

НОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА

Ю.Г. Безбородов, Г.А., Безбородов, М.Ю. Эсанбеков
УзНИИХ

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, внутрипочвенного, капельного, - в мелиоративной науке по до сих пор нет единого мнения по составу элементов техники полива по бороздам. Нет нормативных критериев для оценки качества полива и забыты агротехнические требования на проведение бороздкового полива.

Начнем с элементов техники полива по бороздам. В их круг обычно включают расход воды в борозду и длину борозд. Они имеют различные численные значения, обоснованные полевыми экспериментами, достаточно адекватны 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 - соответственно слой впитавшейся воды в голове и конце борозды;

G_B и G_H - соответственно активной смоченный периметр в голове и конце борозды;

t - продолжительность подачи воды в голове борозды;

t_H - то же в конце борозды;

α - коэффициент в формуле А.Н. Костякова $Kt = \frac{K_1}{t^\alpha}$.

В научной литературе можно найти крайне различные данные по длине борозд. В табл. 1,2 приведены данные различных авторов по длине борозд, и как видно, разница между ними достаточно большая. Очевидно, что она обусловлена отсутствием обобщенных критериев оценки качества полива.

Таблица 1 - Длина борозд по рекомендациям ФАО

Уклон	Длина борозды											
	тяжелого мехсостава				среднего мехсостава				легкого мехсостава			
0,0005	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
0,001	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	220
0,002	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
0,003	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
0,005	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
0,01	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
0,015	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
0,020	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190
Оросительная норма, мм	75	150	225	300	50	100	150	200	50	75	100	125

Таблица 2 - Длина борозд по Н.Т. Лактаеву при ширине междурядий 0,6 м (в скобках 0,9 м) - в числителе, в знаменателе по В.Е. Еременко, м

Уклон земли	Механический состав почвы				
	облегченный	лёгкий	средний	утяжелённый	тяжёлый
0,04	40	75	125	150	175
0,01	$\frac{100}{80-100}$	125	$\frac{200}{110-120}$	200	$\frac{200}{120-150}$
0,005	$\frac{175}{60-70}$	275	$\frac{325 (450)}{100-110}$	400 (450)	$\frac{375 (450)}{110-120}$
0,00175	$\frac{225}{60-70}$	300	$\frac{350 (600)}{80-100}$	425 (650)	$\frac{400 (550)}{100-110}$
0,0005	150	250	350 (600)	550 (850)	850 (1000)

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 добегаания; время долива; продолжительность полива.

Более широкий круг элементов техники полива применительно к хлопчатнику приводит Н.Т. Лактаев [4]. Для земель с различными уклоном местности и водопроницаемостью почвы им предложены следующие элементы техники полива с расчётным КПД «полива» (должно быть «борозды»): длина борозды; расход воды; время – добегаания, 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 (табл. 2). К этому следует добавить, что эти данные рекомендованы применительно к хлопчатнику, незасоленным почвам и подачи воды в каждую борозду и на практике не проверены.

Однако, как в частной беседе говорил академик ВАСХНИЛ И.А. Шаров, борозда – это не цветочный горшок. Он обращал внимание на объёмность, пространственность борозды, что должно быть введено еще одно свойство, характеризующее качество увлажнения расчётного слоя почвы по длине борозды - коэффициент равномерности полива.

К этому надо добавить предложения других авторов по определению качества полива. Так, в руководящем документе PD 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

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

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

W - влажность расчётного слоя почвы, мм.

ΔW – разница во влажности почвы между отдельными точками и среднего её 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 –

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

где δ - 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 конечных и головных характеристик полива: глубины промачивания почвы, поливной нормы. Известны работы, в которых этот показатель оказывается больше единицы!

Таким образом, из-за неучёта 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 $K_{гр}$ -

$$K_{гр} = [A_1(1-\eta)^2 A_2(1 - \frac{1}{(1+C\nu)})^2 + A_3(1-\eta)]^{0.5}, \quad (7)$$

где η - КПД полива;

C_V - коэффициент вариации глубины промачивания по длине борозды:

$$\eta = \frac{t_{ид}}{t_{фак}};$$

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

$$A_1 + A_2 + A_3 = 1; A_1, A_2, A_3 \geq 0$$

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) приобретает вид

$$K_{fp} = [A_1(1 - \eta)^2 + A_2(1 - \frac{1}{1 + C_V})^2 + A_3(1 - \rho_{см})^2]^{0,5}, \quad (10)$$

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

Нами предложено оценивать качество бороздкового полива при любой технологии по показателю эффективности полива Π ,

$$\Pi = \eta K_p K_{см}, \quad (11)$$

где η - КПД полива;

K_p – коэффициент равномерности увлажнения почвы по длине борозд;

