

УДК: 621.31

DOI: 10.65599/ENG5624

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА УСТАНОВКИ МГЭС НА ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

Ш.Х. Пирова, Ф.М. Рахимзода (Рахимов)

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Работа посвящена обоснованию выбора оптимального места установки малых гидроэлектростанций на ирригационном канале. Приведены общие технические показатели МГЭС на ирригационных сооружениях, количество которых в республике составляет более ста объектов. Показан расчет мощности потока воды в ирригационном канале в зависимости от скорости течения. Показаны распределения скоростей течения в зависимости от формы ирригационного сооружения. Обоснован выбор места установки гидротурбины МГЭС в ирригационном канале. Показано, что при оптимальной установке возможно получение максимальной мощности турбины за счет снижения силы сопротивления против течения вращающихся лопастей. Показан разработанный тип конструкции малой ГЭС для установки в ирригационных каналах. Подробно описан принцип взаимодействия лопастей гидротурбины с потоком воды. Работа рассмотрена применительно к условиям Республики Таджикистан.

**Ключевые слова:** ирригационные сооружения, канал, малые гидроэлектростанции, скорость течения, распределение скоростей течения в зависимости от формы канала.

## АСОСНОККУНИИ ИНТИХОБИ МАКОНИ ОПТИМАЛӢ БАРОИ НАСБӢ КАРДАНИ НЕРӢГОҲӢ ХУРД ДАР КАНАЛӢ ОБӢРӢ

Ш.Х. Пирова, Ф.М. Раҳимзода (Раҳимов)

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар ин мақола асосноккунии интихоби макони оптималии насби нерӯгоҳи хурди барқӣ (НБО) дар канали обёрӣ баррасӣ мешавад. Параметрҳои умумии техникии НБО-ҳое, ки дар беш аз сад иншооти обёрӣ ҷумҳурӣ насб шудаанд, пешниҳод карда мешавад. Ҳисобкунии суръати ҷараёни об дар канали обёрӣ вобаста ба суръати ҷараён пешниҳод карда мешавад. Тақсироти суръати ҷараён вобаста ба шакли сохтори обёрӣ нишон дода шудааст. Интихоби макони насби турбинаи НБО дар дохили канали обёрӣ асоснок карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки насби оптималӣ имкон медиҳад, ки қувваи максималии турбинаро бо кам кардани қувваи кашолакунӣ, ки аз ҷониби парраҳои гардишкунанда бар зидди ҷараён ба амал меояд, ба даст оред. Тарҳи НБО-и хурде, ки барои насб дар каналҳои обёрӣ таҳия шудааст, пешниҳод карда мешавад. Принсипи таъсири мутақобилаи парраҳои турбина ва ҷараёни об муфасссал тавсиф шудааст. Мақола дар робита бо шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ шудааст.

**Калидвожаҳо:** иншооти обёрӣ, канал, нерӯгоҳҳои хурди обӣ, суръати ҷараён, тақсироти суръати ҷараён вобаста ба шакли канал.

## RATIONALE FOR SELECTING AN OPTIMAL SITE FOR INSTALLING SMALL HYDROPOWER POWER PLANTS ON IRRIGATION CANALS

Sh.Kh. Pirova, F.M. Rahimzoda (Rahimov)

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This paper explores the rationale for selecting the optimal location for installing a small hydroelectric power plant (SHPP) on an irrigation canal. General technical parameters for SHPPs installed at over one hundred irrigation facilities in the republic are presented. A calculation of the water flow rate in an irrigation canal is presented, depending on the flow velocity. Flow velocity distributions are shown depending on the shape of the irrigation structure. The choice of SHPP turbine installation location within the irrigation canal is substantiated. It is demonstrated that optimal installation enables maximum turbine power to be achieved by reducing the drag force exerted by rotating blades against the flow. A design for a small HPP developed for installation in irrigation canals is presented. The principle of interaction between the turbine blades and the water flow is described in detail. The paper is considered in relation to the conditions of the Republic of Tajikistan.

**Keywords:** irrigation structures, canal, small hydroelectric power plants, flow velocity, flow velocity distributions depending on the shape of the canal.

