

УДК 630.1  
AGRIS: M40

## ИНФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

©*Гуламов С. Б., Ташкентский институт инженеров ирригации  
и механизации сельского хозяйства,  
г. Ташкент, Узбекистан*

## INFILTRATION OF WATER DURING DRIP IRRIGATION

©*Gulamov S., Tashkent Institute of irrigation and agricultural mechanization engineers,  
Tashkent, Uzbekistan*

*Аннотация.* Приводятся результаты многолетних полевых экспериментальных исследований капельного орошения сада и процесс инфильтрации воды в почву в природно-хозяйственных условиях Ташкентской области Узбекистана. В Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства с 2014 года проводятся исследования по разработке национальной капельной системы орошения, не уступающей по техническим параметрам и конкурентоспособностей самым лучшим зарубежным образцам. Такая система создана и запатентована. Исследования проводились на территории в 60 га. Использовались общепризнанные методики и проведена статистическая обработка материала. Разработана инновационная технология режима орошения сада при помощи отечественной низконапорной капельной системы. Определены ресурсосберегающие параметры техники и технология орошения отечественной низконапорной капельной системы при различных поливных и оросительных нормах, а также — число и сроки поливов. Разработана инновационная технология сада в условия Ташкентской области.

*Abstract.* The article presents the results of long-term field experimental studies of drip irrigation of the garden and the process of water infiltration into the soil in the natural-economic conditions of the Tashkent region of Uzbekistan. At the Tashkent Institute of Agricultural Irrigation and Mechanization, since 2014, research has been carried out to develop a national drip irrigation system that is not inferior in terms of technical parameters and competitiveness to the best foreign samples. Such a system is created and patented. The study was conducted on the territory of 60 hectares. We have used conventional methods and conducted a statistical analysis of the material. An innovative technology for irrigation of the garden has been developed with the help of the domestic system for low pressure relief. Resource-saving parameters of the equipment and irrigation technology of the domestic system of dropping the pressure at different levels of irrigation and irrigation, as well as the number and timing of irrigation have been determined. Garden innovative technology has been developed in terms of Tashkent region.

*Ключевые слова:* инфильтрация воды, капельном орошении, низконапорной капельной системы орошения, климат, почвы, гидрогеология, водное хозяйство.

*Keywords:* infiltration of water, drip irrigation, low-pressure drip irrigation system, climate, soil, hydrogeology, water management.

### *Введение*

В настоящее время в связи дефицитом водных ресурсов крайне актуальным становится создание инновационных способов техники и технологии поливов сельскохозяйственных культур внутрихозяйственных оросительных систем нового поколения, модернизация эксплуатации технологии полива сельскохозяйственных культур. Кабинетом Министров Республики Узбекистан разработана долговременная Программа внедрения систем капельного орошения, рассчитанная на 2009–2020 годы.

### *Степень изученности проблемы*

Имеются много научных достижений в области разработки различных конструкций и технологий капельного орошения в США, Израиле, России и других странах, однако исследования по определению технических параметров и технологии орошения на основе отечественной низконапорной капельной системы выполняются впервые в условиях Ташкентской области.

Целью данной работы является разработка техники и технологии орошения на основе низконапорной капельной системы орошения на полигоне ТИИИМСХ для получения высоких и устойчивых урожаев при снижении затрат водных, земельных, трудовых, технических, финансовых, материальных и других ресурсов.

### *Задачи исследований:*

- разработка рационального режима орошения и инновационной техники и технологии орошения сада;
- оптимизировать параметры элементов низконапорной системы капельного орошения, обеспечивающие их технико–экономическую эффективность;
- разработать научно–практическое руководство по повышению надежности низконапорной капельной системы.

### *Объекты и предмет исследования:*

- учебно–научный центр Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (ТИИИМСХ);
- учебно–исследовательский центр Министерства Высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан;

В целом, площадь культур, охваченная исследованиями национальной капельной системой орошения, составляет 60 га.

Были проведены работы:

- по определению повышения надежности национальной низконапорной системы капельного орошения сада;
- установлению расходов воды в зависимости от размеров поливных норм и диаметра трубок–капельниц;
- определение необходимого минимального напора воды в трубках капельницах при различном расходе;
- установление оптимальной длины трубок капельниц в зависимости от уклонов поверхности земель;
- разработка рекомендаций режиму орошения и технологии орошения сада.

### *Методика исследований*

При проведении исследований использованы общепризнанные методики УзНИИХ, ТИИИМСХ, НИИИВП при ТИИИМСХ.

Репрезентативность определена по методике В. В. Шабанова, Е. П. Рудаченко и достоверность результатов проверена методами математической статистики по Б. А. Доспехову [1–2].

