

УДК 631.674.1

## КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА

Ю.Г. БЕЗБОРОДОВ<sup>1</sup>, Г.А. БЕЗБОРОДОВ<sup>2</sup>, М.Ю. ЭСАНБЕКОВ<sup>2</sup>

О Кафедра мелиорации и геодезии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;  
<sup>2</sup> Узбекский НИИ хлопководства)

**Приведены результаты исследований по установлению оптимальных элементов техники полива. Предложены критерии оценки качества полива по бороздам.**

*Ключевые слова:* полив по бороздам, элементы техники полива, КПД полива, равномерность увлажнения, качество полива, эффективность полива.

Бороздковый полив пропашных культур является основным поливом, применяемым в Центральноазиатских странах. Он имеет свое место в международной классификации и отнесен к разряду поверхностного способа полива.

Несмотря на довольно продолжительный период существования бороздкового полива и большую вероятность его применения в ближайшей перспективе, обусловленную непродолжительной и малоэффективной практикой использования в аридной зоне других способов полива, — дождевания, внутривредного, капельного — до сих пор нет единого мнения по составу элементов техники полива, а также нормативных критериев для оценки качества полива и современных агротехнических требований на проведение бороздкового полива.

### Методика исследований

Элементы техники полива по бороздам обычно включают расход воды в борозду и длину борозд. Они имеют различные численные значения, обоснованные полевыми экспериментами и соответствуют водопроницаемости почв, уклону местности и ширине междурядий пропашных культур. Так, основоположник мелиоративной науки А.Н. Костяков в разработанной им теории бороздкового полива [3] пишет, что равномерность увлажнения почвы по длине борозды характеризуется отношением

$$\frac{m_H}{m_B} = \frac{G_H}{G_B} \left( \frac{t_H}{t} \right)^{1-\alpha}, \quad (1)$$

где  $m_B$  и  $m_H$  — слой впитавшейся воды соответственно в начале и конце борозды;  $G_B$  и  $G_H$  — активный смоченный периметр соответственно в начале и конце борозды;  $t$  — продолжительность подачи воды в начале борозды; — продолжительность подачи воды в конце борозды;  $\alpha$  — коэффициент из формулы А.Н. Костякова

$$K = \frac{K_1}{t^\alpha}.$$

Следует также отметить, что А.Н. Костяков для почв средней проницаемости и недостаточно спланированного поля с уклоном от 0,001 до 0,01 рекомендовал длину борозд принимать в пределах 60-120 м [3].

В некоторых рекомендациях, в частности ФАО, утверждается достаточность одного показателя — коэффициента полезного действия.

По рекомендациям ВНИИГиМ [5], в состав элементов техники полива по бороздам включены: длина борозд, расход воды, время добегания, время долива, продолжительность полива.

Более широкий круг элементов техники полива применительно к хлопчатнику приводит Н.Т. Лактаев [4]. Для земель с различным уклоном местности и водопроницаемостью почвы им предложены следующие элементы техники полива с расчетным КПД «полива» (должно быть «борозды»): длина борозды; расход воды; время — добегания, доливания общее; поливные нормы брутто, нетто; КПД; потери воды на испарение, фильтрацию, сброс. Длина борозд, по его данным, зависит от ширины междурядий: для узких междурядий она изменяется от 40 до 850 м; для широких — от 450 до 1000 м. К этому следует добавить, что эти данные рекомендованы применительно к хлопчатнику, незасоленным почвам при подаче воды в каждую борозду.

Академик ВАСХНИЛ И.А. Шаров обращал внимание на объемность, пространственность борозды, что должно быть введено еще одно свойство, характеризующее качество увлажнения расчетного слоя почвы по длине борозды — коэффициент равномерности полива.

К этому надо добавить предложения других авторов по определению качества полива. Так, в руководящем документе РД 10.11.3-89 [6] рекомендуется определять только коэффициент эффективности полива ( $K_{эф}$ )

$$K_{эф} = 1 - \frac{\Delta W_{cp}}{W_{cp}}, \quad (2)$$

где

$$\Delta W_{cp} = \frac{\Sigma(W_1 - W_{cp}) + (W_2 - W_{cp}) + (\Delta W_i - W_{cp})}{h}, \quad (3)$$

$$W_{cp} = \frac{\Sigma(W_1 + W_2 + \dots + W_i)}{h}, \quad (4)$$

$W$  — влажность расчетного слоя почвы, мм;  $\Delta W$  — разница во влажности почвы между отдельными точками и среднего ее значения.

По существу,  $K_{эф}$  — это показатель равномерности увлажнения почвы, который можно применять для определения качества полива, проводимого любым способом.

