

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

**"РОЛЬ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМ "**

(МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ)

Москва 2006

УДК 631.674.1

**МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОРОШАЕМЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ**

А.А. Терпигорев

ФГНУ ВНИИ «Радуга», Московская область, Коломенский район, Россия

Рациональная эксплуатация орошаемых агроландшафтов накладывает определенные требования в обеспечении их устойчивости и применения современных интегрированных технологий и технических средств механизированного орошения, обеспечивающих снижение затрат на использование водных, энергетических и материальных ресурсов, которые в конечном счете определяют себестоимость выращиваемой продукции.

Снижение эффективности применения дождевания в период сильных ветров из-за сноса до 30 % воды от подаваемой на поле, высокая стоимость энергетических ресурсов определила широкое распространение поверхностного способа полива. В США доля орошаемых земель поверхностным поливом составляет почти 50%. Развитие поверхностного полива в РФ было ограничено рядом причин, в том числе низким качеством проведения технологического процесса полива, отсутствием средств механизации полива и низким уровнем подготовки земель к поливу [1].

Технологический процесс традиционного полива по длинным (200-400 м) бороздам характеризуется большими потерями оросительной воды на глубинные утечки и концевые сбросы, что явилось одной из причин снижения устойчивости орошаемых агроландшафтов при их интенсивной эксплуатации.

Значительные потери оросительной воды при поливе, неравномерность распределения поливной нормы по длине поливных борозд и низкая производительность труда на поливе определили необходимость разработки новых водосберегающих технологий по длинным бороздам, в т.ч. полив переменным расходом, дискретный (импульсный) полив, полив с рассредоточенной подачей расхода по длине поливных борозд (табл. 1) [2, 3].

Таблица 1

Показатели качества технологий полива по бороздам

Технология полива	Коэффициент неравномерности увлажнения	Величина сброса, % от водоподачи
Полив нормой добегаания	0,1-0,5	0
Полив постоянной струей со сбросом	0,6-0,8	20-70
Полив малой струей со сбросом	0,5-0,8	0-15
Полив переменной струей	0,7-0,9	0-10
Полив по сформированным бороздам	0,8-0,9	1-5
Полив дискретной (импульсной) струей	0,8-0,9	1-7
Полив с рассредоточенной подачей расхода	0,7-0,8	1-2

В перечне этих технологий (табл. 1) полив переменной струей и полив с рассредоточенной подачей расхода по длине поливных борозд представляет практический интерес в решении вопроса обеспечения устойчивости орошаемых агроландшафтов.

Отечественные (ВНИИ «Радуга») и зарубежные исследования (штат Айдахо, США) технологии рассредоточенной подачи расхода по длине поливных борозд показали явные её преимущества по сравнению с традиционными технологиями полива в экономии оросительной воды и повышением равномерности увлажнения почвы по длине поливных борозд [4]. На почвах средней водопроницаемости рассредоточенная подача расходов по 0,2 л/с через каждые 50 м на 400-метровых бороздах с междурядьями 0,9 м обеспечивает равномерность увлажнения почвы до 0,7-0,8 против 0,6. Это достигается при тщательном поливе из гибких шлангов, а величина конечного сброса составляет 1,2 % вместо 7,1 %. Более высокая равномерность увлажнения почвы способствовала повышению урожайности хлопчатника на 4-5 ц/га и люцерны – на 4-6 ц/га.

Исследования, проведенные в шт. Айдахо на пылеватых тяжелосуглинистых почвах, показали, что при рассредоточенной подаче расходов 0,08 л/с через каждые 45 м для равномерного распределения поливной нормы 50 мм в борозду необходимо подать 56-73 мм. Продолжительность полива соответственно составляет: 5,25 и 6,84 часа вместо 4,69 часа. При обычном поливе с подачей суммарного расхода в начале борозды, длиной 150 м и междурядьями 0,6 м, необходимо подать 86-143 мм или в 1,5-2 раза больше, с соответствующим увеличением продолжительности полива.

Рассредоточенная подача расхода по длине поливных борозд снижает конечной сброс в 5 раз и сокращает смыв почвы в 10-12 раз по сравнению с подачей этого же расхода в начале борозды равной длины [5].