В условиях орошаемого земледелия Ташкентской области необходимо разработать инновационной технологии водосбережения на основе новой национальной низконапорной капельной системы орошения ТИИИМСХ, обеспечивающая значительное уменьшение расходов воды и повышение производительности труда для выращивания сада в условиях возрастающего дефицита водных ресурсов.

#### *Научная новизна:*

–разработана инновационная технология режима орошения сада при помощи отечественной низконапорной капельной системы.

–определены ресурсосберегающие параметры техники и технология орошения отечественной низконапорной капельной системы при различных поливных и оросительных нормах, а также — число и сроки поливов.

–впервые разработана методика определения значения надежности низконапорный систем капельного орошения.

Разработана инновационная технология сада.

#### *Разработка режима орошения сада*

В Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, начиная с 2014 года, проводятся исследования по разработке национальной капельной системы орошения, не уступающей по техническим параметрам и конкурентоспособностей самым лучшим зарубежным образцам. Такая система создана и запатентована.

Однако, вопрос о том, какой должна быть величина поливной нормы при капельном орошении, является актуальным и в задачи данного исследования вошли вопросы по расчету поливной нормы. Поливная норма — это объем воды, подаваемый на 1 га орошаемого поля за один полив. Это известная, на сегодня трактовка Н. А. Костякова [3].

При капельном орошении требуется корректировка.

Интересно, что в основу определения принимается не обеспечение конкретной культуры во влаге, а всего орошаемого поля. В формуле Н. А. Костякова показано сколько надо использовать воды за один полив орошаемого участка, а не конкретной культуры растения, или:

$$m = AH \cdot (\beta_{\max} - \beta_{\min}) \quad (1)$$

где  $A$  — скважность почвы в % от объемной массы;

$H$  — расчетный (активный) слой почвы, м;

$\beta_{\max}$  — наименьшая влагоемкость почвы в % от объемной массы;

$\beta_{\min}$  — минимальная допустимая влажность почвы в процентах от наименьшей влагоемкости (НВ), %.

В формуле нет показателя занятости площади поверхности почвы культурой, поэтому по формуле на каждый гектар рекомендуется подавать за один полив от 600 до 1000 куб. м/га воды и больше.

Для полива культур обычным бороздковым способом при отсутствии таких систем орошения, как капельное и т. п., формула Н. А. Костякова в целом не вызывает сомнений, если опустить такие нюансы как качество поливной воды и ряд других показателей. И

наоборот, присутствуют коэффициенты промывного режима, что в современных условиях едва ли возможно.

При капельном орошении сада увлажняется каждое дерево, отсюда и формула увлажнения каждого полива будет иметь следующий логичный вид:

$$m = 100A \left( H \frac{BB}{av} \omega \right) \cdot (\beta_{\max} - \beta_{\min}) \quad (2)$$

где  $B$  — ширина поля, м;

$B$  — длина поля, м;

$a$  — расстояние между двумя культурами по ширине поля, м;

$v$  — расстояние между двумя культурами по длине поля, м;

$BB/av$  — количество культур, шт. на поле;

$\omega$  — площадь увлажнения, занятая одной культурой.  $\omega = \pi r^2$ , м<sup>2</sup>;

$r$  — радиус увлажнения поверхности земли одной культуры, м.

На опытном участке  $B=100$  м,  $B=100$  м,  $a=5$  м,  $v=4$  м. На одном гектаре 120 шт. деревьев; при  $\gamma=0,4$ ,  $H=1$  м,  $z=1$  м;  $\beta_{\max}=100\%$  и  $\beta_{\min}=70\%$  от НВ, величина поливной нормы составила:

$$m = 100A \left( H \frac{BB}{av} \omega \right) \cdot (\beta_{\max} - \beta_{\min}) \quad (3)$$

Или,  $100 \cdot 40(1 \cdot 100 \cdot 100 / 54) \cdot 3,14 \cdot 1^2 / 10000 \cdot (1 - 0,7) = 180$  куб. м/га или каждому дереву за один полив необходимо:

$$w = 180 / 120 = 1,5 \text{ куб. м/га или } 1500 \text{ литров воды при слое увлажнения } 1 \text{ м.}$$

Новый подход к обозначению величин поливных норм сопряжен с необходимостью соответствующих уточнений других режимов орошения — это количество поливных норм, времени поливов и сроках поливов. Так при капельном орошении, сроки поливов и межполивных периодов будут качественно отличаться от ныне применяемых при бороздовом орошении.

