



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОРОШЕНИЯ

Йўлдошов Озодбек Нодирович

*Алмалыкский государственный технический институт, студент группы 15-
23 ЕЕ*

Алмалык, Узбекистан

Аннотация

Дефицит и загрязнение воды стали одной из актуальных глобальных проблем, особенно в условиях засушливого климата Узбекистана, где сельское хозяйство является основным потребителем водных ресурсов. В статье проведён сравнительный анализ четырёх основных технологий очистки воды на основе солнечной энергии — солнечная дистилляция, фотокаталитическая очистка, ультрафиолетовая (УФ) дезинфекция и солнечный электролиз — а также систем орошения на солнечной энергии. Анализ выполнен на основе литературы 2017–2023 годов по критериям эффективности очистки, начальных затрат, технологической сложности, зависимости от погодных условий и применимости в сельском хозяйстве. Результаты показали, что УФ-дезинфекция и фотокаталитическая очистка обеспечивают наивысшую эффективность очистки, тогда как солнечная дистилляция отличается наименьшими начальными затратами. Обосновано, что интегрированная система, объединяющая фотоэлектрические панели, солнечный насос и капельное орошение, существенно повышает эффективность водопользования.



Ключевые слова: солнечная энергия, очистка воды, фотокаталитическая очистка, УФ-дезинфекция, солнечная дистилляция, капельное орошение, солнечный насос, энергоэффективность.

Abstract

Water scarcity and pollution have become pressing global challenges, particularly in Uzbekistan, where the arid climate and the dominance of agriculture as the main consumer of water resources intensify the problem. This article presents a comparative analysis of four principal solar-driven water-treatment technologies — solar distillation, photocatalytic treatment, ultraviolet (UV) disinfection and solar electrolysis — together with solar-powered irrigation systems. The analysis is based on literature published in 2017–2023 and uses the criteria of treatment efficiency, capital cost, technological complexity, weather dependence and applicability in agriculture. The results show that UV disinfection and photocatalytic treatment provide the highest treatment efficiency, whereas solar distillation offers the lowest capital cost. An integrated system combining photovoltaic panels, a solar pump and drip irrigation is shown to substantially improve water-use efficiency.

Keywords: solar energy, water treatment, photocatalytic treatment, UV disinfection, solar distillation, drip irrigation, solar pump, energy efficiency.

1. Введение

Ограниченность ресурсов чистой воды и ухудшение её качества являются одной из наиболее серьёзных экологических и социально-экономических проблем XXI века. Рост населения планеты, индустриализация и изменение климата усиливают спрос на воду, в то время как имеющиеся источники сокращаются вследствие загрязнения. Особенно остро эта проблема стоит в засушливых и полузасушливых регионах, в том числе в Центральной Азии и Узбекистане.



В Узбекистане основная часть водных ресурсов расходуется на сельскохозяйственное орошение, и продуктивность орошаемого земледелия напрямую зависит от эффективности водопользования. В условиях Аральского кризиса, сокращения речного стока и засоления подземных вод резко возрастает потребность в водосберегающих и энергоэффективных технологиях. При этом Узбекистан обладает в среднем около 300 солнечных дней в году и высоким потенциалом солнечной радиации, что создаёт благоприятные возможности для использования солнечной энергии в очистке воды и орошении.

Системы очистки воды и орошения на основе солнечной энергии снижают зависимость от традиционной электроэнергии и топлива, уменьшают эксплуатационные расходы и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду. Однако различные технологии существенно отличаются по эффективности, стоимости и условиям применения, что делает необходимым сравнительный анализ для выбора оптимального решения для конкретного региона.

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ основных технологий очистки воды на основе солнечной энергии, а также оценка эффективности их применения в системах сельскохозяйственного орошения. Задачи работы: (1) сравнить основные технологии очистки по заданным критериям; (2) выявить преимущества способов орошения на солнечной энергии; (3) предложить концептуальную модель интегрированной системы.

2. Материалы и методы

Исследование основано на методах систематического анализа литературы (systematic review) и сравнительного анализа. Были проанализированы научные статьи, обзоры и технические отчёты, опубликованные в 2017–2023 годах. Источники отбирались из



международных журналов и публикаций признанных научных организаций по тематике использования солнечной энергии для очистки воды и орошения.