$K_{см}$ – коэффициент смыва почвы при поливах.

$$K_{см} = \frac{N_{дон} + N_{пост}}{N_{см}}, \text{ при } N_{см} > N_{дон} + N_{пост} \quad (12)$$

$$K_{см} = 1, \text{ при } N_{см} \leq N_{дон} + N_{пост},$$

где $N_{дон}$ - размер допустимой нормы смыва почвы за сезон, (2,5-5т/га);

$N_{пост}$ – размер поступивших с поливной водой наносов, т/га;

$N_{см}$ - 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 δ - 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 в теорию бороздкового полива ввел два показателя качества полива: КПД борозды и равномерность увлажнения почвы по длине борозды. Причём для почв различной водопроницаемости им априорно (и не обосновано) приняты значения коэффициента равномерности полива в размере 0,70 для лёгких почв, 0,75 для средних и 0,80 для тяжёлых по механическому составу почв.

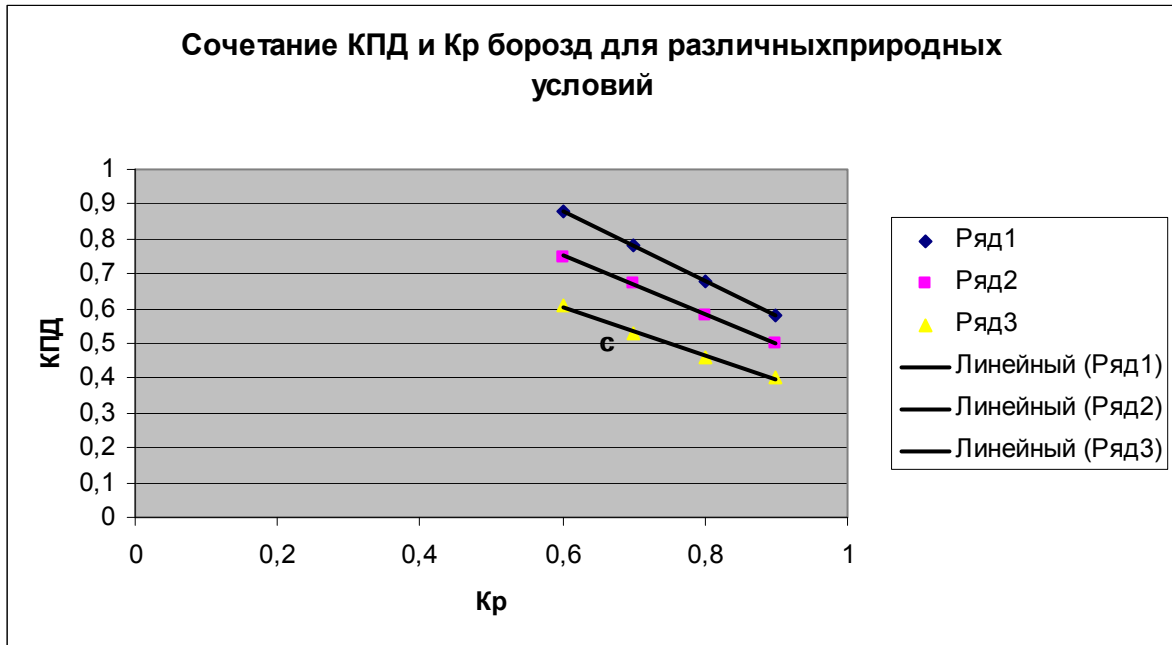
Рассчитанное по его данным среднее для всех сочетаний уклонов земли и водопроницаемости почвы произведение коэффициентов полезного действия и равномерности увлажнения почвы по длине борозд составляет 0,52 ($\pm 0,4$).

Более детальные исследования по установлению связи КПД борозды с коэффициентом равномерности увлажнения почвы по длине борозды провёл Ю.Г. Безбородов [1]. Расчеты проведены для наиболее представительных природных условий Узбекистана, часть результатов представлена в табл. 3.

Таблица 3 - Зависимость КПД борозды от коэффициента равномерности увлажнения почвы (K_p) для разных природных условий

$K_p=0,6$		$K_p=0,7$		$K_p=0,8$		$K_p=0,9$	
КПД	КПД $\times K_p$	КПД	КПД $\times K_p$	КПД	КПД $\times K_p$	КПД	КПД $\times K_p$
1. 0,88	0,53	0,78	0,55	0,68	0,54	0,58	0,52
2. 0,82	0,49	0,73	0,51	0,64	0,51	0,55	0,50
3. 0,80	0,48	0,71	0,50	0,62	0,50	0,53	0,48
4. 0,75	0,45	0,67	0,47	0,58	0,46	0,50	0,45
5. 0,72	0,43	0,63	0,44	0,55	0,44	0,47	0,42
6. 0,69	0,41	0,60	0,42	0,52	0,42	0,45	0,41
7. 0,65	0,39	0,56	0,39	0,49	0,39	0,42	0,38
8. 0,62	0,37	0,54	0,38	0,47	0,38	0,40	0,36
9. 0,61	0,37	0,53	0,37	0,46	0,37	0,40	0,36
Среднее	0,436		0,448		0,445		0,431

По табличным данным среднее значение произведения двух коэффициентов равно 0,44. По данным 1, 4 и 9 строк таблицы построены графики связи КПД и K_p (рис).



