



# Tog'li hududlarda kichik gidroelektr stansiyalarini loyihalash xususiyatlari

Yakov I. Blyashko<sup>1</sup>, Viktor V. Yelistratov<sup>2</sup>, Muradulla M. Muhammadiyev<sup>3</sup>,  
Abbos A. Maxmudov<sup>3,a)</sup>, Bekzod T. Amirsaidov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Phd, direktor, "MNTO INSET" AJ, Sankt-Peterburg, 198259, Rossiya: [JIB@inset.spb.ru](mailto:JIB@inset.spb.ru)

<sup>2</sup> DSc, prof., Sankt-Peterburg davlat politexnika universiteti, Sankt-Peterburg, 195251, Rossiya: [elistratov@spbstu.ru](mailto:elistratov@spbstu.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-7051-6027>

<sup>3</sup> DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston, [muradgidro@gmail.com](mailto:muradgidro@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0007-5636-7337>

<sup>3,a)</sup> Doktorant, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston, [makhmudovabbosxon@gmail.com](mailto:makhmudovabbosxon@gmail.com)

<sup>4</sup> Doktorant, birinchi o'rinbosar, "O'zbekgidroenergo" AJ, Toshkent, 100011, O'zbekiston, [b.amirsaidov@uzgidro.uz](mailto:b.amirsaidov@uzgidro.uz)

**Dolzarbliqi.** Hozirgi kunda O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi energiya manbalarining salmog'i keskin oshib bormoqda, ayniqsa, kichik gidroelektr stansiyalar (KGES) qayta tiklanadigan energetikaning muhim elementi hisoblanadi va tog'li va tog'oldi hududlarda ularni qo'llash tabiiy resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. O'zbekistonning bu hududlari baland-pastliklari va daryolarining ko'pligi bilan katta imkoniyatlarga ega. Ammo bunday hududlarda gidrotexnik inshootlarni loyihalash va qurish tabiiy, texnik, ekologik va iqtisodiy sharoitlar bilan bog'liq bo'lgan ko'plab o'ziga xos murakkabliklarga ega. Kichik daryolarning energetik salohiyati yuqori bo'lishiga qaramay, u deyarli o'zlashtirilmagan. Bu esa undan foydalanishning samarali yechimlarini ishlab chiqishning dolzarbligini tasdiqlaydi.

**Maqsad:** Maqolada O'zbekiston kichik gidroenergetikasini rivojlantirish uchun foydalanish mumkin bo'lgan tog' va tog'oldi hududlarida kichik gidroelektr stansiyalarini (KGES) loyihalash tajribasi ko'rib chiqilgan. Maqolada joylashtirish sxemalari va texnologik yechimlarni tanlashga ta'sir etuvchi gidrologik, iqlim va geologik sharoitlar tahlili keltirilgan. Gidrouzelning joylashuvi, turi, uskunalari va derivatsiya trassasini tanlash asoslanadi. Ish natijalaridan kichik GESlar loyihalarini ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

**Usullar:** Bosimdan samarali foydalanish uchun ochiq kanallar va bosim havzasiga ega bo'lgan kombinatsiyalangan bosimsiz-bosimli derivatsiya sxemasini qo'llash tavsiya etiladi. Bosimlar 80 m dan yuqori bo'lganda cho'michli turbinalardan, bosimlar 20-80 m bo'lganda radial-o'qli turbinalardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Seysmik ta'sirlar paytida ishonchlilikni oshirish uchun asosiy gidrotexnik inshootlarni qoyali asosga ankerli mahkamlashni ko'zda tutish tavsiya etiladi.

**Natijalar:** Bosimga bog'liq holda cho'michli yoki radial-o'qli turbinalarni tanlash o'zgaruvchan suv sarflari sharoitida stansiyalarning yuqori energetik samaradorligi va ishonchli ishlashini ta'minlaydi. Kichik gidroelektr stansiyalar (KGES) O'zbekistonning tog'li va tog'oldi hududlarini energiya bilan ta'minlash uchun samarali va ekologik barqaror yechim hisoblanadi.

**Kalit so'zlar:** Kichik gidroelektrostansiyalar, tog' va tog'oldi hududlari, gidrotexnik inshootlar, gidrouzel sxemalari.

## Особенности проектирования малых гидроэлектростанций в горной местности

Яков И. Бляшко<sup>1</sup>, Виктор В. Елистратов<sup>2</sup>, Мурадulla М. Мухаммадиев<sup>3</sup>,  
Аббос А. Махмудов<sup>3,a)</sup>, Бекзод Т. Амурсаидов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD, директор, АО "МНТО ИНСЕТ", Санкт-Петербург, 198259, Россия: [JIB@inset.spb.ru](mailto:JIB@inset.spb.ru)

<sup>2</sup> DSc, prof., Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, 195251, Россия: [elistratov@spbstu.ru](mailto:elistratov@spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7051-6027>

<sup>3</sup> DSc, prof., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан, [muradgidro@gmail.com](mailto:muradgidro@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-5636-7337>

<sup>3,a)</sup> Докторант, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан, [makhmudovabbosxon@gmail.com](mailto:makhmudovabbosxon@gmail.com)

<sup>4</sup> Докторант, первый заместитель, АО "Узбекгидроэнерго", Ташкент, 100011, Узбекистан, [b.amirsaidov@uzgidro.uz](mailto:b.amirsaidov@uzgidro.uz)

**Актуальность.** В настоящее время в Республике Узбекистан резко возрастает доля возобновляемых источников энергии, особенно малые гидроэлектростанции (МГЭС) являются важным элементом возобновляемой энергетики, и их применение в горных и предгорных районах позволяет эффективно использовать природные ресурсы. Эти регионы Узбекистана имеют большие возможности благодаря своим возвышенностям и обилию рек. Однако проектирование и строительство гидротехнических сооружений в таких районах имеет множество специфических сложностей, связанных с природными, техническими, экологическими и экономическими условиями. Несмотря на высокий энергетический потенциал малых рек, он практически не освоен. Это подтверждает актуальность разработки эффективных решений для его использования.

