

УДК 631.17

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПЕЛЬНОГО
И ДОЖДЕВАЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ В ЗАСУШЛИВЫХ
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Ишанов Ж., PhD специалист,
Научно-информационный центр МКВК ЦА,
Узбекистан, Ташкент

Мирзаев Н. Н.,
кандидат технических наук специалист.
Научно-информационный центр МКВК ЦА
Узбекистан, Ташкент

Х. Ишанов
(кандидат технических наук старший научный сотрудник)
Узбекистан, Ташкент

Аннотация. В данной статье проведён сравнительный анализ эффективности и целесообразности использования капельных и дождевальных систем орошения в условиях засушливого климата. Исследование выполнено на основе рекомендаций международных организаций FAO и ICARDA, а также анализа существующих научных источников. По результатам анализа установлено, что капельное орошение в условиях ограниченных водных ресурсов обеспечивает рациональное использование имеющихся водных источников и высокую эффективность. Дождевальное орошение, в свою очередь, оценено как экономически целесообразная технология для орошения крупных площадей в регионах с относительно достаточными водными ресурсами.

Ключевые слова: капельное орошение, WUE (эффективность использования воды), дождевальное орошение, эффективность, давление, исследование, анализ.

**ҚУРҒОҚЧИЛ ИҚЛИМ ШАРОИТЛАРДА ТОМЧИЛАТИБ ВА ЁМҒИРЛАТИБ
СУҒОРИШ ТИЗИМЛАРИ САМАРАДОРЛИГИНИНГ
ҚИЁСИЙ ТАҲЛИЛИ**

Ишанов Ж. Х., PhD
МО ДСХМК Илмий-ахборот маркази мутахассиси,
Ўзбекистон, Тошкент шаҳри

Мирзаев Н. Н.,
техника фанлари номзоди,
МО ДСХМК Илмий-ахборот маркази мутахассиси,
Ўзбекистон, Тошкент шаҳри

Х. Ишанов
(техника фанлари номзоди, катта илмий ходим)
Ўзбекистон, Тошкент шаҳри

Аннотация. Мазкур мақолада қурғоқчил иқлим шароитида томчилатиб ва ёмғирлатиб суғориш тизимларидан фойдаланиш самарадорлиги ва мақбуллиги қиёсий таҳлил қилинган. Тадқиқот халқаро ташкилотлар FAO ва ICARDA тавсиялари, шунингдек, мавжуд илмий манбалар таҳлили асосида олиб борилган. Таҳлил натижаларига кўра, томчилатиб суғориш тизими сув ресурслари чекланган шароитда мавжуд сув манбаларидан оқилона фойдаланиш ҳамда юқори самарадорликни таъминлаш имкониятига эга эканлиги аниқланган. Ёмғирлатиб суғориш эса сув манбалари нисбатан етарли бўлган ҳудудларда катта майдонларни суғоришда иқтисодий жиҳатдан мақбул технология сифатида баҳоланган.

Калит сўзлар: томчилатиб суғориш, WUE (сувдан самарали фойдаланиш), ёмғирлатиб суғориш, самаралий, босим, тадқиқот, таҳлил.

Введение. В условиях засушливого климата естественные осадки не способны полностью удовлетворить потребность сельскохозяйственных культур в воде. В связи с этим внедрение водосберегающих систем орошения становится одним из ключевых факторов обеспечения устойчивости сельского хозяйства. В засушливых регионах орошаемые сельскохозяйственные земли рассматриваются как стратегически важный ресурс, обеспечивающий население продовольствием, укрепляющий продовольственную безопасность и способствующий увеличению экспортного потенциала.

Нормальный рост и развитие сельскохозяйственных культур от прорастания до полного их созревания возможны только при достаточном водообеспечении, поскольку все основные физиологические процессы растений напрямую зависят от наличия воды. Согласно данным научных источников, содержание воды в составе сельскохозяйственных культур составляет от 60 до 90 %. В частности, в странах Центральной Азии, где в больших масштабах возделываются хлопчатник и пшеница, доля воды в растениях хлопчатника в среднем составляет около 60 %, а в пшенице 45,5 % [10].

В последние десятилетия в связи с усилением дефицита водных ресурсов, сокращением речного стока, изменением климата, засолением земель, а также значительными потерями воды в ирригационных сетях наблюдается активизация процесса поэтапного перехода от традиционных методов орошения к водосберегающим технологиям. В этой связи возрастает необходимость внедрения таких ключевых технологий, как капельное и дождевальное орошение. С учётом указанных факторов в данной статье выполнен сравнительный анализ капельных и дождевальных систем орошения в условиях засушливого климата с технической, экономической и экологической точек зрения [7].