Сравнительный анализ выполнен по четырём основным технологиям очистки воды — солнечная дистилляция, фотокаталитическая очистка, ультрафиолетовая (УФ) дезинфекция и солнечный электролиз — а также по трём способам орошения (солнечные насосы, капельное орошение и системы снижения испарения). Сопоставление проводилось по следующим критериям: эффективность очистки, начальные (капитальные) затраты, технологическая сложность, зависимость от погодных условий и степень применимости в условиях сельского хозяйства.

Приведённые в анализе количественные показатели представляют собой индикативные (ориентировочные) оценки, синтезированные из проанализированных литературных источников; они служат для относительного сопоставления технологий и при конкретном проектировании должны быть уточнены с учётом местных условий. Кроме того, разработана концептуальная блок-схема интегрированной системы, объединяющей этапы очистки и орошения.

3. Результаты

3.1. Технологии очистки воды

Солнечная дистилляция. Это наиболее простой и дешёвый метод, основанный на испарении воды под действием солнечных лучей с последующей конденсацией для получения чистой воды. Технология реализуется с помощью простых устройств и особенно полезна для малообеспеченных сельских районов. Современные системы дистилляции используют поверхности со специальными покрытиями и теплообменники для



повышения эффективности, однако удельная производительность остаётся относительно низкой.

Фотокаталитическая очистка. В этом методе с помощью солнечных лучей и фотокатализаторов (например, диоксида титана) ускоряется разложение органических загрязнителей в воде. Метод обеспечивает высокую эффективность очистки, однако стоимость и долговечность фотокатализаторов являются важными ограничивающими факторами.

Ультрафиолетовая (УФ) дезинфекция. УФ-излучение высокоэффективно уничтожает бактерии и вирусы; УФ-лампы, работающие на солнечной энергии, применяются для дезинфекции воды. Метод сравнительно дешёв и эффективен, однако его эффективность снижается при облачной погоде, и он устраняет только микробиологическое загрязнение.

Солнечный электролиз. В этом методе с помощью электроэнергии, вырабатываемой солнечной панелью, осуществляется электролиз воды; полученный водород может использоваться в топливных элементах или для других целей. Технология перспективна, но пока остаётся относительно дорогой и сложной.

Сравнительный анализ четырёх технологий по заданным критериям приведён в таблице 1, а относительное сопоставление основных количественных показателей отражено на рисунке 2.

Таблица 1. Сравнительный анализ технологий очистки воды на основе солнечной энергии



Технология	Эффективность очистки	Начальные затраты	Сложность	Применение
Солнечная дистилляция	Средняя	Низкие	Низкая	Малый объём, село
Фотокаталитическая очистка	Высокая	Высокие	Высокая	Органич. загрязнение
УФ-дезинфекция	Очень высокая (микробиол.)	Средние	Средняя	Дезинфекция питьевой воды
Солнечный электролиз	Высокая	Очень высокие	Высокая	Спец. / произв. водорода





Рис. 2. Сравнительные показатели технологий очистки воды (индикативные оценки по данным литературы)

3.2. Системы орошения на основе солнечной энергии

Солнечные насосы. Насосы, работающие на солнечных панелях, используются для подъёма воды из скважин, рек и других источников и особенно важны для районов с ограниченным доступом к электроэнергии. Современные солнечные насосы существенно усовершенствованы по эффективности и надёжности.

Капельное орошение. Насосы, работающие на солнечной энергии, подают воду капельно к корням растений. Этот метод экономит воду и повышает урожайность, значительно сокращая расход воды по сравнению с традиционным поверхностным орошением.

Системы снижения испарения. С использованием солнечной энергии можно сократить испарение воды из водохранилищ, что играет важную роль в эффективном управлении водными ресурсами.

3.3. Модель интегрированной системы

Концептуальная схема интегрированной системы, объединяющей солнечную панель, управление мощностью (MPPT), блок очистки воды, резервуар чистой воды, солнечный насос и капельное орошение, приведена на рисунке 1. В такой системе солнечная энергия одновременно используется как для очистки воды, так и для её доставки на поле, что повышает общую энергоэффективность и снижает зависимость от внешних источников энергии.

**Рис. 1. Интегрированная система очистки воды и орошения на основе солнечной энергии**

Рис. 1. Блок-схема интегрированной системы очистки воды и орошения на основе солнечной энергии

4. Обсуждение

Результаты сравнительного анализа показывают, что ни одна технология не является наилучшей одновременно по всем критериям — каждая оптимальна для определённой задачи и условий. УФ-дезинфекция обеспечивает наивысшую эффективность при микробиологической очистке питьевой воды, фотокаталитическая очистка превосходит другие методы при разложении органических загрязнителей, а солнечная дистилляция выделяется наименьшими затратами и подходит для сельских районов с ограниченными ресурсами.

