур, возделываемых на песчаных почвах, он равен 3,2, на супесчаных почвах – 2,5, на суглинистых почвах – 2,3;  $W_{HB}$  – оптимальные влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоемкости почвы,

$\text{м}^3/\text{га}$ ;  $W_{\text{ВЗ}}$  – влагозапасы завядания,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $a$  – коэффициент, зависящий от режима и технологии орошения и имеющий размерность «полив»: при дождевании по общепринятой технологии коэффициент  $a = 0,75$ ;  $\eta$  – коэффициент полезного действия оросительной системы, учитывающий потери поливной воды при проведении поливов (при поливе дождеванием потери воды в зависимости от условий проведения полива составляют 0,94–0,85 %);  $c$  – цена реализации продукции растениеводства, руб./т;  $r$  – затраты на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию прибавки урожая, руб./т;  $Y_m$  – максимальная урожайность культуры, которую можно получить при оптимальном водном режиме почвы, т/га;  $c_{\text{В}}$  – стоимость воды, забираемой из водоисточника для проведения орошения при платном водопользовании, руб./ $\text{м}^3$  (в Беларуси в настоящее время  $c_{\text{В}} = 0$ );  $\beta$  – норматив превышения суммарного времени, затраченного на полив, техническое обслуживание поливной техники и ремонты, над временем, затраченным только на подачу оросительной воды насосной станцией;  $C_{\text{П}}$  – суммарные затраты средств за 1 час работы всей оросительной системы (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, со всеми налогами), руб./ч;  $Q$  – расход воды, подаваемый насосной станцией в оросительную систему из водоисточника,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Средние затраты за 1 час проведения орошения, зависящие от конструкции оросительной системы, определяются по фактическим данным прошлых лет в хозяйстве или по объектам-аналогам

$$C_{\text{П}} = C_{\text{В}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{РАБ}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{П}}$  – суммарные затраты средств на 1 час работы оросительной системы (с учетом налогов), руб./ч;  $C_{\text{В}}$  – затраты на оросительную воду, поданную насосной станцией из водоисточника за 1 час работы оросительной системы, руб./ч;  $C_{\text{ГСМ}}$  – затраты на горюче-смазочные материалы за один час работы, руб./ч;  $C_{\text{ЭЛ}}$  – затраты на электроэнергию за один час работы, руб./ч;  $C_{\text{РАБ}}$  – затраты персоналу за перекачку воды, обслуживание оросительной техники, выполнение поливов, проведение ремонтов оросительной системы (с учетом налоговых отчислений) за один час работы, руб./ч.

Затраты на поливную воду, поданную за 1 час работы оросительной системы, появляются при платном водопользовании. Они равны

$$C_{\text{В}} = c_{\text{В}} Q, \quad (3)$$

где  $c_{\text{В}}$  – стоимость воды, забираемой для полива насосной станцией из водоисточника (с учетом налогов), руб./ $\text{м}^3$ ;  $Q$  – расход насосной станции (объем воды, поданной за 1 час в оросительную систему из водоисточника для орошения данной культуры),  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Для действующей оросительной системы объем воды, поданной за 1 час в оросительную систему из водоисточника для орошения данной культуры, равен нормативному расходу оросительной техники, проводящей полив. Для проектируемой оросительной системы он соответствует водопотреблению орошаемой культуры

$$Q = \frac{\varepsilon_p F_{\text{HT}}}{\eta K_6}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_p$  – расчетная интенсивность водопотребления орошаемой культуры с единицы площади,  $\text{м}^3/(\text{га}\cdot\text{ч})$ ;  $F_{\text{HT}}$  – площадь орошаемого участка (нетто), га;  $K_6$  – коэффициент, учитывающий потери времени на холостые перебазировки оросительной техники.

Затраты ( $C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{РАБ}}$ ) за один час проведения орошения с учетом налоговых отчислений устанавливаются для действующей оросительной системы непосредственно в хозяйстве с привлечением данных бухгалтерской отчетности по орошаемым культурам и справочных данных по технике, режимам и технологиям орошения сельскохозяйственных культур. Для проектируемой оросительной системы указанные выше показатели устанавливаются проектной организацией с привлечением бухгалтерской отчетности хозяйства на объекте проектирования и по справочным данным.

Для расчета технико-экономически обоснованной поливной нормы при орошении культур в открытом грунте можно также использовать формулу, подобную (1), но более простую с позиции сбора исходных данных

$$m_o = \frac{b(W_{\text{HB}} - W_{\text{ВЗ}})^2}{2a^2\eta(c-r)Y_m} \left( c_B + \frac{Z}{M_{\text{БР}}} \right), \quad (5)$$

где  $Z$  – суммарные затраты на орошение в конкретный год (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, со всеми налогами), руб./га;  $M_{\text{БР}}$  – количество воды, забираемой из водоисточника для орошения в тот же год,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

Количество воды, забираемой из водоисточника для орошения можно определить по производительности насосной станции

$$M_{\text{БР}} = \frac{QT}{F}, \quad (6)$$

где  $Q$  – расход (объем) воды, подаваемый насосной станцией из водоисточника,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $T$  – продолжительность работы насосной станции в конкретном году, ч,  $F$  – орошаемая площадь, га.

Суммарные затраты на орошение ( $Z$ ) в конкретном году и количество воды, забранной из водоисточника для орошения культуры в том же году, можно получить из бухгалтерской отчетности хозяйства.