Известен также коэффициент Вилькокса-Свейзла ( $K$ ), относящийся к качеству полива дождеванием,

$$K = 100 \left( 1 - \frac{\delta}{h_0} \right), \quad (5)$$

где  $S$  — среднее квадратическое отклонение слоя дождя в дождемерах от среднего, мм;  $h_0$  — средний по всем дождемерам слой дождя, мм.

В уравнении (5) отношение  $\frac{\delta}{h_0}$ , по существу, является коэффициентом вариации ( $V$ ) и тогда это выражение в относительных единицах принимает общепринятый вид

$$K = 1 - V. \quad (6)$$

В наших работах он принимается в качестве коэффициента равномерности увлажнения почвы по длине борозд.

Во многих работах в качестве коэффициента равномерности полива принимается отношение концевых и головных характеристик полива: глубины промачивания почвы, поливной нормы. Известны работы, в которых этот показатель оказывается больше единицы!

Таким образом, из-за неучета двух важных критериев оценки качества полива по бороздам даются рекомендации по выбору элементов техники полива, не всегда пригодные для производства.

И.Ю. Денисов [2] для оценки качества бороздкового полива предложил использовать обобщенный коэффициент эффективности полива  $K_{fp}$ :

$$K_{fp} = [A_1(1 - \eta)^2 A_2 \left(1 - \frac{1}{(1 + Cv)}\right)^2 + A_3(1 - \eta)]^{0.5}, \quad (7)$$

где  $\eta$  — КПД полива;  $Cv$  — коэффициент вариации глубины промачивания по длине борозды:

$$\eta = \frac{t_{ид}}{t_{фак}};$$

$t_{ид}$ ,  $t_{фак}$  — идеальная и фактическая продолжительность полива;

$$A_1 + A_2 + A_3 = 1; \quad A_1, A_2, A_3 > 0.$$

Значения параметров  $A_1, A_2, A_3$  назначаются по экспертным оценкам.

Вместо неопределенного третьего члена уравнения (7) нами предложено ввести член, учитывающий ирригационную эрозию, неизбежную при поливах на средних и больших уклонах местности:

$$A_3(1 - \rho_{см})^2, \quad (8)$$

где  $\rho_{см}$  — показатель смыва почвы при поливе:

$$\rho_{см} = \frac{m_{нор}}{m_{ф}}, \quad (9)$$

$m_{нор}$ ,  $m_{ф}$  — соответственно нормативный и фактический показатели смыва почвы, т/га.

В соответствии с этим зависимость (7) преобразуется в вид

$$K_{fp} = [A_1(1 - \eta)^2 A_2 \left(1 - \frac{1}{(1 + Cv)}\right)^2 + A_3(1 - \rho_{см})]^{0.5}. \quad (10)$$

Показатель  $K_{fp}$ , как считает И.Ю. Денисов [2], пригоден для оценки качества бороздкового полива при разных технологиях: постоянной, переменной, дискретной струей. Оптимальной считается технология, у которой показатель  $K_{fp}$  самый низкий.

### Результаты и их обсуждение

Нами предложено оценивать качество бороздкового полива при любой технологии по показателю эффективности полива  $\Pi_9$ :

$$\Pi_9 = \eta K_p K_{cm}, \quad (11)$$

где  $\eta$  — КПД полива;  $K_p$  — коэффициент равномерности увлажнения почвы по длине борозд;  $K_{cm}$  — коэффициент смыва почвы при поливах.

$$K_{cm} = \frac{N_{дон} + N_{носм}}{N_{ст}}, \quad \text{при } N_{cm} > N_{дон} + N_{носм} \quad (12)$$

$$K_{cm} = 1, \quad \text{при } N_{cm} \leq N_{дон} + N_{носм},$$

где  $N_{дон}$  — размер допустимой нормы смыва почвы за сезон, (2,5-5 т/га);  $N_{носм}$  — размер поступивших с поливной водой наносов, т/га;  $N_{cm}$  — размер смыва почвы при поливах, т/га.

Коэффициент равномерности увлажнения почвы по длине борозды вычисляется по зависимости (6), где  $V$  — коэффициент вариации глубины увлажнения почвы по створам борозды, б/р.

Он определяется по зависимости

$$V = \frac{\delta}{h_{cp}}, \quad (13)$$

где  $S$  — среднее квадратическое отклонение глубины увлажнения почвы по длине борозды, м;  $h_{cp}$  — средняя по длине борозды глубина увлажнения почвы, м.

Для определения коэффициента вариации глубин увлажнения почвы необходимо иметь на поле не менее 5 точек измерения послеполивной влажности или такое же количество ординат на теоретической эпюре влажности почвы.