Назревший в последние годы острый дефицит водных ресурсов в Центрально Азиатских странах, в том числе и в Ташкентской области Узбекистана, по ряду объективных и субъективных причин, может быть преодолен благодаря предлагаемым технологиям.

Продолжительность полива определялся по формуле, час:

$$T_{\text{пол}} = \frac{m \cdot 1000}{q_k \cdot n \cdot N} \quad (4)$$

где  $m$  — поливная норма, м<sup>3</sup>/га

$q_k$  — расход капельниц л/час = 1 л/с

$N$  — число капельниц = 8 шт.

$n$  — количество растений на 1 га

$$\text{Для участка №4 (сад), } T = \frac{18 \cdot 1000}{1 \cdot 8 \cdot 800} = 6,6 \text{ часов.}$$

Оросительная норма составила:

для опытного участка №4 (сад) — 560,64 м<sup>3</sup>/га; для участка №4 — 752,75 м<sup>3</sup>/га

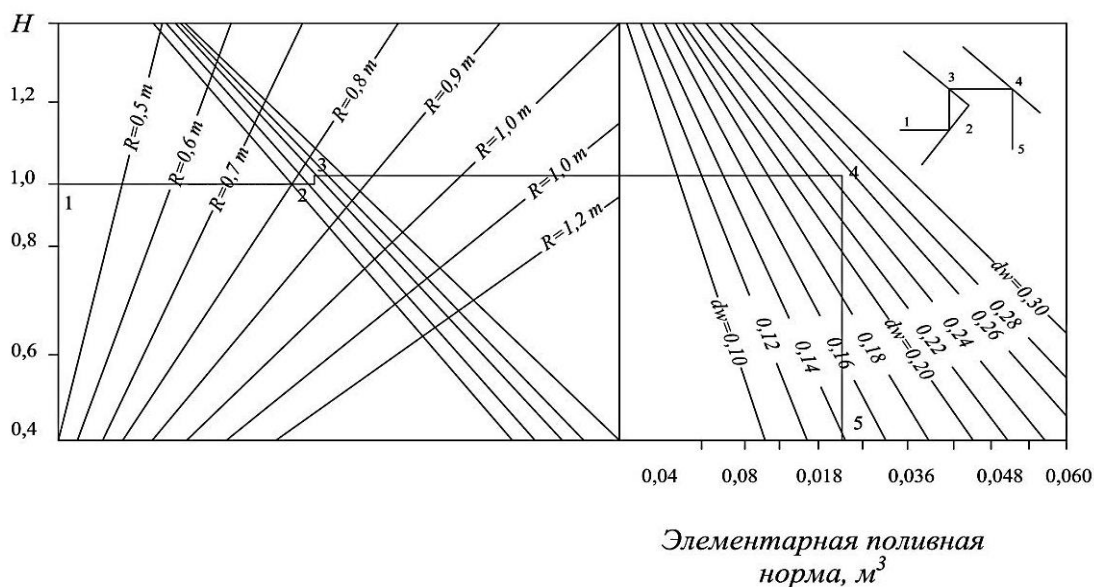


Рисунок 1. Номограмма для определения элементарной поливной нормы при очаговом увлажнении в системе капельного орошения.

Номограмма для определения элементарной поливной нормы при очаговом увлажнении в системе капельного орошения:

R, H — радиус и глубина увлажнения.

#### *Математическое моделирование процесса инфильтрации влаги в почве*

В теории влаг переноса широко применяется закон Дарси для выражения фильтрации в ненасыщенной зоне, который имеет вид:

$$V = -K_w \left( \frac{d\varphi}{dz} - 1 \right) \quad (5)$$

где V — скорость фильтрации;

$K_w$  — коэффициент влагопроводности, зависящий от влажности почвы;

$\varphi$  — капиллярный потенциал почвенной влаги;

z — координата, направленная вниз, отсчитываемая от поверхности земли.

Коэффициент влагопроводности почвы  $K_w = f(w)$  обуславливающий гравитационный влагоперенос, определяется по формуле С. Ф. Аверьянова:

$$K_w = K_\phi \left( \frac{w_i - w_0}{m - w_0} \right)^n \quad (6)$$

где  $K_\phi$  — коэффициент фильтрации почвы при полном насыщении;

$w_i$  — начальная влажность почвы;

$w_0$  — содержание связанной влаги в единице объема почвы принимаемое равным максимальной молекулярной влагоемкости;

m — пористость почвы или полная влагоемкость;

$n$  — параметр, зависящий от свойства почвы.