## Введение

Согласно Национальной Стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года в области энергетики планируется диверсификация генерирующих мощностей, а также доведение до 10% от общей установленной мощности доли возобновляемых и альтернативных источников энергии в энергобалансе страны [1-2, 7]. Наряду с развитием и строительством малых гидроэлектростанций (МГЭС) также рассматриваются вопросы вовлечения в энергобаланс республики использования потенциала ирригационных каналов [2-4]. По оценкам экспертов ранее определено более 100

ирригационных сооружений, на которых возможно сооружение МГЭС. Общие технические показатели малых ГЭС на ирригационных сооружениях приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Общие технические показатели МГЭС на ирригационных сооружениях (каналах)

Table 1 – General technical indicators of SHPPs on irrigation facilities (canals)

| Напор, м. | Количество | Общая мощность, МВт | Выработка электроэнергии, млн. кВт.ч |
|-----------|------------|---------------------|--------------------------------------|
| <10       | 95         | 32,54               | 119,1                                |
| 10 – 20   | 7          | 4,48                | 16,4                                 |
| 20 – 50   | 6          | 9,21                | 33,7                                 |
| > 50      | 6          | 50,90               | 186,3                                |
| Всего     | 114        | 97,13               | 355,5                                |

Известно, что ирригационное сооружение, т.е. канал, отличается от русел малых рек. Большинство ирригационных каналов имеют известную геометрическую форму сечения (см. рис. 1)

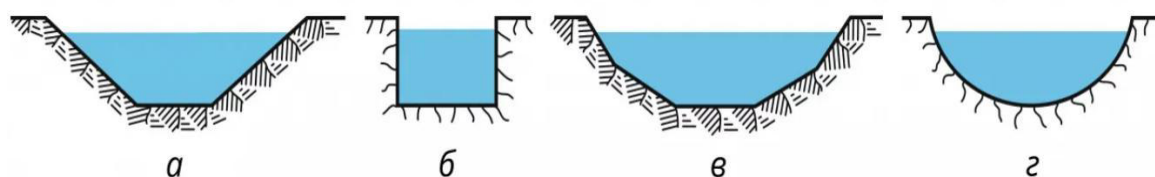


Рисунок 1 – Типы поперечных сечений ирригационных каналов:

а) трапецевидное; б) прямоугольное; в) многоугольное; г) параболическое

Figure 1 – Types of cross-sections of irrigation canals: a) trapezoidal; б) rectangular; в) polygonal; г) parabolic

Опыт строительства и использование МГЭС на ирригационных сооружениях показывает, что при строительстве применяются типовые проектные решения как в руслах рек. Такое решение является капиталоемким и малоэффективным при эксплуатации сооружения в ирригационных целях. В связи с этим возникает задача оптимального способа размещения гидротурбины в ирригационном канале, который является актуальным. Данная работа посвящена вопросу выбора оптимального места размещения гидротурбины в ирригационном канале.

## Материалы и методы

При определении мощности потока в канале согласно формуле (1) основным параметром, определяющим его значение, являются скорость потока  $V$ , м/с., и “ометаемая” площадь колеса  $A$ , т.е. площадь взаимодействия гидротурбины с потоком воды.

Мощность колеса в свободном потоке можно рассчитать по известной формуле:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta, \quad (1)$$

где  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды;  $A$  – площадь погружной части колеса,  $\text{м}^2$ ;  $v$  – скорость течения воды, м/с.;  $\eta$  – КПД водяных колес, обычно для свободно поточных систем составляет от 0,2 до 0,4.

Согласно (1) основными факторами являются скорость течения ( $v$ ) и площадь погруженной части колеса ( $A$ ).

Для сравнения показателей турбин на основе формулы (1) и коэффициента использования энергии потока (воды)  $C_p$ , которое для свободно поточных турбин равно 0,20-0,40, получим расчетную формулу (2).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p, \quad (2)$$

где ометаемая площадь  $S$  погружной части гидротурбины определяется как

$$A = D \cdot H,$$

где  $D$  – диаметр гидротурбины, м.,  $H$  – высота турбины, м.

Течение потока в канале отличается от русла реки и трубы, и ее скорость зависит от уклона и поверхности дна и откосов канала. Кроме того, в зависимости от глубины воды его изменение по всей длине также влияет на скорость потока, следовательно, на энергетические показатели потока. В любом канале даже прямом существует трехмерное распределение скоростей. Хорошо известный принцип в механике жидкости гласит, что частица, находящаяся в контакте с твердой неподвижной границей, имеет нулевую скорость. На рисунке 2 приведены типичные распределения скоростей течения жидкости (воды) в открытых каналах различного профиля.