Н.Т. Лактаев [4] в теорию бороздкового полива ввел два показателя качества полива: КПД борозды и равномерность увлажнения почвы по длине борозды. Причем для почв различной водопроницаемости им априорно (и необосновано) приняты значения коэффициента равномерности полива в размере 0,70 для легких почв, 0,75 — для средних и 0,80 — для тяжелых по механическому составу почв.

Расчитанное по его данным среднее для всех сочетаний уклонов земли и водопроницаемости почвы произведение коэффициентов полезного действия и равномерности увлажнения почвы по длине борозд составляет 0,52 ( $\pm 0,4$ ).

Более детальные исследования по установлению связи КПД борозды с коэффициентом равномерности увлажнения почвы по длине борозды провел Ю.Г. Безбородов [1]. Расчеты проведены для наиболее представительных природных условий Узбекистана, часть результатов представлена в таблице 1.

По табличным данным среднее значение произведения двух коэффициентов равно 0,44.

Однако для современного с.-х. производства иметь оптимальные элементы техники полива только для одной борозды совершенно недостаточно. Дело в том, что на полях вода в борозды подается из выводных борозд. Последние относятся к особой

**Зависимость КПД борозды от коэффициента равномерности увлажнения почвы (Кр)  
для разных природных условий**

Кр=0,6		Кр=0,7		Кр=0,8		Кр=0,9	
КПД	КПД x Кр	КПД	КПД x Кр	КПД	КПД x Кр	КПД	КПД x Кр
<b>0,88</b>	0,53	0,78	0,55	0,68	0,54	0,58	0,52
0,82	0,49	0,73	0,51	0,64	0,51	0,55	0,50
0,80	0,48	0,71	0,50	0,62	0,50	0,53	0,48
0,75	0,45	0,67	0,47	0,58	0,46	0,50	0,45
0,72	0,43	0,63	0,44	0,55	0,44	0,47	0,42
0,69	0,41	0,60	0,42	0,52	0,42	0,45	0,41
0,65	0,39	0,56	0,39	0,49	0,39	0,42	0,38
0,62	0,37	0,54	0,38	0,47	0,38	0,40	0,36
0,61	0,37	0,53	0,37	0,46	0,37	0,40	0,36
В среднем	0,436		0,448		0,445		0,431

категории водотоков, характерными показателями которых являются: периодическая работа в течение вегетационного периода; регулярно проводимая перед каждым поливом нарезка русла с разрыхлением плужной подошвы; переменная во время работы рабочая длина. Этим выводные борозды отличаются от постоянно действующих в течение вегетационного периода оросителей, проложенных в земляном русле.

Эти особенности сказываются на формировании потерь воды в них на фильтрацию и испарение. Нашими исследованиями [7] установлена зависимость потерь воды в периодически действующих водотоках от времени:

$$\delta_t = \frac{\beta}{t^\alpha} + \frac{A}{Q^n}, \quad (14)$$

где  $\delta_t$  — потери воды на 1 км водотока, %;  $Q$  — расход воды водотока, м<sup>3</sup>/ч;  $t$  — время работы водотока, ч;  $\alpha$  — коэффициент из формулы А.Н. Костякова  $K_t = \frac{K_1}{t^\alpha}$ ;  $A, B, n$  — параметры.

На основании зависимости (14) из работы [7] получена формула для расчета коэффициента полезного действия периодически работающего водотока ( $\eta$ ):

$$\eta = 1 - 0,01l \left[ \frac{B}{(1-\alpha)t^2} + \frac{A}{Q^n} \right], \quad (15)$$

где  $l$  — длина водотока, км.

По этой зависимости проведены расчеты по определению КПД выводных борозд, потеря воды в них на фильтрацию и испарение при длине борозд 50, 100 и 200 м на примере хлопкового поля площадью 40 га (длиной 1000 м, шириной 400 м, типового поля для хозяйства № 11 Дусликского района Джизакской области Республики Узбекистан). Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Потери воды на фильтрацию и испарение внутри поля, м<sup>3</sup> (при одном поливе)

№	Длина борозд, м	КПД борозды	Потери воды в бороздах	КПД выводной борозды	Потери воды в выводной борозде	Количество выводных борозд	Потери воды в выводных бороздах	Суммарные потери воды
1	50	0,95	1800	0,89	238	20	4750	6550
2	100	0,90	3600	0,92	276	10	2760	6360
3	200	0,85	5400	0,93	302	5	1500	6990