**Цель:** В статье рассматривается опыт проектирования малых гидроэлектростанций (МГЭС) в горных и предгорных районах, которые могут быть использованы для развития малой гидроэнергетики Узбекистана. В статье представлен анализ гидрологических, климатических и геологических условий, влияющих на выбор схем размещения и технологических решений. Обсуждается расположение, тип, оборудование и выбор трассы деривации гидроузла. Результаты работы могут быть использованы при разработке проектов малых ГЭС.

**For citation:** Y.I. Blyashko, V.V. Yelistratov, M.M. Mukhammadiyev,

A.A. Makhmudov, B.T. Amirsaidov.

Features of designing small hydroelectric power plants in mountains. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 297-308.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18639396>

Received: 02.04.2025

Revised: 16.04.2025

Accepted: 08.07.2025

Published: 27.12.2025

**Copyright:** Yakov I. Blyashko, Viktor V. Yelistratov, Muradulla M. Mukhammadiyev, Abbas A. Makhmudov, Bekzod T. Amirsaidov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



**Методы:** Для эффективного использования давления рекомендуется использовать комбинированную безнапорно-напорную деривационную схему с открытыми каналами и бассейном давления. При давлениях выше 80 м целесообразно использовать ковшовые турбины, а при давлениях 20-80 м - радиально-осевые турбины. Для повышения надежности при сейсмических воздействиях рекомендуется предусматривать анкерное крепление основных гидротехнических сооружений к скальным основаниям.

**Результаты:** Выбор ковшовых или радиально-осевых турбин в зависимости от давления обеспечивает высокую энергоэффективность и надежную работу станций в условиях переменного расхода воды. Малые гидроэлектростанции (МГЭС) являются эффективным и экологически устойчивым решением для энергообеспечения горных и предгорных районов Узбекистана.

**Ключевые слова:** малые гидроэлектростанции, горные и предгорные районы, гидротехнические сооружения, схемы гидроузлов.

## Features of designing small hydroelectric power plants in mountains

Yakov I. Blyashko<sup>1</sup>, Viktor V. Yelistratov<sup>2</sup>, Muradulla M. Mukhammadiyev<sup>3</sup>,  
Abbos A. Makhmudov<sup>3,a)</sup>, Bekzod T. Amirsaidov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD, Director, JSC "MNTO INSET", St. Petersburg, 198259, Russia: [JIB@inset.spb.ru](mailto:JIB@inset.spb.ru)

<sup>2</sup> DSc, Prof., St. Petersburg State Polytechnic University, St. Petersburg, 195251, Russia: [elistratov@spbstu.ru](mailto:elistratov@spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7051-6027>

<sup>3</sup> DSc, Prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan, [muradgidro@gmail.com](mailto:muradgidro@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-5636-7337>

<sup>3,a)</sup> Doctoral student, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan, [makhmudovabbosxon@gmail.com](mailto:makhmudovabbosxon@gmail.com)

<sup>4</sup> Doctoral student, First Deputy, "Uzbekgidroenergo" JSC, Tashkent, 100011, Uzbekistan, [b.amirsaidov@uzgidro.uz](mailto:b.amirsaidov@uzgidro.uz)

**Relevance.** Currently, the share of renewable energy sources in the Republic of Uzbekistan is sharply increasing, especially small hydroelectric power plants (MGES) are an important element of renewable energy, and their use in mountainous and foothill areas allows for the efficient use of natural resources. These regions of Uzbekistan have great opportunities due to their elevation and abundance of rivers. However, the design and construction of hydraulic structures in such areas has many specific complexities related to natural, technical, ecological, and economic conditions. Despite the high energy potential of small rivers, it has practically not been developed. This confirms the relevance of developing effective solutions for its use.

**Aim:** The article examines the experience of designing small hydroelectric power stations (SHPS) in mountainous and foothill regions that can be used for the development of small hydropower in Uzbekistan. The article presents an analysis of hydrological, climatic, and geological conditions influencing the selection of placement schemes and technological solutions. The location, type, equipment, and choice of the hydraulic unit's derivation route are justified. The results of the work can be used in the development of projects for small hydropower plants.

**Methods:** To effectively utilize pressure, it is recommended to use a combined pressure-free-pressure derivation scheme with open channels and a pressure basin. At pressures above 80 m, it is advisable to use bucket turbines, and at pressures of 20-80 m, radial-axial turbines. To increase reliability during seismic impacts, it is recommended to provide anchor support for the main hydraulic structures to rocky foundations.

**Results:** The choice of bucket or radial-axial turbines depending on the pressure ensures high energy efficiency and reliable operation of stations under variable water flow conditions. Small hydroelectric power plants (SHPPs) are an effective and environmentally sustainable solution for energy supply in the mountainous and foothill regions of Uzbekistan.