В качестве примера ниже представлен расчет оптимальных технико-экономически обоснованных поливных норм на основе данных среднесезонных показателей по урожайности ряда сельскохозяйственных культур и затратам на их производство в хозяйствах, применяющих орошение (таблица 1). Расчет выполнен для трех овощных культур (капуста среднепоздних сортов, морковь столовая, лук репчатый) и картофеля, возделываемых на

дерново-подзолистых суглинистых почвах, подстилаемых легким суглинком. Орошение на полях с овощными культурами осуществляется мобильной шланговой дождевальными машинами ПДМ-2500, агрегатируемой с трактором МТЗ-82. Для забора воды из открытого водоисточника используется дизель-насосная установка.

Влагозапасы в корнеобитаемом слое (0–50) см для дерново-подзолистых суглинистых почв при насыщении до наименьшей влагоемкости ( $W_{НВ}$ ) равны  $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ , влагозапасы устойчивого завядания  $W_{ВЗ}$  составляют  $400 \text{ м}^3/\text{га}$  (это минимальные, недоступные для растений влагозапасы в расчетном слое почвы).

Приводим пример расчета  $m_0$  по зависимости (1) для лука репчатого при планируемой урожайности  $60 \text{ т/га}$  с использованием показателей, представленных в таблице 1:

**Таблица 1** – Хозяйственные показатели

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Орошаемая культура			
			капуста поздних и среднепоздних сортов	морковь столовая	лук репчатый	картофель
1	планируемая урожайность	т/га	75	60	45	60
2	планируемая прибавка урожая от орошения	т/га	36	23	15	30
3	цена реализации продукции	руб/т	400	420	550	500
4	затраты на уборку, транспортировку, хранение, реализацию и др.	руб/т	52	47	40	50
5	затраты на поливы, обслуживание и ремонт оросительной системы, плановые накопления	руб/ч	54	54	54	54
6	оросительная норма	м <sup>3</sup> /га	1200	900	500	1150
7	расход дождевальной машины ПДМ-2500	м <sup>3</sup> /ч	50	50	50	50
8	Коэффициент $a$	–	0,75	0,75	0,75	0,75
	Норматив $\beta$	–	1,25	1,25	1,25	1,25

$$m_0 = \frac{2,3 \cdot (1600 - 400)^2}{2 \cdot 0,75^2 \cdot 0,85 \cdot (550 - 40) \cdot 60} \cdot \left( 0 + 1,25 \cdot \frac{54}{50} \right) = 155 \text{ м}^3 / \text{га} .$$

Водопользование для сельхозпредприятий в настоящее время бесплатное, то есть  $c_B = 0$ . Затраты на уборку, доработку, транспортировку и реализацию продукции растениеводства могут определяться при помощи расчетов на основе нормативных материалов, содержащихся в типовых технологических картах или на основе соответствующих средних затрат, фактически складывающихся в хозяйстве. Полученное значение оптимальной технико-экономически обоснованной поливной нормы округляется до величины, кратной  $5 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Расчеты свидетельствуют, что для повышения прибыли, получаемой от орошения сельскохозяйственных культур с высокой рыночной стоимостью, предполагается ужесточение режима орошения путем снижения поливных норм и соответственного уменьшения межполивных интервалов с увеличением числа поливов. Для подтверждения данной закономерности в качестве примера в таблице 2 приведены результаты расчета оптимальных технико-экономически обоснованных поливных норм ( $m_0$ ) для нескольких культур – капусты среднепоздних сортов, моркови столовой, лука репчатого и картофеля, возделываемых на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах для трех уровней планирования урожайности.

**Таблица 2** – Оптимальные технико-экономически обоснованные поливные нормы, рассчитанные с использованием хозяйственных показателей (таблица 1), м<sup>3</sup>/га

№ п/п	Орошаемая сельскохозяйственная культура	Оптимальная технико-экономически обоснованная поливная норма нетто при планируемой урожайности, м <sup>3</sup> /га		
		75 т/га	60 т/га	45 т/га
1	капуста среднепоздних сортов	180	225	300
2	морковь столовая	170	210	280
3	лук репчатый	125	155	205
4	картофель	140	170	230

При небольших оптимальных поливных нормах альтернативой дождеванию может выступить капельный полив, для которого полив малыми нормами не вызывает технологических сложностей.

**Заключение.** Представленная методика определения оптимальных поливных норм при орошении сельскохозяйственных культур с помощью дождевания позволяет устанавливать экономически обоснованные режимы орошения при планировании поливов нормой дающей максимальный эффект. Данная методика особенно актуальна для культур с высокой рыночной стоимостью, для которых будет получен наибольший прирост чистого дохода от использования разработанной методики.

#### **Список цитированных источников**

1. ТКП 45.3.04 – 178 – 2009 (02250) Оросительные системы. Правила проектирования.
2. Методические указания по определению водно-физических свойств почвогрунтов мелиорируемых земель. – Минск, 1973. – 83 с.

УДК 728.8.03(476.7)

## **ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАРКОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ**

*С. В. Басов, Э. А. Тур, В. Н. Босак, Е. К. Антонюк*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
basovs@mail.ru

#### **Аннотация**

Получены и оценены результаты многолетних наблюдений за видовым разнообразием древесно-кустарниковой растительности на различных участках территорий ряда исторических парков Брестской области.