

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 631.67

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. П. Лихацевич¹, доктор технических наук
Г. В. Латушкина¹, кандидат технических наук
В. И. Желязко², доктор сельскохозяйственных наук
С. В. Набздоров², кандидат сельскохозяйственных наук
Е. А. Вчерашний², старший преподаватель
И. А. Романов², ассистент

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

Аннотация

Установлено, что экономически обоснованная норма полива прямо пропорциональна продуктивным влагозапасам почвы при насыщении до наименьшей влагоемкости, увеличиваясь при повышении затрат на полив и снижаясь при росте разницы между рыночной стоимостью орошаемой культуры и ее себестоимостью. Особенность задачи эколого-экономической оптимизации состоит в учете технологических и экологических ограничений режима орошения. Помимо учета дополнительного чистого дохода, получаемого от орошения, величина оптимальной поливной нормы должна быть больше технологического минимума, связанного с суммарными затратами времени на техническое обслуживание оросительной системы и холостые перебазировки оросительной техники в процессе полива, и не превышать экологически допустимый предел, исключая потери поливной воды на поверхностный и внутрипочвенный стоки. Соблюдение данных условий позволяет делать выбор между такими способами орошения культур, как капельный полив и дождевание.

Ключевые слова: режим орошения, поливная норма, затраты на полив, себестоимость растениеводческой продукции, дополнительный чистый доход.

Abstract

A. P. Likhachevich, G. V. Latushkina, V. I. Zhelyazko, S. V. Nabzdorov, E. A. Vcherashniy, I. A. Romanov

ECOLOGICAL AND ECONOMIC OPTIMIZATION OF THE CROP IRRIGATION REGIME

It is established that economically justified irrigation rate is directly proportional to productive soil moisture content at saturation to the lowest moisture capacity, and it rises with the increase of irrigation costs and decreases at the increase of difference between market value of irrigated crop and its cost. Specific feature of the ecological-economic optimization task is to take into account technological and ecological limitations of irrigation regime. Besides additional net income received from irrigation, the value of optimal irrigation rate should be higher than the technological minimum connected with the total time spent on the maintenance of irrigation system and on idle relocation of irrigation equipment in the process of watering and should not exceed the environmentally acceptable limit, excluding irrigation water losses due to surface and subsurface runoff. Compliance with these conditions allows to make a choice between drip irrigation or sprinkling as the methods of crop irrigation.

Keywords: irrigation mode, irrigation rate, irrigation costs, cost of crop production, additional net income.

Введение

Принято считать, что границы, в которых следует поддерживать почвенные влагозапасы с помощью орошения в течение вегетационного периода, зависят только от водо-

удерживающей способности корнеобитаемого слоя почвы и не требуют особого экономического обоснования [1–2]. С этих позиций была разработана достаточно простая модель

оптимизации, позволившая установить величину нормы полива, при которой расходуется минимум ресурсов на полив [1].

Вместе с тем, как показали результаты анализа полученного решения, предложенный вариант оптимизации режима поливов никак не увязан с экономикой возделывания орошаемой сельскохозяйственной культуры, а ориентирован только на экономию эксплуатационных затрат на полив. Поэтому следующим этапом оптимизации стали исследования, позволившие получить теоретическую зависимость величины поливной нормы от комплекса показателей, включая себестоимость

Основная часть

Идея совершенствования методики эколого-экономической оптимизации режима орошения ориентирована на максимизацию дополнительного чистого дохода, полученного от орошения. Ясно, что при орошении разных культур дополнительный чистый доход будет различным. Задача состоит в том, чтобы установить тот режим орошения, при котором этот доход для конкретной культуры будет максимальным.

Стандартная методика расчета дополнительного чистого дохода основана на определении разности между стоимостью дополнительной продукции растениеводства от орошения и ее себестоимостью [5]. Стоимость дополнительной продукции растениеводства, получаемой благодаря орошению, принято определять на основе среднесезонных прибавок урожая от орошения. При этом денежная оценка тех видов дополнительной продукции орошаемого земледелия, на которые установлены государственные закупочные цены и которые в значительной части используются для продажи государству или на рынке непосредственно в своей натуральной форме (зерно, картофель, овощи и т. п.), выполняется по государственным закупочным ценам (при определении плановой либо проектной себестоимости) и по фактическим среднерезультационным ценам (при определении фактической экономической эффективности). Те виды дополнительной продукции растениеводства, которые используются либо полностью, либо преобладающей частью на корм животным (сено, сенаж, силос, кормовые корнеплоды и

возделывания орошаемой культуры [3, 4]. Однако напрямую, без сбора дополнительной информации, полученную формулу нельзя использовать в практике орошения: она требует дальнейшего совершенствования с целью максимального упрощения.