**Keywords:** small hydropower plants, mountainous and sub montane regions, hydraulic structures, waterworks schemes

### 1. Введение. (Introduction)

Гидроэнергетика играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития, особенно в регионах с ограниченными энергоресурсами и слаборазвитой инфраструктурой. Малые гидроэлектростанции (МГЭС) являются важным элементом возобновляемой энергетики, особенно в горных и предгорных регионах, где их применение позволяет эффективно использовать природные ресурсы. Эти территории Узбекистана обладают значительным потенциалом за счет высоких перепадов высот и большого количества рек. Однако проектирование и строительство гидротехнических сооружений в таких регионах сопряжено с множеством уникальных сложностей, связанных с природными, техническими, экологическими и экономическими условиями. Несмотря на высокий энергетический потенциал малых рек он практически не освоен. Это подтверждает актуальность разработки эффективных решений для его использования.

Строительство малых гидроэлектростанций в горной местности является одним из перспективных направлений обеспечения населения доступной и экологически чистой энергией. В горных районах Узбекистана, где остается дефицит электроэнергии, МГЭС могут стать эффективным решением для улучшения качества жизни местного населения, поддержки экономики и уменьшения зависимости от ископаемого топлива. Однако сложные геологические



и климатические условия предъявляют особые требования к проектированию и строительству МГЭС. Необходимость учитывать такие факторы, как сейсмическая активность, сезонные колебания стока, труднодоступность территорий делают этот процесс достаточно сложным.

Территория Узбекистана разнообразна - это пустыни, степи и горы [1, 2].

Площадь горных районов страны, состав которой входят горы Западного Тянь-Шаня, Угамский, Пскемский, Гиссарский, Зеравшанский хребты, Чаткальские, Зааминские, Нуратинские, Яккабагские и Байсунские горы, равна 96 000 км<sup>2</sup>, что составляет 21,3% от общей территории.

В горных регионах Узбекистана проживает более 2 миллионов человек, что составляет около 7% населения государства.

Средняя высота гор Узбекистана колеблется от 2 до 3 тысяч метров. Например, небольшой горный хребет Султан-Увайс (Султан Уиз-Дар) в Каракалпакстане не превышает отметки в 500 метров, а самая высокая гора – вершина Хазрет-Султан, ее высота достигает 4643 м.

С точки зрения геологии, горы Узбекистана довольно старые, склоны часто пологие, однако многочисленные реки, стекающие со снежных вершин, их долю приходится  $\frac{3}{4}$  общего объема воды, спускающегося с горных массивов. Талая вода ледников и снежников, стекая с высоких горных вершин, образуют более 600 рек. Соответственно, их питание зависит от таяния льда и снега в горах (около 70 % от всего стока), а также от дождей и, в гораздо меньшей степени — от грунтовых вод. Весной и осенью дополнительное питание реки получают от выпадающих осадков.

Горная часть страны является основным районом формирования стока вод, это объясняется тем, что климат здесь мягче, чем на равнине, осадков выпадает больше, а процент их испарения незначителен. Ледники и снега, в основе своей питающие реки Узбекистана, находятся именно в горных районах, однако сформировавшийся сток, в большинстве своем, образуют небольшие сая (горные ручьи), длина водотока которых редко превышает 10 км.

Климат в Узбекистане континентальный и зависит от его географического положения, солнечной радиации и атмосферной циркуляции. Он, в основном, характеризуется продолжительной засухой, жарким летом, дождливой весной и холодной зимой. Атлантические и арктические воздушные течения входят с севера, северо-запада и запада. Средняя температура июля в республике колеблется от 26°C на севере до 50°C на юге. средняя температура воздуха в январе достигает –8 °C на севере и 0 °C на юге. Самая низкая температура воздуха –38 °C (на равнинах Устюрта).

Территория Узбекистана характеризуется повышенной сейсмичностью. Зоны наиболее сильных землетрясений: Чаткальский, Байсунтау, Пскемский хребты, Каржантау, вост. часть Ферганской долины. Наиболее сильные (9–10-балльные) землетрясения этого района с магнитудами св. 7 – Каратагское (1907), Чаткальское (1946). Зап. районы относительно слабосейсмичны, однако и здесь известны крупные землетрясения – Газлинские (1976, 1984) [1].

Проектирование малых гидроэлектростанций в горной местности требует учёта природных условий и разработки особых инженерных решений. Высокая сейсмическая активность, сезонные колебания расходов воды, крутые уклоны и ограниченная доступность строительных площадок значительно усложняют традиционные подходы, используемые при проектировании [2, 3].

Опыт проектирования и создания МГЭС на горных реках Кавказа, горного Алтая Армении, Бурятии, Кубы и др., горных регионов, который можно использовать и для Узбекистана [4], показал, что типовой для строительства гидроузлов как правило принимается компоновка плотинно-деривационного типа. Состав и тип основных гидротехнических сооружений МГЭС разрабатывается по каждому гидроузлу с учетом особенностей гидрологического режима реки, наличия в период половодья и паводков значительного количества взвешенных и влекомых водой наносов, а также инженерно-геологических и природно-климатических условий района строительства [4].

При этом в состав МГЭС различных типов могут входить такие отдельные сооружения, как плотина, водоприемное сооружение, отстойник, деривационный закрытый и открытый канал, уравнильный бассейн, водоприемная камера, напорные трубопроводы, здание гидроузла и отводящий канал.

Для выбора места расположения водоприемника при обследовании рек необходимо обращать особое внимание на рельеф местности прохождения трассы деривации. При трассировке открытого канала безнапорной деривации целесообразно его располагать на более высокой горизонтали, несмотря на то, что при этом несколько повышается уровень плотины.