В США для полива рассредоточенной подачей расхода использовались переносные разборные трубопроводы. Однако трудоёмкость их применения для этой технологии оказалась настолько значительной, что от них пришлось отказаться. Для снижения затрат труда на поливе, эту технологию применили на стационарных системах с поливными трубопроводами, уложенными на глубину ниже пахотного горизонта, а подачу воды в борозды осуществляли через вертикально установленные трубки-водовыпуски, расположенные через 2 м аналогичной конструкции стационарных систем с поливными трубопроводами, разработанными в РФ для полива садов и виноградников /Г.Ю. Шейкин,

В.А.Сурин/. Однако, на поливе пропашных сельскохозяйственных культур наличие стояков-водовыпусков ухудшает условия беспрепятственной обработки почвы.

Механизация полива пропашных сельскохозяйственных культур по длинным 400-метровым бороздам с рассредоточенной подачей расхода воды по их длине, ВНИИ «Радуга» было достигнуто с применением поливных шлейфовых машин ТКУ-100 и ТКП-90, представляющих собой передвижные колесные трубопроводы типа ДКШ-64 «Волжанка» и ДКН-80, на которых, вместо дождевальных аппаратов через каждые 50 м установлены вращающиеся муфты, оснащенные 18-27-метровыми поливными шлейфами с водовыпусками для подачи постоянных расходов до 0,2 л/с в поливные борозды длиной 400 м через каждые 50 м.

Проведенные полевые и Государственные испытания ТКУ-100 показали, что энергетические затраты на водоподъем и распределение 1000 м³ воды при поливе ТКП-90 и ТКУ-100 составили – 42 кВт/ч, что в 3 раза меньше, чем при дождевании базовыми машинами ДКШ-64 «Волжанка» и ДКН-80 [4].

К недостаткам технологии полива рассредоточенной подачей постоянного расхода по длине поливной борозды следует отнести ограниченную величину поливной нормы при допустимой величине равномерности её распределения 0,7-0,8. На почвах высокой водопроницаемости (более 0,3 см/мин) величина нормы добегаания, при рассредоточенной подаче расхода 0,2 л/с, составляет 800 м³/га, на почвах средней водопроницаемости (0,15-0,3 см/мин) для этих же расходов норма добегаания составляет 500 м³/га, на почвах низкой водопроницаемости (менее 0,15 см/мин) – соответственно, 300 м³/га. С увеличением поливной нормы до 600-800 м³/га полив постоянным расходом приводит к стоку на нижележащие участки и формированию конечного сброса, а сокращение величины подаваемого расхода снижает равномерность распределения поливной нормы. В связи с этим возникает необходимость совершенствования как самой технологии полива с рассредоточенной подачей, так и технических средств для её реализации.

Полив по длинным бороздам с рассредоточенной подачей расхода по их длине ещё недостаточно изучен [6]. Если его рассматривать как полив нормой добегаания (табл. 1), то неравномерность увлажнения не превысит 0,5, а если как полив постоянной струей со сбросом, то при достигаемой неравномерности увлажнения сброс может составить до 20% от водоподачи. На орошаемых агроландшафтах такая технология полива постоянным расходом будет иметь ограниченное применение.

Полив переменной струей предопределяет необходимость проведения двух режимов увлажнения: период добегаания и период доувлажнения. В определении продолжительности этих периодов важным фактором следует считать выбор метода их расчета. Наличие большого количества расчетных формул по определению продолжительности добега воды по сухой борозде ставит нас перед выбором удобства их применения без учета их условий применения. Проведенный анализ рекомендаций по выбору элементов техники полива по коротким (50 м) бороздам показывает, что при подаче в них расходов до 0,1-0,3 л/с продолжительность полива не будет превышать 2-6 часов. Следовательно, для расчета пробега воды по сухой борозде правомерно использование формулы скорости впитывания, предложенной академиком А.Н. Костяковым, границы применимости этой формулы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Границы условий применимости формулы впитывания А.Н.Костякова

(по рекомендациям И.П. Айдарова и Ю.Н.Никольского)

Водопроницаемость почв	Скорость впитывания, м/ч	Показатель α	Коэффициент фильтрации, м/ч	Пределы применимости, ч
слабая	0,01-0,04	0,7-0,8	0,08-0,03	1-7
средняя	0,05-0,06	0,4-0,6	0,03-0,04	1,5-10
сильная	0,08 и более	0,2-0,3	0,05 и более	5-10

Тогда для определения продолжительности добега воды по отрезку сухой борозды при рассредоточенной подаче также применима формула А.Н. Костякова в общем виде

$$l = \frac{q}{\rho \alpha n K_0} t^n, \quad (1)$$

где l – длина отрезка борозды; t – время добега воды; q – расход, подаваемый на отрезок борозды; n – направленный коэффициент (1,25); K_0 – средняя скорость впитывания, равная $\frac{K_1}{(1-\alpha)^n}$; ρ – активный смоченный периметр борозды; α – показатель степени затухания процесса впитывания (0,3-0,8).