Главная цель доработки состоит в согласовании перечня исходных экономических данных, входящих в расчетную формулу, с информацией любого хозяйства, содержащейся в стандартной бухгалтерской отчетности. Это позволит учесть экономические показатели производства орошаемой растениеводческой продукции при оптимизации поливной нормы.

т. п.), оцениваются по расчетным ценам, определяемым исходя из оплаты кормов доходами, получаемыми от реализации продукции животноводства [5].

Результатом теоретического анализа взаимосвязи всех показателей, определяющих экономику орошения, стала формула [3]:

$$m_{oj} = \frac{b(W_{HBj} - W_{B3j})^2}{2a^2 \eta (c_j - r_j) Y_{mj}} \left(c_w + \frac{c_{II}}{Q} \right), \quad (1)$$

где m_{oj} – экономически обоснованная норма полива, соответствующая максимальному дополнительному чистому доходу, который может быть получен от орошения конкретной культуры, м³/га полив;

b – эмпирический коэффициент, учитывающий водоудерживающую способность почвы и имеющий размерность «полив» (для овощных культур, возделываемых на песчаных почвах, равен 3,2; на супесчаных почвах – 2,5; на суглинистых почвах – 2,3);

W_{HBj} – оптимальные влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоемкости почвы, на которой возделывается j -я сельскохозяйственная культура, м³/га;

W_{B3j} – влагозапасы завядания, характеризующие отсутствие притока влаги к корням растений из-за низкой влагопроводности почвы, на которой возделывается j -я сельскохозяйственная культура, м³/га;

$(W_{HBj} - W_{B3j})$ – оптимальные продуктивные влагозапасы почвы;

a – коэффициент, зависящий от режима и технологии орошения и имеющий размер-

ность «полив». При дождевании по общепринятой технологии коэффициент $a = 1,0$;

η – 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_j – цена реализации j -й сельскохозяйственной культуры, руб./т;

r_j – осредненные затраты на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию прибавки урожая j -й сельскохозяйственной культуры, руб./т;

Y_{mj} – максимальная урожайность j -й сельскохозяйственной культуры, которую можно получить при оптимальных влагозапасах почвы, т/га;

c_w – стоимость воды, забираемой из водоемника для проведения орошения при платном водопользовании, руб./м³ (в Беларуси в настоящее время плата за воду в хозяйствах отсутствует, и $c_w = 0$);

c_n – суммарные затраты за 1 час работы всей оросительной системы (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, обслуживание механизмов, заработная плата обслуживающего персонала, техническое обслуживание системы, ремонты, накладные расходы и плановые накопления), руб./ч;

Q – расход воды, подаваемый насосной станцией в напорный трубопровод, м³/ч.

В формулу (1) входят пять показателей, которые присутствуют в справочных пособиях и бухгалтерской отчетности хозяйства, проводящего орошение сельскохозяйственных культур [5–7]:

1) водно-физические свойства в корнеобитаемом слое почвы, увлажняемом при поливе (наименьшая влагоемкость и влагозапасы завядания), которые определяют по стандартным методикам или справочной литературе;

2) цены реализации каждой культуры, выращиваемой на орошаемом поле (руб./т);

3) затраты на уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию каждой орошаемой сельскохозяйственной культуры, которые вычисляют на основе нормативных материалов, содержащихся в типовых технологических картах или на основе соответствующих

средних затрат, фактически складывающихся в хозяйстве (руб./т);

4) прогнозный максимальный урожай каждой орошаемой 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;

5) коэффициент полезного действия (КПД) оросительной системы (по проекту или справочной литературе).

Вместе с тем определение трех показателей, завершающих формулу (1), может вызвать затруднение. Например, стоимость воды, забираемой из водоемника для проведения орошения, может либо отсутствовать, либо устанавливаться государственными органами охраны природных ресурсов и экологии. Кроме того, неясно, как вычислять суммарные затраты средств за 1 час работы всей оросительной системы (электроэнергию, топливно-смазочные материалы, заработную плату обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, причем со всеми налогами). Также сложно определить среднегодовую норму орошения сельскохозяйственной культуры для хозяйства, которое только начинает практиковать орошение.

Очевидно, что необходимо приблизить результат теоретических исследований (1) к практике сельскохозяйственного производства. С этой целью используем известные зависимости:

$$\frac{c_n T}{F} = Z, \quad (2)$$

$$\frac{QT}{F} = M_{БР}. \quad (3)$$

где T – продолжительность работы насосной станции, подающей воду для орошения в течение сезона, ч;

F – орошаемая площадь, га;

Z – суммарные затраты средств на работу всей оросительной системы в течение сезона, руб./га;

$M_{БР}$ – норма орошения, брутто, м³/га.