Проведенными расчетами показано, что стоимость безнапорных деривационных сооружений находится в соотношении 1:1,5:2,5 для канала, утепленного грунтом лотка и металлической трубы. Однако, безнапорная часть деривации, как правило, выполняется длиннее напорной, и



при этом, очевидно, теряется часть расчетного напора, что несколько снижает установленную мощность гидроузла.

В предпроектных разработках вариантов размещения основных сооружений, как правило, предусматривается размещение напорной деривации непосредственно после плотины. В ряде случаев целесообразно рассмотреть вариант безнапорной деривации с применением лотка или железобетонного канала. В связи с возможными затруднениями с регулированием агрегатов, в проектных решениях в ряде случаев целесообразно искусственно сокращать длину водовода за счет установки уравнивающего резервуара.

Выбору трассы деривации, исходя из рельефа местности и места размещения водоприемного сооружения необходимо уделять особое внимание, тем более, что необходимо учитывать также ее влияние на выше и ниже расположенные участки местности, которые могут быть использованы в дальнейшем для возведения каскада малых ГЭС.

На основе опыта реализованных проектов МГЭС предлагается следующие типы компоновочных решений.

Первый тип компоновочных решений по сооружениям гидроузлов относится к горным рекам с большим перепадом высот (30-60 м/км реки). На реках этого типа в период паводков по руслу перемещаются смытые с выше расположенных склонов деревья, кустарники и мусор, значительное количество наносов грунта и т.д. Часть таких рек даже с небольшими расходами за счет уклонов имеют большой гидроэнергетический потенциал. Русла, в основном, состоят из хорошо промытого гравийно-галечникового грунта с супесчаным заполнением, высокой фильтруемости и водопроницаемости. В период зимней межени сток таких рек резко сокращается.

Для таких условий в состав МГЭС предлагается включать следующие сооружения:

- головной водозаборный узел в составе водосливной низконапорной плотины с фиксированным порогом и в ряде случаев с фильтрационной донной галереей, перехватывающей как поверхностный, так и под-русловый потоки, промывным донным водосбросом и рыбоходом,
- напорный деривационный трубопровод или безнапорный утепленный лоток,
- стационарный узел в составе здания МГЭС, отводящего канала, электролинии с трансформаторной подстанцией.

Примером такого компоновочного решения является МГЭС Баргузин на р. Ульзыха, республика Бурятия (рис. 1а,б) [5].

Водосливная плотина обеспечивает необходимый объем воды даже в маловодный год при Q 80% обеспеченности. Такая плотина состоит из двух основных элементов: непосредственно водосливно-го сооружения, водозаборной части, состоящей из водоприемника с напорным бассейном, промывного шлюза, шугохода и рыбохода.

На стадии сопоставления вариантов основных сооружений МГЭС при условии отсутствия необходимости использовать в зимний период грунтовые воды возможно в "узких" створах ущелий горных рек, русловая часть которых сложена скальными породами, применить монолитную железобетонную низконапорную водосливную плотину трапециевидальной профиля. При повышении уровня воды в верхнем бьефе происходит автоматический сброс воды в нижний бьеф через гребень плотины.

Подвод воды от водозабора к стационарному зданию выполняется в виде напорной деривации, которую изготавливают из металлических труб или совмещенных напорно-безнапорных участков. Безнапорная деривация может быть выполнена в виде железобетонного желоба или канала, проложенного в грунте. Металлические трубопроводы снабжаются компенсаторами температурных перепадов. Во избежание обмерзания трубопровода в зимних условиях предусматривается теплоизоляционное укрытие местным грунтом. Труба на анкерных опорах теплоизолируется минеральной ватой или помещается в деревянный короб и засыпается опилками.

Стационарные здания МГЭС, как правило, выполняются из местных строительных материалов.

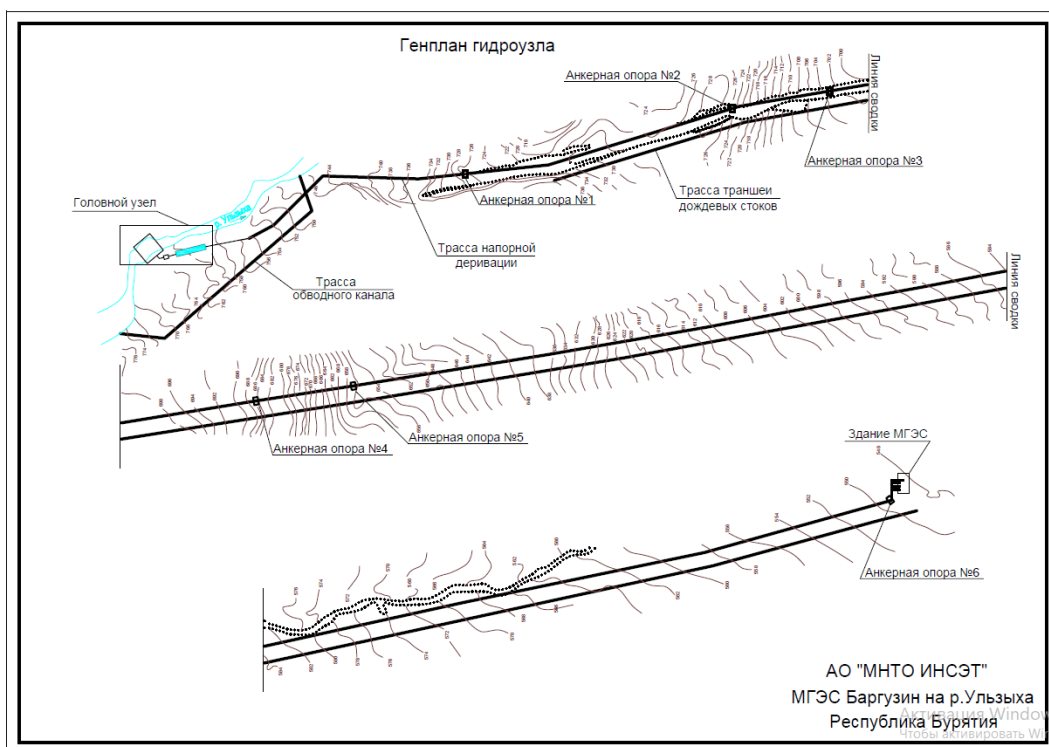


Рис. 1а. Генплан узел МГЭС «Баргузин»