Или в её краткой форме [2]

$$l = V_1 \alpha t^n, \quad (2)$$

где l – длина борозды, м; V_1 – длина участка борозды, пройденная струей в первую единицу времени (мин, ч) или скорость пробега струи в первую единицу времени, м/мин.; α – показатель степени затухания продвижения воды по сухой борозде.

Параметры, входящие в это уравнение, могут быть легко определены по известным рекомендациям и уточнены проведением пробных пусков расходов в конкретных условиях. Для почв высокой и средней водопроницаемости расход, подаваемый в 50-метровую борозду с уклонами не более 0,015, для шлейфовых машин принят 0,2 л/с. Определив продолжительность добега расходов струи на заданную длину борозды, можно определить и норму добега.

Вопрос же назначения размера поливной струи в период доувлажнения пока остается открытым. В зависимости от типа почв, длины борозд первоначальную поливную струю уменьшают в 2-4 раза [7]. На практике обеспечить такое многоступенчатое регулирование без изменения расхода на гидранте не только трудоемко, но и сложно, в том числе по причине дальнейшего использования высвобожденного расхода. Многоступенчатое изменение подаваемого расхода в борозды без изменения расхода на гидранте в настоящее время решена только при использовании непрерывно перемещающихся поперек борозд гибкого трубопровода с водовыпусками, открытыми на соответствующий расход, как это достигается на стационарном автоматизированном шланговом поливном устройстве АШУ конструкции ВНИИ «Радуга».

При поливе с рассредоточенной водоподачей по длине поливных борозд шлейфовых машин для уменьшения сброса обычно отключают последний шлейф. Но без уменьшения расхода на гидранте уменьшенный расход автоматически перераспределяется между работающими поливными шлейфами и проблема сокращения сброса практически не достигается. Сокращение сброса машин может быть достигнуто и без изменения подаваемого в них расхода на гидранте за счет увеличения расстояния между поливными шлейфами. На первой позиции машины подачу воды в период добегаания осуществляют из каждого шлейфа, а период доувлажнения осуществляют от следующего гидранта через один шлейф /М.П. Пензин и др., 1992/. Но оснащение машины двумя типами поливных шлейфов, имеющих разную длину и величину подаваемых расходов, усложняют общую конструкцию машины, увеличивают массу перемещаемых шлейфов. Поэтому поливные шлейфы целесообразнее применять одного типоразмера, рассчитанного на одинаковый расход. Такой шлейф длиной 36 м изготавливают из двух секций: верхняя рассчитана на пропуск наибольшего расхода, а нижняя часть на полив уменьшенной струей.

Кроме того, при подаче расхода в ранее увлажненные борозды после паузы продолжительность пробега струи на 100 м борозды раскидана до 0,3 л/с, сокращается в 7-9 раз, как это наблюдается при дискретной (импульсной) подаче воды в борозды [8]. Поэтому величину уменьшенного расхода струи в период доувлажнения необходимо также назначать из времени пробега воды по увлажненной борозде.

Ранее проведенные исследования показали, что продолжительность пробега воды по увлажненной борозде может быть определена из уравнения (3), имеющего достаточно тесную корреляционную связь и ошибку, не превышающую 10 % ($\Pi = 0,985-0,998$; $E = 2,14-10,0$ %)

$$l = V_y \times t^{\gamma_y}, \quad (3)$$

где V_y – скорость пробега воды в первую единицу времени по увлажненной борозде; γ_y – показатель затухания продвижения воды по увлажненной борозде.