С учетом (2) и (3) отношение суммарных затрат за 1 час работы всей оросительной системы к расходу воды, подаваемой насосной станцией в напорный трубопровод, трансформируется в соотношение

$$\frac{c_{\Pi}}{Q} = \frac{c_{\Pi}TF}{QTF} = \frac{Z}{M_{БР}}. \quad (4)$$

В бухгалтерской отчетности хозяйства затраты на орошение по культурам обычно не разделяются, а учитываются общие затраты, как в формуле (4).

Согласно (4), оптимальная норма полива (1) конкретной культуры в хозяйстве будет зависеть от общих затрат на орошение:

$$m_{oj} = \frac{b(W_{HBj} - W_{B3j})^2}{2a^2 \eta (c_j - r_j) Y_{mj}} \left(c_w + \frac{Z}{M_{БР}} \right). \quad (5)$$

В первом приближении можно считать, что в течение многолетия в конкретном хозяйстве отношение общих затрат на полив к оросительной норме брутто будет примерно одинаковым, то есть:

$$\frac{Z}{M_{БР}} \approx const. \quad (6)$$

Следовательно, справедливо приближенное равенство:

$$c_w + \frac{Z}{M_{БР}} \approx const. \quad (7)$$

Формулы (5)–(7) позволяют существенно упростить методику определения оптимальной поливной нормы в конкретном хозяйстве в двух случаях.

В первом случае, когда выполняется орошение одного поля, на котором поочередно, согласно севообороту, в разные годы возделываются различные культуры, в соответствии с (5) и (7) оптимальные нормы полива для двух культур, возделываемых на данном поле в предыдущем году (m_{01}) и в текущем году (m_{02}), будут соотноситься как

$$\frac{m_{02}}{m_{01}} = \frac{(c_1 - r_1) Y_{m1}}{(c_2 - r_2) Y_{m2}}, \quad (8)$$

где c_1 и c_2 – цена реализации соответственно 1-й и 2-й сельскохозяйственных культур, руб./т;

r_1 и r_2 – осредненные затраты на уборку, доработку, транспортировку, хранение и ре-

ализацию прибавки урожая 1-й и 2-й сельскохозяйственных культур, руб./т;

Y_{m1} и Y_{m2} – максимальные урожайности 1-й и 2-й сельскохозяйственных культур, которые можно получить при оптимальном водном режиме почвы, т/га.

Из формулы (8) следует:

$$m_{02} = m_{01} \frac{(c_1 - r_1) Y_{m1}}{(c_2 - r_2) Y_{m2}}. \quad (9)$$

Во втором случае, когда выполняется орошение одной сельскохозяйственной культуры, которая в разные годы располагается на разных полях,

$$\frac{m_{02}}{m_{01}} = \frac{(W_{HB2} - W_{B32})^2}{(W_{HB1} - W_{B31})^2}, \quad (10)$$

где W_{HB1} и W_{HB2} – оптимальные влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоемкости 1-й и 2-й почв, на которых поочередно возделывается сельскохозяйственная культура, м³/га;

W_{B31} и W_{B32} – влагозапасы завядания почв (1-й и 2-й), на которых возделывается сельскохозяйственная культура, м³/га.

Из (10) получим

$$m_{02} = m_{01} \frac{(W_{HB2} - W_{B32})^2}{(W_{HB1} - W_{B31})^2}. \quad (11)$$

Таким образом, зная величину оптимальной поливной нормы для одной сельскохозяйственной культуры, можно без привлечения обширной дополнительной информации определять величину оптимальной поливной нормы для другой сельскохозяйственной культуры.

Особенность решения задачи эколого-экономической оптимизации режима орошения состоит в учете технологических и экологических ограничений. Поэтому, помимо требования максимизации дополнительного чистого дохода, получаемого от орошения, величина поливной нормы должна удовлетворять еще двум условиям [7]:

1) быть больше технологического минимума, связанного с суммарными затратами времени в процессе полива на техническое обслуживание оросительной системы и на холостые перебазировки оросительной техники,

если таковые необходимы по технологии орошения;

2) не превышать экологически допустимый предел, исключать потери поливной воды на поверхностный и внутрипочвенный стоки.