Fig. 1a. The general plan of the SHPP "Barguzin"

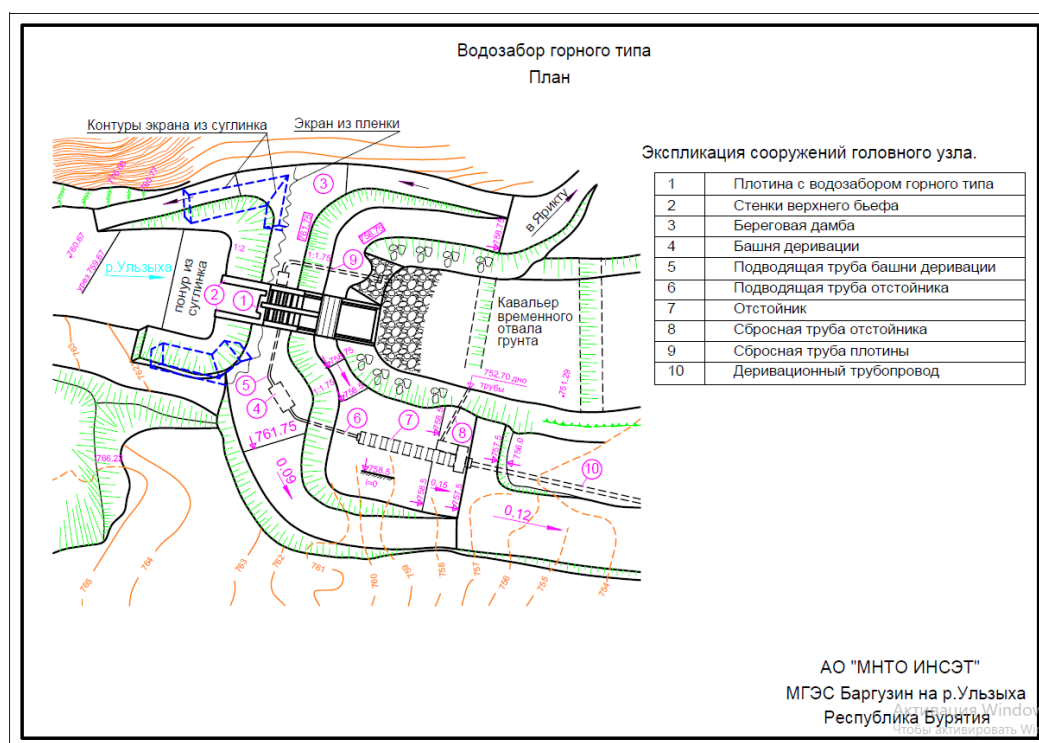


Рис. 1б. Головной водозаборный узел МГЭС «Баргузин»

Fig. 1b. The head water intake unit of the SHPP "Barguzin"

Еще одним типом компоновочного решения можно считать комбинированную конструкцию головного узла при относительно широких долинах (до 80-100 м) русла рек. Это низконапорная переливная часть общей плотина высотой до 8 м с водозабором, донным водосбросом и шугоходом, сопряженная с глухой земляной плотиной. В этом случае, плотина состоит из двух частей: водосливной, разделительного глухого бычка, образующего в верхнем бьефе промывной карман, и водозаборной части плотины, примыкающей к одному из склонов долины, в теле которой размещен водоприемник деривационного лотка или напорного трубопровода,

промывное отверстие и шугоход. Высота плотины (за исключением водосливной части) определяется форсированным уровнем при пропуске расчетного половодья. Примером такого компоновочного решения является МГЭС Язула на р. Верхний Кулаш, республика Алтай (рис. 2а,б).