Скорость пробега струи в первую единицу времени V_y по увлажненной борозде и показатель степени затухания пробега γ_y от расхода с достаточной степенью сходимости аппроксимируется параболической и степенной зависимостью. По степенной зависимости ($\Pi = 0,890$; $E = 18,19\%$) начальная скорость пробега струи по увлажненной борозде с уклонами 0,004-0,005 на степных сероземах пониженной водопроницаемости эмпирически связана с расходом уравнением

$$V_y = 22,95 \times q^{0,963}, \quad (4)$$

где q – расход, подаваемый в борозду, л/с.

Для сравнения скорость пробега V_1 по сухой борозде ($\Pi = 0,946$; $E = 18,89$ %)

$$V_1 = 7,25 \times q^{0,413}. \quad (5)$$

Показатель степени затухания пробега воды по увлажненной борозде в диапазоне расходов 0,2-1,0 л/с в этих же условиях ($\Pi = 0,565$; $E = 2,43$ %)

$$\gamma_1 = 0,89 \times q^{1,031} \quad (6)$$

Для сравнения этот показатель при поливе по сухой борозде ($\Pi = 0,910$; $E = 4,739 \%$)

$$\gamma = 0,84 \times q^{0,778} \quad (7)$$

Решая совместно уравнения (2) и (3) с использованием зависимостей 4-7, определяем величину уменьшенного расхода поливной струи при равных i и l .

Проведенный расчет с использованием результатов исследований на уклонах 0,004-0,005 показывает, что при равной продолжительности периодов добегания и доувлажнения 105 мин. в бороздах длиной 50 м величина уменьшенного расхода поливной струи должны быть не более 1/4 первоначального расхода (0,2 л/с), что в расчете составляет 0,048-0,05 л/с. Поливные нормы в период добегания и доувлажнения, соответственно, составляют 360 м³/га и 90 м³/га, а суммарная поливная норма составляет 450 м³/га.

Полученную величину поливной струи необходимо проверить на соответствующий диаметр водовыпуска поливного шлейфа из условий его незасоремости. Минимальный размер водовыпусков должны быть от 4 мм /В.А. Сурин, МГУП/ до 2,5-3 мм по опыту их применения для импульсного орошения садов на системах Нижняя Рона и Лангедок (Франция) и ВНИИ «Радуга». Применение меньших диаметров водовыпусков потребует проведения тонкой очистки оросительной воды. Проведенный гидравлический расчет поливных шлейфов для полива переменным расходом показывает, что минимальный размер водовыпусков для уменьшенной струи 0,05 л/с, составляет 4,6-5,0 мм, а для первоначального расхода 0,2 л/с – 7,9-9,2 мм [9].

Технологическая схема полива шлейфовыми машинами с рассредоточенной подачей переменных расходов по длине поливных борозд приведена на рисунке. Показатели качества технологического процесса полива составляют по равномерности увлажнения почвы – до 0,89, а величина концевой сброса не превысит 1-2 %.

Эксплуатация орошаемых агроландшафтов требует восполнения в почве питательных элементов, расходуемых растениями. Результаты обобщенных данных показывают, что продуктивный вынос питательных элементов на 1 т товарной продукции овощей по основным элементам питания N , P_2O_5 , K_2O . Соответственно, составляют: 3,2-9,5; 1,1-3,3 и 4,5-12,5 кг. Взаимный эффект влияния орошения с внесением минеральных удобрений оценивается прибавкой урожая на уровне 30-60%.

Восполнить вынос элементов питания из почвы, в том числе оперативно, в соответствии с их потреблением, можно одновременно с проведением орошения. Для этого технические средства полива должны быть оборудованы гидроподкормщиками. Для шлейфовых машин применяют серийные гидроподкормщики типа ГПД-50 или специальные, с полезным объемом 4500 дм³, с подачей питательных растворов от 100 до 7500 дм³/ч. Поливные шлейфовые машины позволяют вносить с оросительной водой и подготовленные животноводческие стоки с обоснованными нормами [10]. Для повышения санитарной безопасности и снижения контакта поливальщика со стоками, приводная тележка поливной машины ТКУ-100 может быть оснащена электроприводом, работающим от генератора, смонтированного на тракторе ТМ-16.