Как видно, практически для всех исследованных условий применения бороздкового полива связь между КПД борозды и K_p носит линейный характер и она показывает, что с увеличением КПД уменьшается K_p и наоборот – с увеличением K_p КПД уменьшается.

Однако для современного сельскохозяйственного производства иметь оптимальные элементы техники полива только для одной борозды совершенно недостаточно. Дело в том, что на полях вода в борозды подается из ок-арыков (выводных борозд). Последние относятся к особой 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 ок-арыки 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 δ_t - потери воды на 1 км водотока, %;

Q – расход воды водотока, м³/ч;

t – время работы водотока, час;

α - коэффициент в формуле А.Н. Костякова $K_t = \frac{K_1}{t^\alpha}$;

A, B, n – параметры.

На основании зависимости (14) получена формула для расчёта коэффициента полезного действия периодически работающего водотока (η)-

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

где l – длина водотока, км.

По этой зависимости проведены расчёты по определению КПД ок-арыков, потерь воды на фильтрацию в них 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 Дуствликского района Джизакской области Республики Узбекистан). Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4 - Потери воды на фильтрацию и испарение внутри поля, м³
(при одном поливе)

№	Длина борозд, м	КПД борозды	Потери воды в бороздах	КПД ок-арыка	Потери воды в ок-арыке	Количество ок-арыков	Потери воды в ок-арыках	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

Протяжённость 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 нём составляют: при длине 0,95 км - около 1440 м³; при длине 0,9 км – 1370 м³; при длине 0,8 км – 1350 м³.

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 м³.

С учётом этого общие потери воды на поле при одном поливе нормой 900 м³/га составят: при длине борозд 50 м – 8035 м³; при длине 100 м – 7820 м³; при длине 200 м – 8475 м³. При некоторой условности данных расчётов очевидно, что 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 путём приведенных выше расчётов. Если же поставить цель минимизации затрат ресурсов (воды, топлива, труда), то необходимо добавить расчёты затрат на устройство ок-арыков, на зарплату рабочих.

Длина борозды может стать предметом рассмотрения задачи экономической эффективности системы орошения с учётом стоимостной оценки оросительной воды, и земли (земли, теряемой под ок-арыками).

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.

Таблица 5 - Рекомендуемые нормативные значения показателя эффективности полива по бороздам

Технология полива	Показатель эффективности полива	
	для земель, не подверженных ирригационной эрозии	для земель, подверженных ирригационной эрозии
Для стандартных борозд		
Полив постоянной струёй	$\geq 0,43$	$\geq 0,35$
Полив переменной струей	$\geq 0,60$	$\geq 0,50$
Дискретный полив	$\geq 0,70$	$\geq 0,65$
Для мульчированных и комбинированных борозд		
Полив по мульчированным перфорированной плёнкой бороздам	$\geq 0,72$	$\geq 0,70$
Полив по комбинированным бороздам (нижняя часть стандартных мульчирована соломой озимой пшеницы)	$\geq 0,75$	$\geq 0,75$

К общим критериям полива по бороздам относятся: объём 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.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Безбородов Ю.Г. Теоретическое обоснование и практическая реализация полива пропашных культур по экранированным бороздам: Автореф. дисс...доктора техн. наук. - М., 2010. – 42 с.
2. Денисов И.Ю. Математическая модель дискретного импульсного полива по бороздам: Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Ташкент, 1992. – 20 с.
3. Костяков А.Н. Основы мелиораций. - М., 1960. – 622 с.
4. Лактаев Н.Т. Полив хлопчатника. - М.: Колос, 1978. – 176 с.
5. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение. Справочник / Под ред. Шумакова Б.Б. - М.: Колос, 1999. – 432 с.
6. PD 10.11.3-89. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки поливные. Программа и методы испытаний.
7. Ташев Х.Т., Безбородов Г.А. Технико-экономические основы переустройства гидромелиоративных систем. – Ташкент: Узбекистан, 1982. – 149 с.
8. Водопотребление сельхозкультур (ФАО Материалы по ирригации и дренажу. Книга 29). - Рим, 1976. – 129 с.