В международных научных источниках капельное орошение признано одной из наиболее эффективных водосберегающих технологий. Согласно данным FAO, по сравнению с традиционным бороздковым поливом применение капельного орошения позволяет сократить расход воды в среднем на 40–70 % и одновременно повысить урожайность на 20–30 %. В исследованиях, проведённых ICARDA, подчёркивается, что использование капельного орошения при возделывании хлопчатника, овощных культур, садов и виноградников в условиях водного дефицита способствует получению стабильных урожаев [12].

Отмечается, что капельное орошение эффективно применяется для полива всех видов сельскохозяйственных культур, возделываемых рядовым способом, включая технические культуры, овощи, плодовые деревья, виноградники и другие древесные насаждения [5]. При внедрении данной системы существенное значение имеют рельеф земельного участка, механический состав и мелиоративное состояние почвы, а также степень минерализации воды, используемой для орошения, что подтверждается результатами научных исследований [10].

В научной литературе, посвящённой дождевальному орошению, подчёркиваются преимущества данного метода при орошении культур с развитой листовой поверхностью. Данная система характеризуется относительно равномерным распределением воды по площади, высоким уровнем механизации оросительного процесса и снижением затрат труда. Вместе с тем в условиях жаркого и ветреного климата испарение водяных капель в воздухе приводит к снижению эффективности орошения [8].

Наряду с этим при дождевальном орошении часть оросительной воды инфильтрируется в почву, что может способствовать частичному пополнению запасов подземных вод. В отдельных случаях такие гидрологические процессы рассматриваются как фактор стабилизации водного баланса локальных экосистем. С этой точки зрения в

научных источниках отмечается, что даже в условиях аридного климата дождевальное орошение может оказывать определённое положительное влияние на естественный круговорот воды [9].

В условиях засушливого (аридного) климата ограниченность водных ресурсов делает повышение эффективности оросительных технологий одним из ключевых факторов устойчивого развития сельского хозяйства. Капельное орошение, функционирующее при низком давлении и обеспечивающее подачу воды непосредственно в корнеобитаемую зону растений с минимальными потерями на испарение, рассматривается как более эффективная технология по сравнению с дождевальным орошением.

Дополнительным преимуществом капельного орошения является поддержание стабильного водного режима почвы, снижение риска вторичного засоления, а также возможность эффективного применения фертигации. В научных исследованиях указывается, что использование данной технологии позволяет обеспечить экономию оросительной воды на уровне 80–90 % [12].

Основные преимущества капельного орошения:

Метод капельного орошения обладает рядом технических и агрономических преимуществ, к числу которых относятся следующие [11]:

- локализованная подача воды позволяет существенно снизить потери влаги на испарение;
- поддержание стабильной влажности в корнеобитаемой зоне создаёт благоприятные условия для физиологического развития растений;
- наличие возможности фертигации обеспечивает точное дозирование минеральных удобрений одновременно с оросительной водой;
- в результате сохранения поверхности почвы преимущественно сухой ограничивается рост сорной растительности, облегчается передвижение сельскохозяйственной техники и сокращается количество въездов на поле, что в совокупности повышает экономическую эффективность производства;
- снижается потребность в ручном труде и возрастает уровень автоматизации оросительных процессов.

Недостатки системы капельного орошения

Наряду с преимуществами система капельного орошения имеет и ряд ограничений [4]:

- относительно высокие первоначальные капитальные затраты на внедрение системы;

- при низком качестве оросительной воды и удобрений возрастает риск засорения капельниц вследствие образования отложений, что требует применения растворимых удобрений, эффективных систем фильтрации и регулярного технического обслуживания;
- при недостаточном учёте рельефа местности, водопроницаемости почв и режима орошения возделываемых культур в проектировании системы может привести к неравномерному увлажнению почвы.

Особенности системы дождевального орошения

При дождевальном орошении вода распыляется в воздухе через сопла и распылители и распределяется по поверхности почвы в виде мелких капель. Данная технология обладает рядом преимуществ, включая [11]:

- возможность орошения значительных площадей в короткие сроки;
- пригодность для культур, усваивающих влагу преимущественно через листовой аппарат, кормовых культур, а также многолетних декоративных растений (газоны, кустарниковые насаждения и др.);
- относительно равномерное распределение воды по орошаемой площади;
- в отдельных случаях возможность одновременного внесения растворённых удобрений или средств защиты растений в процессе полива.