Существует ряд предположений по характеру зависимости между влажностью и потенциалом влаги, из которых наиболее общим представляется предложения по И. С. Пашковским и В. Е. Чулаевским выражение [4]:

$$\varphi = h_k \ln \left( \frac{w_i - w_0}{m - w_0} \right)^{-1} \quad (7)$$

где,  $h_k = \int_0^1 \varphi \cdot d\theta$  максимальная высота капиллярного подъема.

Подставив выражения (5) и (6) при  $n=1$  и  $\theta = (w_i - w_0)/(m - w_0)$  где  $\theta = \theta(z, t)$  — насыщенность почвы влагой в уравнение (7), получим:

$$V = -K_\phi \cdot \theta \left( \frac{d\varphi}{dz} \cdot \frac{d\theta}{dz} - 1 \right) \quad (8)$$

Выразив  $d\varphi/d\theta$  через  $h_k/\theta$  имеем

$$V = -K_\phi \cdot \theta \left( \frac{d\varphi}{dz} \cdot \frac{d\theta}{dz} - 1 \right) = K_\theta \cdot h_k \frac{d\theta}{dz} + K_\phi \cdot \theta \quad (9)$$

Введем  $\mu$  в уравнение

$$V = -\mu \cdot \frac{K_\phi \cdot h_k}{\mu} \cdot \frac{d\theta}{dz} + \eta \frac{K_\phi}{\mu} \cdot \theta \quad (10)$$

Обозначив постоянные величины  $K_\phi \cdot h_k / \mu = D$  и  $K_\phi / \mu = B$ , получим:

$$V = -\mu \cdot D \cdot \frac{d\theta}{dz} + \mu \cdot B \cdot \theta \quad (11)$$

Разделив обе части уравнения на  $\mu$  и обозначив  $V/\mu = \bar{V}$  перепишем это уравнение в виде:

$$\bar{V} = -D \frac{d\theta}{dz} + B \cdot \theta \quad (12)$$

Р. Е. Хортон рекомендует скорость впитывания  $V$  как функцию времени  $t$  [5]:

$$V_t = (V_0 - K_\phi) \cdot \exp \left( -\frac{t}{z_o} \right) - K_\phi \quad (13)$$

#### Водопроницаемость почв на опытных участках

Водопроницаемость почвы оценивается по двум периодам: инфильтрации и фильтрации.

Полную математическую трактовку инфильтрации дал А. Н. Костяков. Для характеристик этого сложного процесса предложены показатели, м/ч:

$$K_1 = K_\phi \cdot t^\alpha \quad (14)$$

где  $K_1$  — скорость впитывания на конец первой единицы времени;

$K_{\phi}$  — установившаяся скорость впитывания (К–Дарси), м/ч;

$t$  — время, за которое завершается инфильтрация и впитывания приобретает установившийся характер, ч;

$\alpha$  — показатель степени кривой инфильтрации;

$$\alpha = \frac{\lg K_t - \lg K_{\phi}}{\lg t - \lg t_{\phi}} \quad (15)$$

где  $K_t$  — скорость впитывания на момент  $t$ , м/ч;

$$K_o = \frac{K_1}{1 - \alpha} \quad (16)$$

где  $K_o$  — средняя скорость впитывания в первую единицу времени (в первую минуту), м/ч,

$$K_{cp} = \frac{K_o}{t^{\alpha}} \quad (17)$$

где  $K_{cp}$  — средняя скорость за период  $t$ .

В логарифмических координатах кривая впитывания в период инфильтрации  $\left(K_t = \frac{K_1}{t^{\alpha}}\right)$  представляет собой прямую линию

$$\lg K_t = \lg K_1 - \alpha \lg t \quad (18)$$

И. Г. Алиев и Н. Ф. Бончковский предложили формулу [6]:

$$K_o = K_{cp} (10\Pi)^{\alpha} \quad (19)$$

где  $\Pi = 0,5^{0,1694}$

$$K_{cp} = \frac{K_1 t_1 + K_2 t_2}{t} \quad (20)$$

где  $K_{cp}$  — средняя скорость впитывания за период инфильтрации;

$t_1$  — время инфильтрационного впитывания, м/ч;

$t_2$  — время фильтрационного впитывания, м/ч.

По этой методике определены значения инфильтрации воды в почву в условиях Ташкентской области.

Скорость и слой впитывания воды в почву на опытных участках:

$A$  — капельного орошения яблони сорта “Golde”,  $B$  — полив по бороздам сада сорта “Golden” (контрольный вариант),  $h$  — толщина увлажнения расчетного слоя, м.