Указанные пределы можно выразить в виде ограничения

$$m_{\min} < m_o \leq m_3, \quad (12)$$

где m_{\min} – заданный в инструкции по обслуживанию оросительной техники технологический минимум, зависящий от суммарных затрат времени на техническое обслуживание оросительной системы и холостые перебазировки оросительной техники в процессе полива, если таковые необходимы по технологии орошения, м³/га;

m_3 – экологически обоснованный верхний предел величины поливной нормы, м³/га.

При проектировании оросительной системы необходимо проверять, соответствует ли полученная экономически оптимальная норма полива (1, 5, 9, 11) указанным ограничениям (12) или находится за их рамками. Если величина экономически обоснованной поливной нормы меньше технологического минимума, то можно констатировать, что данная

оросительная техника не может обеспечить экономически оптимальный полив. Если же полученное значение экономически обоснованной поливной нормы выходит за рамки, соответствующие экологической безопасности полива, то при поливе необходимо ориентироваться на установленный предел экологических ограничений.

Зависимость чистого дохода от поливной нормы, стоимости реализации прибавки урожая и затрат на проведение орошения показана в таблице на примере капусты, возделываемой на хорошо окультуренной супесчаной почве и орошаемой барабанно-шланговой дождевальными машинами ПДМ-2500 (производство Гомельского радиозавода).

Расчет выполнен для среднемноголетнего года с дефицитом водопотребления 1150 м³/га на основе производственных данных, полученных В. А. Попковым [8]. При этом использована известная зависимость нормы орошения от дефицита водопотребления [9]:

$$M = D + \frac{m}{2}, \quad (13)$$

где M – норма орошения (нетто), м³/га; D – дефицит водопотребления, м³/га; m – поливная норма, м³/га.

Таблица. Расчет чистого дохода, получаемого при разных режимах орошения капусты

Норма полива, м ³ /га	Норма орошения, м ³ /га	Кратность поливов	Урожай, т/га	Прибавка урожая, т/га	Стоимость прибавки, \$/га	Эксплуат. затраты на полив, \$/га	Чистый доход, \$/га	Снижение чистого дохода, \$/га
350	1325	3,8	73,5	23,5	4865	119,6	4744,9	1298,1
300	1300	4,3	76,0	26,0	5382	133,3	5248,7	794,3
250	1275	5,1	78,0	28,0	5796	152,5	5643,5	399,4
200	1250	6,3	79,4	29,4	6086	181,3	5904,6	138,4
150	1225	8,2	80,3	30,3	6272	229,2	6042,9	0,0
100	1200	12,0	80,7	30,7	6355	325,0	6029,9	13,0
50	1175	23,5	81,0	31,0	6417	612,5	5804,5	238,4
30	1165	38,8	81,2	31,2	6458	995,8	5462,6	580,4
10	1155	115,5	81,3	31,3	6479	2912,5	3566,6	2476,3

На рис. 1 приведена зависимость от нормы полива чистого дохода, получаемого от орошения капусты. Как видим, максимальный чистый доход около 6 тыс. \$/га может быть получен при норме полива 150 м³/га.

При увеличении и уменьшении величины поливной нормы от 150 м³/га чистый доход от орошения снижается, что наглядно демонстрирует рис. 2.

При проведении орошения сельскохозяйственных культур с высокой прибавочной стоимостью норма полива может быть меньше минимальной технологической нормы в ограничении (12). В этом случае наиболее технологически целесообразным может оказаться капельный полив.

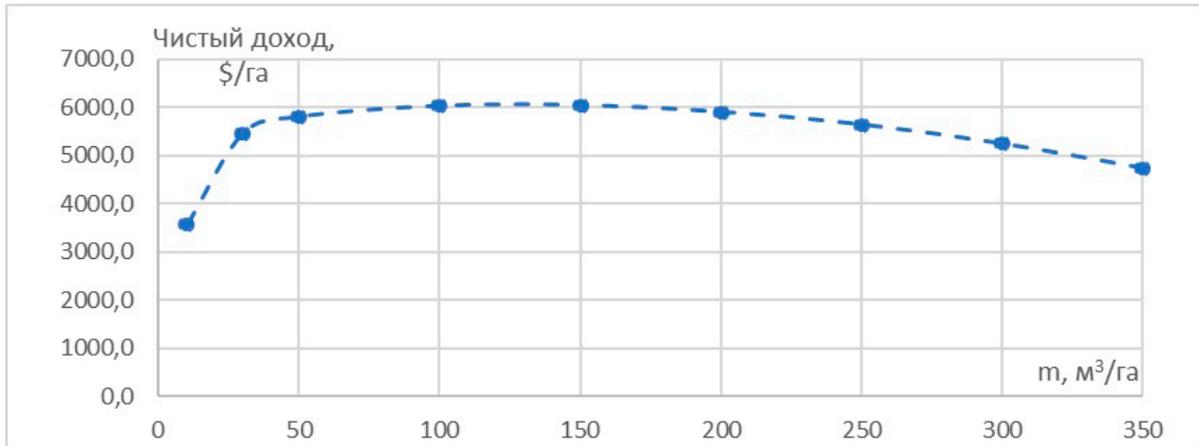


Рис. 1. Зависимость чистого дохода, получаемого при орошении капусты, от нормы полива