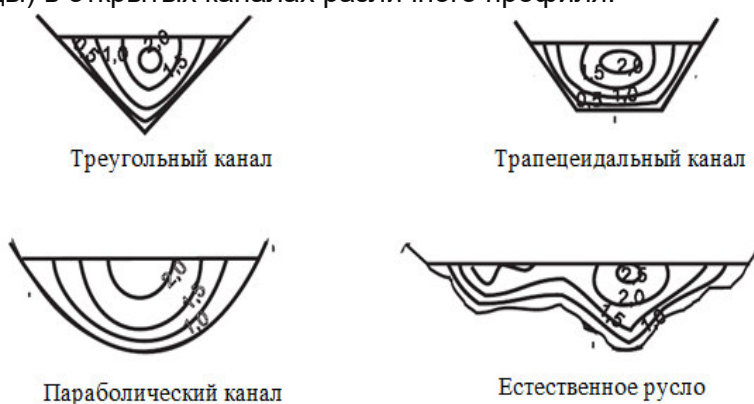


Рисунок 2 – Типичные распределения скоростей течения жидкости (воды) в открытом канале  
Figure 2 – Typical flow velocity distributions of fluid (water) in an open channel

При размещении гидротурбины в канале необходимо учитывать целевое назначение канала. Поэтому необходимо размещать гидротурбину таким образом, чтобы влияние на режим функционирования ирригационного канала было минимальным.

## Результаты и обсуждения

На базе кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими разработана микрогидроэлектростанция проточного типа для выработки электрической энергии в ирригационных каналах [5], отличающаяся тем, что турбина роторного или карусельного типа полностью погружается в воду, т.е. лопасти находятся по отношению к направлению потока перпендикулярно (рис. 3).

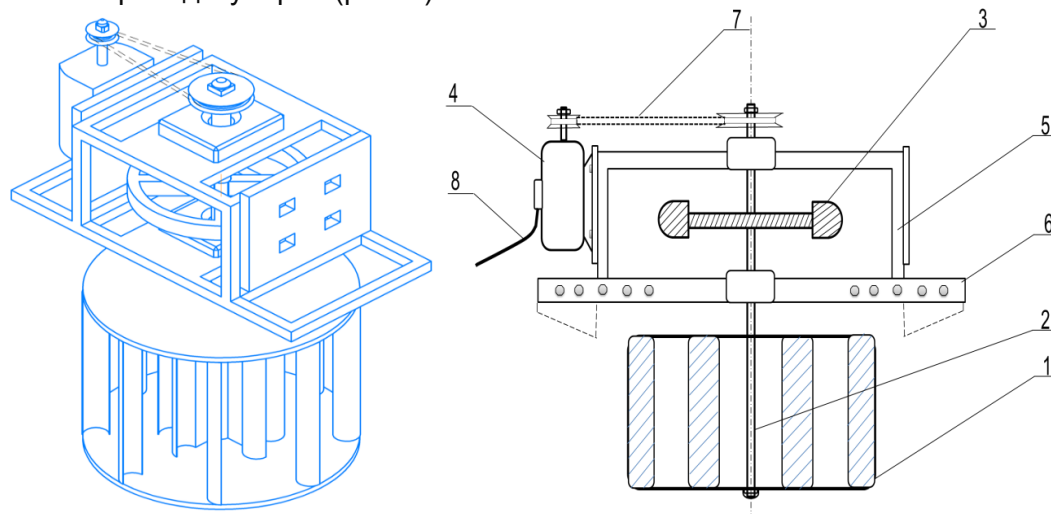


Рисунок 3 – Общий вид и разрез МГЭС проточного типа установки в ирригационных каналах: 1 – гидротурбина; 2 – вал; 3 – маховик; 4 – электрогенератор; 5 – рама; 6 – станина; 7 – ременная передача; 8 – кабельная линия  
Figure 3 – General view and cross-section of a run-of-river SHPP installation in irrigation canals: 1 – hydro turbine; 2 – shaft; 3 – flywheel; 4 – electric generator; 5 – frame; 6 – bedplate (base); 7 – belt drive; 8 – cable line

На рисунке 4 приведен вариант размещения МГЭС в канале трапецеидальной формы с учетом распределения скоростей течения согласно рис. 2.