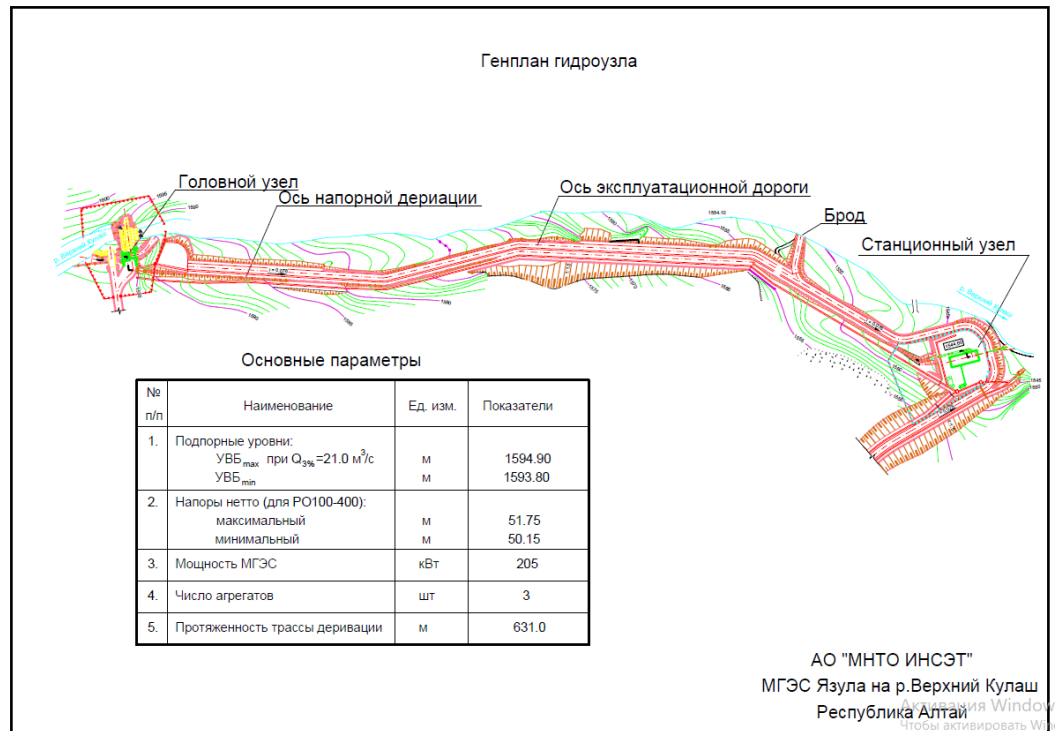


Рис. 2а. Генплан МГЭС Язула.

Fig. 2a. The general plan of the Yazula SHPP.

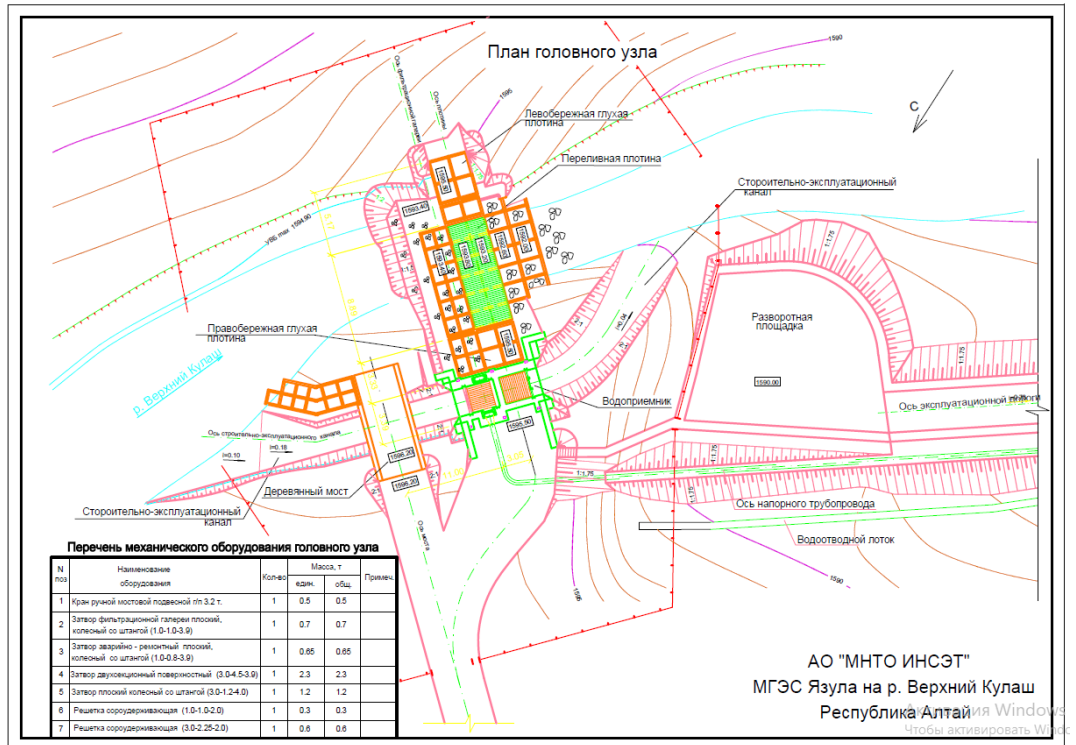


Рис. 2б. Головной узел МГЭС Язула.

Fig. 2b. The head unit of the Yazula SHPP.

Водоприемник заглубляется под минимальный расчетный уровень с целью предотвращения промерзания и попадания плавающего льда при условии с работы водохранилища и пропуска при этом расчетного максимального расхода воды на гидроагрегаты. Как правило, отметка



порога промывного отверстия конструктивно на 2 м ниже, что обеспечивает пропуск строительного расхода реки после перекрытия. Промывка производится после прохождения пика половодья до понижения отметки наносов перед водозабором не менее, чем на 1,0 м. Водозаборное и промывное отверстия снабжены глубинными ручными затворами с винтовыми подъемниками. В зимний период при штатной эксплуатации затвор водоприемника постоянно открыт, затвор промывного отверстия - закрыт. Над промывным отверстием в той же ряжевой клетке размещено отверстие шугохода.

Исходя из природных условий, а также из гидрологических характеристик реки возможен также еще один тип компоновки основных сооружений малых ГЭС, в которые входят:

- водохранилище сезонного регулирования;
- каменно-грунтовая плотина;
- водосбросные сооружения (водозабор, донный и паводковый водосброс);
- водозабор, представляющий собой береговую прорезь, переходящую в бассейн суточного регулирования;
- аванкамера с напорной деривацией;
- станционный узел (здание МГЭС, отводящий канал, ЛЭП, трансформаторные подстанции).