Недостатки системы дождевального орошения

Вместе с тем системы дождевального орошения характеризуются рядом ограничивающих факторов [2]:

- при скорости ветра свыше 4–6 м/с направление движения водяных капель изменяется, что приводит к снижению равномерности полива;
- в условиях жаркой и сухой погоды возрастают потери воды вследствие испарения в воздухе и прямого испарения с поверхности почвы;
- использование насосов, работающих при высоком давлении, обуславливает более высокий уровень энергопотребления по сравнению с капельным орошением;
- на некоторых типах почв воздействие капель воды может приводить к образованию поверхностной корки, ограничивающей газообмен.

В связи с этим в условиях ограниченности водных ресурсов аридных регионов сравнительная оценка капельных и дождевальных технологий орошения с технической, агрономической и гидрологической точек зрения позволяет обоснованно выбирать наиболее рациональные и эффективные решения в сфере ирригации [12].

Сравнение основных технических показателей систем капельного и дождевального орошения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование технических показателей	Капельное орошение	Дождевальное орошение
Потери на испарение	3–8 %	20–40 %
Равномерность распределения воды	85–95 %	70–85 %
Требуемое гидравлическое давление	1,0–2,0 бар	2,5–4 бар
Возможность водосбережения	30–60 %	10–25 %
Влияние ветра	Практически отсутствует	Очень высокое
Влияние на засоление почвы	Контролируется	Возможен подъём солей
Техническое обслуживание	Основной элемент фильтры	Основной элемент сопла
Рекомендуемые культуры	Хлопчатник, овощные культуры, сады, бахчевые, интенсивное садоводство	Зерновые культуры, люцерна, газоны, крупные площади

Данные таблицы 1 показывают, что система капельного орошения характеризуется работой при низком гидравлическом давлении, высокой равномерностью распределения воды и минимальными потерями на испарение. В то же время дождевальное орошение, несмотря на техническую удобство при орошении крупных площадей, ограничено высокой чувствительностью к ветровому воздействию и повышенными энергозатратами.

Результаты научных исследований, в том числе экспериментальных работ, проведённых в условиях аридного климата при возделывании хлопчатника, овощных и садоводческих культур, свидетельствуют о том, что при капельном орошении показатель эффективности использования воды WUE (Water Use Efficiency) является более высоким по сравнению с дождевальным орошением [3].

Показатель WUE отражает количество продукции, получаемой на единицу затраченного объёма воды (1 м³), и широко применяется для оценки эффективности использования водных ресурсов в орошаемом земледелии [6].

Данный сравнительный анализ был выполнен на основе следующих основных показателей:

- эффективность использования воды (WUE, кг/м³) отношение урожайности с единицы площади (кг/га) к объёму воды, затраченной на орошение данного участка (м³/га) [3];
- урожайность (т/га или кг/га) в зависимости от применяемого способа орошения;
- потери воды, включающие испарение, глубокую инфильтрацию и поверхностный сток.

В качестве методического подхода использовались анализ существующих научных источников, метод сравнительного анализа, а также условное моделирование для оценки возможностей применения различных технологий орошения в условиях аридного климата.

Показатель эффективности использования воды (WUE) рассчитывается по формуле (1) [7], которая отражает степень преобразования растением затраченной воды в продукцию.

$$WUE = \frac{\text{Урожайность культуры}}{\text{Расход воды}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (1)$$

где:

- при высоком значении WUE культура формирует больший урожай при меньшем расходе воды, что свидетельствует о высокой эффективности водопользования.
- при низком значении WUE расход воды возрастает, однако урожайность остаётся низкой, что указывает на низкую эффективность водопользования.

Если урожайность культуры составляет Y (кг/га) а объём воды, затраченной на орошение, равен W (м³/га), то формула (1) может быть представлена в следующем виде (формула 2):

$$WUE = \frac{Y}{W}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2)$$

При применении выражения (2) к сельскохозяйственным культурам, выращиваемым с использованием капельного орошения, урожайность принимается равной 7,0 т/га. В целях унификации единиц измерения при расчёте показателя WUE урожайность переводится из тонн в килограммы. В данном случае 7,0 т соответствует 7000 кг/га.

При условии, что объём воды, затраченной на выращивание сельскохозяйственной культуры, составляет 3500 м³/га, показатель WUE будет равен:

$$WUE = \frac{7000}{3500} = 2,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Условное моделирование показывает, что в условиях аридного климата применение капельного орошения при возделывании сельскохозяйственных культур позволяет определить эффективность использования имеющихся водных ресурсов и создать условия для достижения более высокой урожайности.