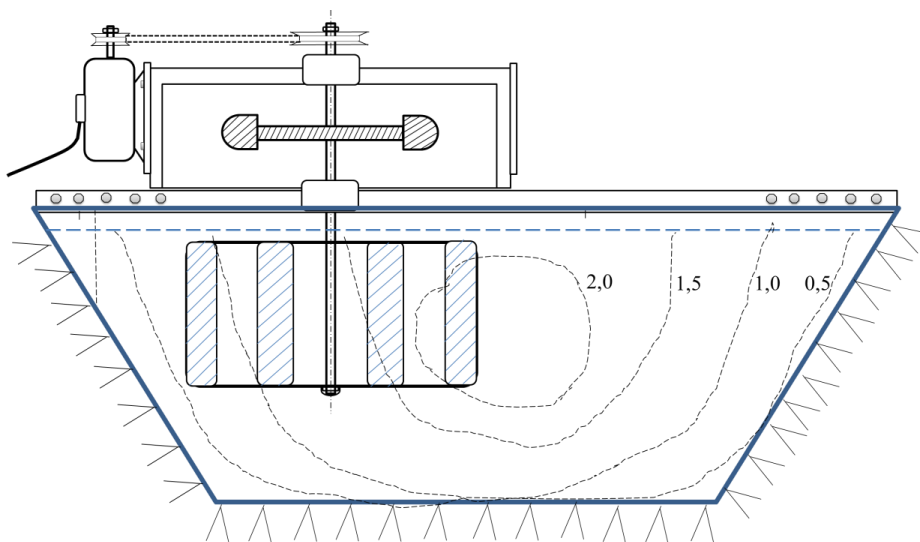


Рисунок 4 – Схема оптимального размещения гидротурбины в ирригационном канале  
Figure 4 – Schematic layout for optimal hydro turbine placement in an irrigation canal

Принцип работы МГЭС объясняется следующим образом.

Габариты гидротурбины выбираются таким образом, чтобы при установке в канале была возможность его смещения в сторону одного из откосов (левый или правый). Смещение гидротурбины выполняется с целью того, чтобы половина лопастей колеса расположились в зоне высокой скорости течения, а вторая половина - в зоне низких скоростей. При взаимодействии потока с лопастями первая половина принимает энергию потока и вращается по направлению потока, а вторая половина возвращается против направления потока. Так как в половинах колеса действуют разные скорости потока воды, тогда за счёт разности скоростей, которые имеют соответственно разный потенциал энергии, снимается максимальная энергия.

### Закключение

Оптимальным местом для установки гидротурбины в ирригационном канале является участок канала, который имеет ярко выраженное распределение скоростей течения.

Предложенная конструкция МГЭС проточного типа установки в ирригационных каналах является приоритетной для использования потенциала ирригационных каналов в энергобалансе Республики Таджикистан.

Известно, что ирригационные сооружения в республике достаточно хорошо развиты, и применение МГЭС, установленных на них, могут повысить надежность и качество электроснабжения вблизи расположенных маломощных потребителей электрической энергии (фермерских хозяйств и т.д.).

*Рецензент: Исмоилов Ф.О. — к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжения» ПЭПУ имени академика М.С. Осими*

### Литература

1. Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mewr.tj/> (дата обращения: 04.05.2026).
2. Пирова, Ш. Х. Перспективы использования каналов ирригационных систем в целях развития малых гидроэлектростанций на территории Республики Таджикистан / Ш. Х. Пирова, Ф. М. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 4(68). – С. 11–14. – EDN SWHRAG.

3. UNDP. Содействие интегрированному управлению водными ресурсами и трансграничному диалогу в Центральной Азии: проект ЕС-ПРООН (2009–2012). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cawater-info.net/bk/iwrm/pdf/tj\\_iwrm\\_an\\_rev\\_rus.pdf](https://www.cawater-info.net/bk/iwrm/pdf/tj_iwrm_an_rev_rus.pdf) (дата обращения: 15.05.2026).

4. Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. Национальная водная стратегия Республики Таджикистан до 2040 года. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mewr.tj/wp-content/uploads/2025/-2040.pdf>.