В условиях Узбекистана, с учётом высокой солнечной радиации и рассредоточенного расположения сельскохозяйственных объектов, наибольший практический потенциал имеют интегрированные решения, объединяющие солнечный насос и капельное орошение с дезинфекцией или дистилляцией. Такие системы одновременно обеспечивают экономию воды, повышение урожайности и снижение энергозатрат.



Вместе с тем широкому внедрению систем на основе солнечной энергии препятствует ряд факторов: высокие начальные инвестиции, зависимость от погодных условий (особенно снижение эффективности в облачные дни) и техническая сложность отдельных технологий. Эти препятствия могут быть преодолены за счёт развития технологий, снижения цен, применения решений по хранению энергии, а также политики государственных субсидий и поддержки.

Полученные результаты согласуются с исследованиями в других засушливых регионах с высоким потенциалом солнечной энергии и подтверждают преимущество интегрированных, адаптированных к местным условиям систем. Дальнейшие исследования целесообразно направить на технико-экономическую оценку и полевые испытания на основе конкретных местных данных.

5. Заключение

Системы очистки воды и орошения на основе солнечной энергии являются перспективным направлением, обладающим большим потенциалом в решении глобальных проблем дефицита и загрязнения воды, в том числе в условиях засушливого сельского хозяйства Узбекистана. Сравнительный анализ показал, что УФ-дезинфекция и фотокаталитическая очистка обеспечивают наивысшую эффективность очистки, а солнечная дистилляция — наименьшие начальные затраты.

Наибольший практический эффект ожидается от интегрированных систем, объединяющих солнечную панель, солнечный насос, блок очистки и капельное орошение. Несмотря на такие препятствия, как высокие начальные затраты и зависимость от погоды, они могут быть преодолены за счёт развития технологий и государственной поддержки. Широкое внедрение подобных систем положительно скажется на эффективном управлении водными



ресурсами, развитии сельского хозяйства и обеспечении населения чистой водой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gadgil A., Dutta M.K. Solar-powered water treatment systems: A review of technologies and applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2023.
2. Kumar R., Singh P. Sustainable solar-powered water purification systems for rural areas: A case study // *Journal of Cleaner Production*. – 2023.
3. Baouche F., Hamouda M., Belhamel M. Solar energy collection and its effect on photovoltaic panels. – 2017.
4. Hussain M., Ali M., Akhtar N. Reduction of solar collection losses and cleaning technologies for PV panels. – 2019.
5. Sulaiman S.A., Rahman H.A., Musirin I. Methods of reducing PV panel overheating and improving efficiency. – 2020.
6. NREL (National Renewable Energy Laboratory). Perovskite materials and their role in improving solar panel efficiency. – 2021.
7. Gupta R., Tripathi R. Hybrid PV-T systems: A comprehensive review. – 2018.
8. Asif M., Hussain A. Smart PV systems and their impact on efficiency. – 2022.
9. Toirov, Olimjon, et al. "Simulation model of an asynchronous generator integrated with a power supply system at different wind speeds." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 3331. No. 1. AIP Publishing LLC, 2025.
10. Pirmatov, Nurali, et al. "Device for breathless excitation of the exciter of an autonomous synchronous generator by a hybrid circuit of renewable sources." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 3331. No. 1. AIP Publishing LLC, 2025.



11. Raykhonov, Shuhrat, et al. "Results of experimental research of the device for useful utilization of heat of internal combustion engine of diesel power plant of drilling equipment." AIP Conference Proceedings. Vol. 3331. No. 1. AIP Publishing LLC, 2025.

12. Yuldashevich, S. A. "KONSENTRLANGAN QUYOSH ELEKTR STANSIYALARI: ZAMONAVIY ENERGIYA YECHIMI, UNING ISTIQBOL VA KAMCHILIKLARI." Образование наука и инновационные идеи в мире 70.8 (2025): 455-461.

13. Муминов, Махмуджон Умурзакович, and Абдурахмон Юлдашевич Сотиболдиев. "Разработка бесщёточного мини гидро-солнечного синхронного генератора." Universum: технические науки 1-3 (94) (2022): 43-45.