Для данного типа плотинно-деривационных МГЭС могут быть рассмотрены два варианта деривации - безнапорная и напорная.

Безнапорная деривация - деривационный канал, с одной стороны сопряженный с плотинным водозабором, с другой - подвод воды по пересеченной местности к станционному узлу и созданию сосредоточенного перепада уровней воды в конце канала за счет разницы уклонов в канале и русле. Деривационный канал выполняется, как правило, в выемке, однако с учетом рельефа на отдельных участках канал может быть расположен и в насыпи. Безнапорный канал защищается от потерь воды суглинком, глиной и термостойкой мелиоративной полиэтиленовой пленкой. В целях термоизоляции канал перекрывается деревянными щитами и обваловывается местным грунтом. Безнапорный деривационный канал сопрягается с напорными металлическими трубопроводами через напорную камеру (аванкамеру), которая имеет аварийный сброс всего расхода воды, поступающей на агрегаты, а также ремонтный водосброс, выполняющий также функцию промывного устройства от наносов. Компоновка такого типа приведена на примере МГЭС Мульта на р. Кокса, республика Алтай (рис.3).

Напорный водовод как правило, выполняется из металлических труб, для больших расходов обетонированных, уложенных в траншею с последующей засыпкой или прокладывается по анкерным опорам с температурными компенсаторами и утепляются минераловатными плитами.

Суровые природно-климатические условия в зонах строительства малых ГЭС с протяженными на сотни метров напорными трубопроводами требуют решения вопросы их теплоизоляции для уменьшения степени переохлаждения воды и вероятности ее замерзания на подходе к гидроагрегатам. На стадии проектных проработок необходимо рассмотреть четыре возможных вариантов утепления металлических труб:

- укладка водоводов в траншею на гравийно-песчаную постель с последующей обваловкой их грунтом,
- изоляция труб шлакоминеральными плитами и укрытие их металлическим кожухом;
- утепления труб жестким пенополиуретаном, который имеет самый низкий коэффициент теплопроводности среди известных теплоизоляционных материалов, с последующим закрытием их оцинкованной жстью;
- предотвращение замерзания водоводов за счет намотки на трубы трехфазной саморегулирующейся нагревательной ленты с подключением ее к трансформатору.

Для малой гидроэлектростанции (МГЭС) в горной местности выбор оборудования зависит от нескольких ключевых факторов. В условиях высоких перепадов высот и быстрых колебаний стока рек обычно используются ковшевые или радиально-осевые турбины, которые эффективны при высоких напорах и переменных расходах воды [5, 6]. Оборудование должно быть компактным для удобства транспортировки и установки в сложных условиях, а также устойчивым к внешним воздействиям, таким как коррозия и замерзание. Важно также выбрать высокоэффективные и надежные системы с минимальными требованиями к обслуживанию, учитывая сложный доступ и ограниченные ресурсы для эксплуатации в горных районах.





**Рис. 4а.** МГЭС «Джазатор»: машзал станции [5].  
**Fig. 4a.** SHPP "Jazator": machine room of the station.



**Рис. 4б.** МГЭС «Джазатор»: общий вид станционного здания [5].  
**Fig. 4b.** MGES "Jazator": general view of the station building.

2. Фаснальская МГЭС (Россия, республика Северная Осетия-Алания), (рис. 5) [5].  
 Станция построена в Урухском ущелье, используя естественные перепады высот.

- Мощность: около 6,4 МВт, напор 120 м

Особенности: на станции установлено 3 гидроагрегата с радиально-осевыми гидротурбинами и один гидроагрегат с сдвоенной ковшовой гидротурбиной

Экологический подход: бережное отношение к водным ресурсам и окружающей среде. Проект показывает, как малые ГЭС могут интегрироваться в труднодоступные районы без значительного вмешательства в природу



**Рис. 5.** Общий вид на станционный узел Фаснальской МГЭС.

**Fig. 5.** General view of the Fasnalskaya SHPP station.

**Выводы.** • Для эффективного использования напора рекомендуется применять комбинированную безнапорно-напорную деривационную схему с открытыми каналами и напорным бассейном.

- При напорах свыше 80 м целесообразно использовать ковшевые турбины; при напорах 20–80 м — радиально-осевые турбины.
- Для повышения надёжности при сейсмических воздействиях рекомендуется предусмотреть анкерное крепление основных гидротехнических сооружений к скальному основанию.

### **Заключение (Conclusions)**

1. Малые гидроэлектростанции (МГЭС) являются эффективным и экологически устойчивым решением для энергоснабжения горных и предгорных районов Узбекистана.

2. Проектирование МГЭС в горной местности требует учёта множества факторов: резких перепадов высот, сезонных колебаний речного стока, высокой концентрации наносов и сейсмической активности. Наиболее эффективным решением в таких условиях являются плотинно-деривационные схемы.

3. Выбор ковшевых или радиально-осевых турбин в зависимости от напора обеспечивает высокую энергетическую эффективность и надёжность работы станций в условиях переменных расходов воды.

4. Экологическая устойчивость МГЭС достигается за счёт поддержания минимального санитарного стока, сооружения рыбопропускных устройств и проведения рекультивации нарушенных территорий.

5. Примеры успешной реализации малых гидроэлектростанций в России и за рубежом подтверждают целесообразность применения комплексного инженерного подхода при проектировании МГЭС в условиях горной местности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Узбекистан, БСЭ. Е.В. Баранчиков (Общие сведения, Население, Хозяйство), электронный ресурс.
2. Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М. Гидроэнергетика. Введение: Учебник-СПб, Политехпресс, 2025, 296 с.
3. Елистратов В.В. (ред.). Гидроэлектростанции малой мощности: учебное пособие. 2-е изд. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. — 430 с.