В рамках данного моделирования для зерновых культур, выращиваемых с применением дождевального орошения, принимается следующее условие. При урожайности 6 т/га в целях унификации единиц измерения при расчёте показателя WUE урожайность переводится из тонн в килограммы и составляет 6000 кг/га. При объёме воды, затраченной на получение данного урожая, равном 4000 м³/га, показатель WUE будет равен:

$$WUE = \frac{6000}{4000} = 1,5, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Согласно результатам условного моделирования, в условиях аридного климата при дождевальном орошении эффективность использования воды (WUE) составила 1,5 кг/м³, то есть в среднем каждый 1 м³ затраченной воды преобразуется растением в 1,5 кг сельскохозяйственной продукции, что подтверждено расчётами.

Результаты приведённого условного моделирования показывают, что при капельном орошении за счёт подачи воды непосредственно в корневую зону растений сохраняется возможность поддержания урожайности даже при сокращении поливных норм. В условиях дождевального орошения, напротив, вследствие распределения воды через воздушную среду усиливается влияние ветра и возрастает неравномерность увлажнения. Особенно в районах с ограниченными водными ресурсами это может приводить к недостаточному увлажнению отдельных участков посевных площадей, что, в свою очередь, оказывает отрицательное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

С экономической точки зрения первоначальные инвестиционные затраты (CAPEX Capital Expenditures) на системы капельного орошения, как правило, выше по сравнению с системами дождевального орошения. Однако в условиях высокой стоимости воды или наличия водных ресурсов экономия водных ресурсов, достигаемая при капельном орошении, позволяет компенсировать данные инвестиционные затраты в относительно короткие сроки. Особенно высокая рентабельность капельного орошения отмечается при возделывании экспортно-ориентированных и высокоценных культур, таких как

плодоовощные культуры, сады и виноградники [1]. В то же время при выращивании зерновых культур и на обширных посевных площадях системы дождевального орошения считаются экономически более целесообразными вследствие более низких капитальных затрат и относительной простоты эксплуатации [1].

В сельском хозяйстве показатель эффективности использования воды WUE является важным научным критерием для определения наиболее эффективного способа орошения в условиях водного дефицита, сравнения водоотдачи различных сельскохозяйственных культур, а также оценки экономической эффективности применяемых технологий орошения.

Результаты проведенного анализа показывают, что в условиях аридного климата система капельного орошения в целом является более эффективной по сравнению с дождевальным орошением с точки зрения водосбережения, устойчивого повышения урожайности и обеспечения агроэкологической устойчивости. На обширных площадях, при возделывании зерновых и кормовых культур, а также в регионах с высокой степенью механизации и умеренно ограниченными водными ресурсами применение дождевального орошения остаётся приоритетным.

Список использованной литературы

1. Ахмедов А.К. Сув тежаш технологиялари. – Тошкент: Фан, 2023. – 256 б.
2. FAO. Irrigation and Drainage Paper 56: Crop Evapotranspiration. – Rome: FAO, 2020. – 300 p.
3. Howell T.A. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture // Agricultural Water Management. – 2001. – Vol. 48, No. 1. – P. 233–245. – DOI: 10.1016/S0378-3774(00)00121-2.
4. ICARDA. Improving water productivity in dry areas. – Aleppo: ICARDA, 2019. – 180 p.
5. Ишанов Х., Кескинкилич А., Хайитбоев М. Сув ресурслари ва улардан самарали фойдаланиш технологиялари. – Тошкент: Sharq Nashr, 2025. – 312 б.
6. Kulmedov B., Shcherbakov V.I. Application of drip irrigation for cotton farming in Central Asia: The case of Turkmenistan. – Nile University of Nigeria; Voronezh State Technical University, 2021. – 145 p.
7. Pereira L.S., Cordery I., Iacovides I. Improved Indicators of Water Use Efficiency for Agricultural Water Management. – Paris: UNESCO-IHE, 2012. – 120 p.
8. Pereira L.S. et al. Drip irrigation in water-scarce regions. – Lisbon: University of Lisbon (ULisboa), 2014. – 210 p.

9. Santini A. From flood to drip irrigation: A review of water use efficiency // Water (MDPI). – 2025. – Vol. 17. – Article ID:.
10. Wang Y., Yang P., Wang H., Zhou L., Li Z., Li X. Study on the evolution of ecological environment and irrigation behavior since mulched drip irrigation in Yanqi Basin, Xinjiang // Research Square. – 2024. <https://www.researchsquare.com/article/rs-5035326/v1>.
11. Water productivity and irrigation efficiency assessment // Water. – 2024. – Vol. 16, No. 11. – Article 1565. – DOI: 10.3390/w16111565.
12. FAO. Water accounting and auditing in agriculture. – Rome: FAO, 2017. – 180 p.