Планировка почв под технологии поверхностного полива является не только необходимостью для проведения механизации, но, по опыту её применения в США и Индии,

она обеспечивает и ряд других факторов, влияющих на повышение урожайности сельскохозяйственных культур и при дождевании: равномерная готовность почвы к посеву, равномерное развитие растений и создание условий для проведения механизированных технологий ухода за растениями. Проведение качественной планировки по данным ведущих специалистов орошаемого земледелия РФ позволяет повысить на поливе по бороздам урожайность в 1,3-2,3 раза и снизить поливную норму в 1,6-2,2 раза. ИЦ «Луч» разработана совершенная, высокоточная (± 3 см) технология планировки с использованием лазерных систем. Такая точность планировки раскрывает путь к развитию водосберегающих механизированных технологий поверхностного полива в РФ. Разработка малообъемных технологий планировки с минимальным перемещением грунта в пределах участков суточного полива (до 8-16 га) снизит нагрузку на орошаемый агроландшафт.

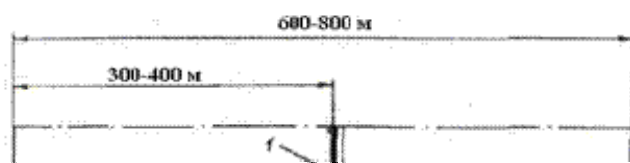
Стоимость планировки по отдельным участкам под улучшенную топографическую поверхность в 2-2,5 раза меньше, чем планировка всей поверхности орошаемого участка под наклонную плоскость.

Проведенное районирование земель Поволжья по способам орошения /В.М. Романцев, Т.И. Иванцова, Т.Л. Волчкова, 1982/ и данные ЦСУ 1980 г. показали, что полив по бороздам в Саратовской, Волгоградской, Астраханской области и Калмыкской АССР применялся на площади 25,4 тыс. га, а в перспективе он мог применяться на площади 47 тыс. га. В перспективе они могут быть расширены за счет реконструкции высоконапорных оросительных систем с переводом их на низконапорные технологии поверхностного полива.

а)



б)



Общий вид (а) и технологическая схема работы модификаций шлейфовых машин (б):

1 – оросительный трубопровод; 2 – гидрант; 3 – поливная машина;

4 – поливные борозды; 5 – шлейф; 6 – приводная тележка; 7 – насосная станция;

8 – водоисточник; 9 – дорога

Что касается эффективности применения интегрированной технологии полива по бороздам, как других способов орошения, обеспечивающих устойчивость агроландшафтов, то они должны определяться не получением максимального урожая при наибольших количествах потребляемой воды и питательных веществ, а при оптимальном их обеспечении, когда затраты на единицу выращенной продукции становятся рентабельными /А.Н. Костяков, Избранные труды, Т.2, 594 с./.

Библиографический список

1. Терпигорев А.А., Панин В.Л.. Аспекты развития технологий поверхностного орошения в степных и полустепных регионах России. Экологические проблемы мелиорации (Костяковские чтения). – М.: ВНИИГиМ, 2002.
2. Чичасов В.Я., Изюмов В.В., Носенко В.Ф., Штокалов Д.А.. Техника полива сельскохозяйственных культур. – М: Колос, 1970.
3. Терпигорев А.А. Механизированные водосберегающие технологии поверхностного полива по бороздам. /Сб. Мелиорация и окружающая среда. – М.: ВНИИГиМ, 2004.

4. Протокол государственных испытаний ТКУ-100, № 26-61-88, СредазМИС, 1988.
5. Обзорная информация. Совершенствование некоторых способов полива в США. МСХ. СССР. – М., 1975.
6. Носенко В.Ф. Возможности и пути совершенствования технологий поверхностного полива. /Сб. научных трудов ВНИИМиТП. – М., 1978. Вып. 11.
7. Сурин В.А.. Техника и технологии полива сельскохозяйственных культур по бороздам на больших уклонах. – М., МГУП, 1994.
8. Терпигорев А.А.. Механизированные технологии полива с декретным регулированием подачи воды в борозды. //Гидротехника и мелиорация. 2004. № 3.
9. Терпигорев А.А., Буцыкин А.М., Рева Л.П.. Методика гидравлического расчета поливных трубопроводов и шлейфов для поливных машин, установок и устройств. – Коломна: ВНИИ «Радуга, 2004.
10. Терпигорев А.А., Митрюхин А.А., Буцыкин А.М., Рева Л.П.. Расчет элементов техники полива при орошении животноводческими стоками. //Гидротехника и мелиорация. 1983. № 7.