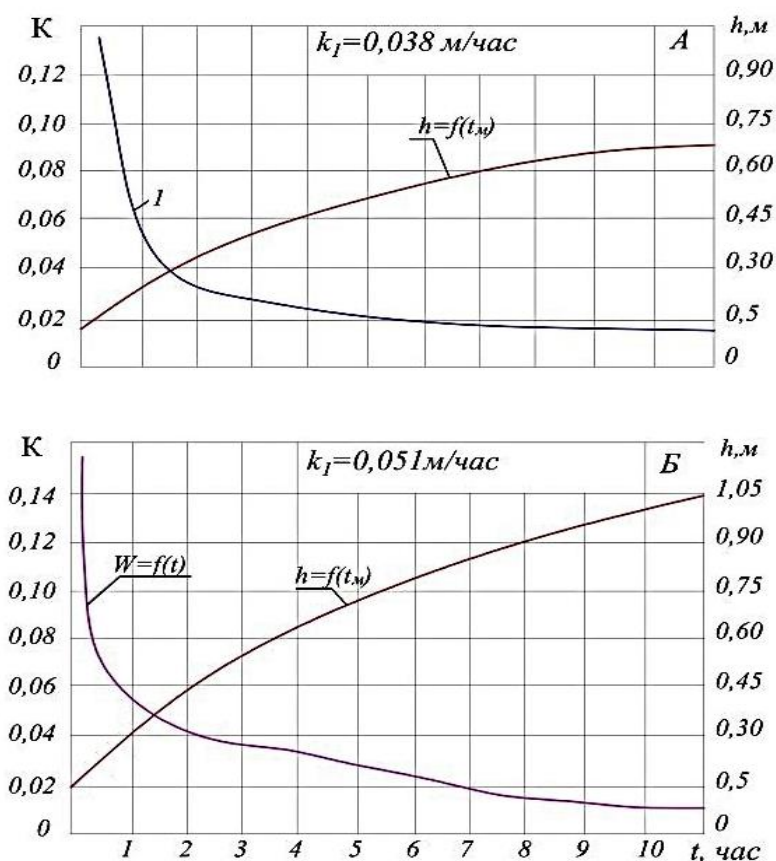


Рисунок 2. Характер изменения скорости впитывания, слоя впитывания во времени.

#### Выводы и предложения

Инфильтрация воды в почву расчетного слоя при капельном орошении сада отличается, чем при бороздковом поливе (контрольный вариант).

На скорость инфильтрации воды в почву кроме почвенно–геологических, геоморфологических и других условий влияет режим орошения, техника и технология поливов сада.

Режим орошения сада, нормы, сроки и число поливов при капельном орошении резко разниться, чем в контрольном варианте.

#### Список литературы:

1. Шабанов В. В., Рудаченко Е. П. Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций // Вестник сельскохозяйственных наук. 1971. №1. С. 83-86.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Костяков А. Н. Основные мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1960. 621 с.
4. Пашковский И. С. Разработка геофильтрационных моделей системы «зона аэрации - грунтовые воды» и их применение при изучении взаимосвязи подземных и поверхностных вод. М.: МГУ, 1985. Т. 6.
5. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов: Гидрофизический подход к количественной морфологии. М.: Государственное издательство иностранной литературы, 1948. 158 с.
6. Алиев И. Г., Бончковский Н. Ф. Определение оптимальных элементов техники полива по бороздам // Труды ВНИИМ и ТП. Коломна, 1970. С. 23.



*References:*

1. Shabanov, V. V., & Rudachenko, E. P. (1971). Typification of agricultural melioration objects. *Vestnik selskokhozyaistvennykh nauk*, (1), 83-86.
2. Dospekhov, B. A. (1985). Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Agropromizdat, 351.
3. Kostyakov, A. N. (1960). The main melioration. Moscow, Selkhozgiz, 621.
4. Pashkovskiy, I. S. (1985). Development of geofiltration models of the “aeration zone — groundwater” system and their application in the study of the interconnection of underground and surface waters. Moscow, Moscow State University, 6.
5. Horton, R. Ye. (1948). Erosion development of rivers and catchments: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Moscow, State Publishing House of Foreign Literature, 158.
6. Aliev, I. G., & Bonchkovsky, N. F. (1970). Determination of the optimal elements of irrigation technique in furrows. *Proceedings of VNIIMiTP. Kolomna*, 23.

*Работа поступила  
в редакцию 20.07.2018 г.*

*Принята к публикации  
24.07.2018 г.*

---

*Ссылка для цитирования:*

Гуламов С. Б. Инфильтрация воды при капельном орошении // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №8. С. 100-108. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/gulamov> (дата обращения 15.08.2018).

*Cite as (APA):*

Gulamov, S. (2018). Infiltration of water during drip irrigation. *Bulletin of Science and Practice*, 4(8), 100-108.