Таблица 3

Рекомендуемые нормативные значения показателя эффективности полива по бороздам

Технология полива	Показатели эффективности полива	
	для земель, не подверженных ирригационной эрозии	для земель, подверженных ирригационной эрозии
<i>Для стандартных борозд</i>		
Полив постоянной струей	>0,43	>0,35
Полив переменной струей	>0,60	>0,50
Дискретный полив	>0,70	>0,65
<i>Для мульчированных борозд</i>		
Полив по мульчированным перфорированной пленкой бороздам	>0,72	>0,70
Полив по комбинированным бороздам (нижняя часть стандартных мульчирована соломой озимой пшеницы)	>0,75	>0,75

Протяженность временного оросителя составляет: при длине борозд 50 м — 0,95 км, при длине 100 м — 0,9 км, при длине 200 м — 0,8 км. При КПД временного оросителя 0,9 потери воды в нем составляют: при длине 0,95 км около 1440 м<sup>3</sup>; при длине 0,9 км — 1370 м<sup>3</sup>; при длине 0,8 км — 1350 м<sup>3</sup>.

Если принять, что поверхностный сброс с поля (с последнего яруса) при длине борозд 50 м составляет 5%, при длине 100 м — 10%, при длине 200 м — 15%, то эти потери составляют соответственно 45, 90 и 135 м<sup>3</sup>.

С учетом этого общие потери воды на поле при одном поливе нормой 900 м<sup>3</sup>/га составят: при длине борозд 50 м — 8035 м<sup>3</sup>; при длине 100 м — 7820 м<sup>3</sup>; при длине 200 м — 8475 м<sup>3</sup>. При некоторой условности данных расчетов, очевидно, существует оптимум длины борозды, который определяется в зависимости от поставленной задачи. Если цель задачи состоит в минимизации затрат оросительной воды, то она может быть достигнута путем приведенных выше расчетов. Если же поставить цель минимизации затрат ресурсов (воды, топлива, труда), то необходимо добавить расчеты затрат на устройство выводных борозд, на зарплату рабочих.

## Заключение

Длина борозды может стать предметом рассмотрения задачи экономической эффективности системы орошения с учетом стоимостной оценки оросительной воды и земли (земли, теряемой под выводными бороздами).

Таким образом, при оценке качества бороздкового полива следует принимать частные и общие критерии. К частным относятся коэффициенты: полезного действия борозды; равномерности увлажнения почвы по длине борозды, смыва почвы и их произведение. Чем выше это произведение, названное нами показателем эффективности полива, тем выше качество полива.

К общим критериям полива по бороздам относятся: объем потерь воды на поле; стоимость потраченных на производство полива ресурсов; стоимость урожая; прибыль. В современных условиях переходной экономики, очевидно, одних частных критериев оценки качества бороздкового способа полива пропашных культур уже недостаточно. Поэтому технологам, экономистам и экологам необходимо разработать соответствующую современным условиям методику расчета экономической эффективности системы орошения по бороздам.

## Библиографический список

1. *Безбородов Ю.Г.* Теоретическое обоснование и практическая реализация полива пропашных культур по экранированным бороздам: Автореф. докт. дис. М., 2010. С. 42.
2. *Денисов П.Ю.* Математическая модель дискретного импульсного полива по бороздам: Автореф. канд. дис. Ташкент, 1992. С. 20.
3. *Костяков А.Н.* Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1960. С. 622.
4. *Лактаев Н.Т.* Полив хлопчатника. М.: Колос, 1978. С. 176.
5. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение. Справочник / Под. ред. Б.Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. С. 432.
6. РД 10.11.3-89. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки поливные. Программа и методы испытаний. Госагропром СССР. М., 1988. С. 106.
7. *Ташев Х.Т., Безбородов Г.А.* Технично-экономические основы переустройства гидро-мелиоративных систем. Узбекистан. Ташкент, 1982. С. 149.
8. ФАО Материалы по ирригации и дренажу. Книга № 29. Водопотребление сельскохозяйств. Рим, 1976. С. 129.

*Рецензенты* — д. с.-х. н. И.В. Кобозев, д. б. н. А.В. Смиряев

## SUMMARY

Results of research into establishment of watering techniques optimal elements are provided in the article. Criteria of furrow irrigation quality evaluation have been offered in the article as well.

*Key words:* furrow irrigation, irrigation techniques elements, irrigation efficiency, evenness of humidification irrigation quality.

**Безбородов Юрий Германович** — д. т. н., доцент кафедры мелиорации и геодезии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (127550, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: geo@timacad.ru; тел. (499) 976-40-25).

**Безбородов Герман Александрович** — д. т. н., заведующий отделом орошения Узбекского НИИ хлопководства (702133, РУз, Ташкентская область, Кибрайский район, п/о Аккавак).

**Эсанбеков Мейержан Юсупович** — науч. сотр. Узбекского НИИ хлопководства.