5. Патент РТ ТЖ 1640. Турбина для малой гидроэлектростанции / Ш. Х. Пирова, Ш. М. Султонзода, Ф. М. Рахимов, Н. С. Назаров, С. А. Рахмонзода; заявитель и патентообладатель: Ш. Х. Пирова, Ш. М. Султонзода, Ф. М. Рахимов, Н. С. Назаров, С. А. Рахмонзода. – № ТЖ 1640; заявл. 20.05.2025, № 2502101.

6. Положительное решение на получение малого патента РТ (ТЖ). Микрогидроэлектростанция проточного типа для выработки электрической энергии в ирригационных каналах / Ш. Х. Пирова, Ф. М. Рахимзода, Ш. М. Султонзода; заявитель: Ш. Х. Пирова, Ф. М. Рахимзода, Ш. М. Султонзода. – От 08.04.2026, № 2602259.

7. Рахимов, Ф. М. К вопросу интеграции водородных накопителей электроэнергии в энергосистему / Ф. М. Рахимов, О. С. Хабибов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 1(69). – С. 17–24. – EDN SXKXJX.

## Reference

1. Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mewr.tj/> (date of access: 04.05.2026).

2. Pirova, Sh. Kh. Prospects for the Use of Irrigation System Canals for the Development of Small Hydropower Plants in the Republic of Tajikistan / Sh. Kh. Pirova, F. M. Rakhimov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2024. – No. 4 (68). – Pp. 11–14.

3. UNDP. Promoting Integrated Water Resources Management and Transboundary Dialogue in Central Asia: EU-UNDP Project (2009–2012). – [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.cawater-info.net/bk/iwrm/pdf/tj\\_iwrm\\_an\\_rev\\_rus.pdf](https://www.cawater-info.net/bk/iwrm/pdf/tj_iwrm_an_rev_rus.pdf) (date accessed: 15.05.2026).

4. Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan. National Water Strategy of the Republic of Tajikistan until 2040. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mewr.tj/wp-content/uploads/2025/-2040.pdf>.

5. Patent RT TJ 1640. Turbine for a small hydroelectric power plant / Sh. Kh. Pirova, Sh. M. Sultonzoda, F. M. Rakhimov, N. S. Nazarov, S. A. Rakhmonzoda; applicant and patent holder: Sh. Kh. Pirova, Sh. M. Sultonzoda, F. M. Rakhimov, N. S. Nazarov, S. A. Rakhmonzoda. – No. TJ 1640; declared 20.05.2025, No. 2502101.

6. Positive decision on obtaining a small patent of the Republic of Tajikistan (TJ). Flow-type microhydroelectric power plant for generating electric energy in irrigation canals / Sh. Kh. Pirova, F. M. Rakhimzoda, Sh. M. Sultonzoda; applicant: Sh. Kh. Pirova, F. M. Rakhimzoda, Sh. M. Sultonzoda. – From 08.04.2026, No. 2602259.

7. Rakhimov, F. M. On the integration of hydrogen energy storage devices into the power system / F. M. Rakhimov, O. S. Khabibov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2025. – No. 1 (69). – P. 17–24.

## МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ                                                                         | RU                                    | EN                                    |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Пирова Шамсия Хотамовна                                                    | Пирова Шамсия Хотамовна               | Pirova Shamsia Khotamovna             |
| муаллими калон                                                             | ст. преподаватель                     | Senior Lecturer                       |
| ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ                                               | ТТУ имени акад. М.С. Осими            | TTU named after acad. M.S. Osimi      |
| E.mail: <a href="mailto:samsiapirova@gmail.com">samsiapirova@gmail.com</a> |                                       |                                       |
| ORCID Id 0009-0008-6908-8553                                               |                                       |                                       |
| TJ                                                                         | RU                                    | EN                                    |
| Раҳимзода (Раҳимов) Фирдавс Мирзоумар                                      | Рахимзода (Рахимов) Фирдавс Мирзоумар | Rahimzoda (Rahimov) Firdavs Mirzoumar |
| н.и.т. дотсент                                                             | к.т.н. доцент                         | PhD, associate professor              |
| ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ                                               | ТТУ имени акад. М.С. Осими            | TTU named after acad. M.S. Osimi      |
| E.mail: <a href="mailto:rm-firdavs@mail.ru">rm-firdavs@mail.ru</a>         |                                       |                                       |
| ORCID Id 0000-0002-3962-7914                                               |                                       |                                       |