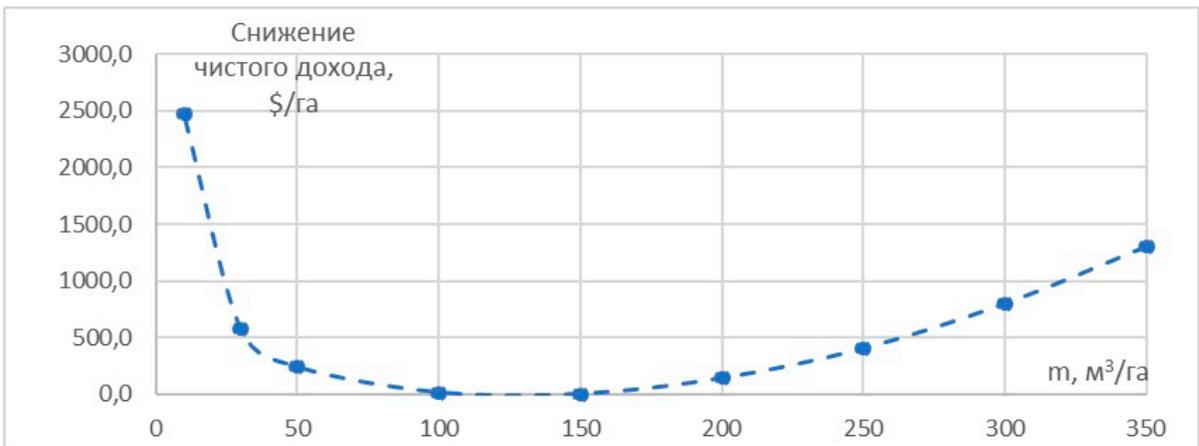


Рис. 2. Влияние величины поливной нормы на снижение чистой прибыли от орошения капусты

Заключение

Особенность задачи эколого-экономической оптимизации режима орошения состоит в учете технологических и экологических ограничений. Помимо учета дополнительного чистого дохода, получаемого от орошения, величина поливной нормы должна быть больше технологического минимума, связанного с суммарными затратами времени на техническое обслуживание оросительной системы и холостые перебазировки оросительной техники в процессе полива, и не превышать экологически допустимый предел, исключая потери поливной воды на поверхностный и внутрипочвенный стоки.

Анализ составляющих дополнительного чистого дохода, полученного от орошения, показал, что экономически обоснованная норма полива прямо пропорциональна продуктивным влагозапасам почвы, увеличиваясь при повышении затрат на полив и снижаясь при росте стоимости продукции орошаемой культуры, полученной при оптимальном водном режиме, за вычетом затрат на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию выращенной продукции.

Библиографический список

1. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск : Беларус. наука, 2005. – 278 с.
2. Оросительные системы. Правила проектирования : ТКП 45.3.04–178–2009 (02250). – Введ. 29.12. 2009 г. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 72 с.
3. Лихацевич, А. П. Оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2014. – № 4. – С. 46–51.
4. Методические рекомендации по определению оптимальных поливных и оросительных норм для сельскохозяйственных культур / А. С. Анженков [и др.]; РУП «Институт мелиорации. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 24 с.
5. Методические указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение земель в Нечерноземной зоне / Г. М. Лыч, Р. А. Мышко, А. Е. Жуков. – Минск : БелНИИМивХ, 1974. – 57 с.
6. Методические указания по определению водно-физических свойств почвогрунтов мелиорируемых земель / Г. И. Афанасик, К. П. Лундин. – Минск : БелНИИМивХ, 1973. – 82 с.
7. Механизация полива : справочник / Б. Г. Штепа [и др.]. – Москва : Агропромиздат, 1990. – С. 31–37.
8. Попков, В. А. Овощеводство Беларуси / В. А. Попков. – Минск : Наша идея, 2011. – 1088 с.
9. Лихацевич, А. П. Оросительная норма и ее соответствие дефициту водопотребления / А. П. Лихацевич // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ / БелНИИМивХ ; рекол.: В. Ф. Карловский [и др.]. – Минск, 1988. – Т. 36. – С. 65–69.

Поступила 8 июня 2023 г.