4. Бляшко Я.И. Малая гидроэнергетика России. Проблемы и перспективы развития // Энергетик. – 2013. №6, с.38 – 42.
5. Бляшко Я.И. Инновационные решения в области малой гидроэнергетики//Новое в российской электроэнергетике, Электрические станции и электроэнергетические системы 2017, №9, с.19-29.
6. Сангинов А.А., Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Использование и аккумулирование гидравлической энергии в энергосистеме Республики Узбекистан. Т.:» Инновацион ривожланиш нашриёт матбаа уйи». 2021.238 с.
7. Амерханов Р.А., Бляшко Я.И., Григораш О.В. Малая гидроэнергетика. М., Машиностроение, 2021, 245 с.
8. Бляшко Я.И. Опыт «МНТО ИНСЭТ» по созданию и эксплуатации оборудования для микро и малых ГЭС//Тяжёлое машиностроение, 1997. – №10, с. 12 – 15.
9. Мухаммадиев М., Матжонов К., Махмудов А., Махмудов А. Перспективы использования гидравлической, солнечной и ветровой энергии в Республике Узбекистан. Научно-технические, теоретические основы Узбекгидроэнергетика 2019 №2, с. 21 – 23.
10. Мухаммадиев М. М., Джураев К. С., А. Абдуазиз уулу. Использование микрогидроэлектростанций с существующими гидравлическими системами. Материалы конференции AIP 2552, 050031 (2023)
11. Уришев Б., Мухаммадиев М., А. Абдурауф уулу, Муродов Х. Использование крупных ирригационных насосных станций для ежедневного ручного регулирования мощности в энергетической системе Республики Узбекистан. Веб-конференция E3S 264, 04057 2021.
12. Мухаммадиев М., Джураев К., А. Абдулазиз уулу, Муродов Х. Перспективы развития использования гидроаккумулирующих электростанций в энергосистеме республики Узбекистан. «Проблемы энерго и ресурсосбережения» специальный выпуск (№82)- 2022 г.
13. Мухаммадиев М., Джураев К., Гадаев С. Методика определения технико-экономических показателей использования свободнопоточных микрогидроэлектростанций. «Проблемы энерго и ресурсосбережения» специальный выпуск (№86)- 2024 г.
14. Мухаммадиев М., Гадаев С., Файзиев А., Илавиiddинов Х. Об использовании гидроэнергетического потенциала гидротехнических сооружений. // Агро наука Аграрный экономический научно-практический журнал. 4-й выпуск. Ташкент-2022. с. 50-52.
15. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С. Обоснование энергетических и экономических параметров гидроаккумулирующих электростанций в Узбекистане. Международный журнал “Прикладная солнечная энергетика”, Том II. 56, №3, с.227-232. (2020).

## REFERENCES

1. Uzbekistan, BSE. E.V. Baranchikov (General information, Population, Economy), electronic resource.
2. Elistratov V.V., Mukhammadiev M.M. Hydropower engineering. Introduction: Textbook-St. Petersburg, Politekhpress, 2025, 296 p.
3. Elistratov V.V. (ed.). Low-power hydroelectric power plants: a textbook. 2nd ed. — St. Petersburg: Publishing House of SPbSPU, 2005. - 430 p.
4. Blyashko Ya.I. Small hydropower industry of Russia. Problems and prospects of development // Energetik, 2013, No. 6, pp.38-42.
5. Blyashko Y.I. Innovative solutions in the field of small hydropower//New in the Russian electric power industry, Electric power plants and Electric Power systems 2017, No. 9, pp.19-29.
6. Sanginov A.A., Mukhammadiev M.M., Urishev B.U. The use and accumulation of hydraulic energy in the power system of the Republic of Uzbekistan. Vol.: 2021.238 p.
7. Amerkhanov R.A., Blyashko Y.I., Grigorash O.V. Small hydropower Engineering, Moscow, Mashinostroenie, 2021, 245 p.
8. Blyashko Y.I. MNTO INSET's experience in the creation and operation of equipment for micro and small hydroelectric power plants//Heavy Engineering, 1997. – No. 10, pp. 12-15.
9. Mukhammadiev M., Matjonov K., Makhmudov A., Makhmudov A. Prospects of using hydraulic, solar and wind energy in the Republic of Uzbekistan. Scientific, technical, theoretical foundations of Uzbekhydroenergetics 2019 No. 2, pp. 21-23.
10. Mukhammadiev M. M., Djuraev K. S., A. Abdiaziz uulu. The use of microhydroelectric power plants with existing hydraulic systems. Proceedings of the AIP conference 2552, 050031 2023.
11. Urishev B., Mukhammadiev M., A. Abdurauf uulu, Murodov H. The use of large irrigation pumping stations for daily manual power control in the energy system of the Republic of Uzbekistan. Web conference E3S 264, 04057 2021.
12. Mukhammadiev M., Juraev K., A. Abdulaziz uulu, Murodov H. Prospects for the development of the use of pumped storage power plants in the energy system of the Republic of Uzbekistan. "Problems of energy and resource conservation" Special issue (No. 82) – 2022.



13. Mukhammadiev M., Juraev K., Gadaev S. Methodology for determining the technical and economic indicators of the use of free-flow microhydroelectric power plants. "Problems of energy and resource conservation" special issue (No.86) – 2024.
14. Mukhammadiev M., Gadaev S., Fayziev A., Ilaviddinov H. On the use of the hydroelectric potential of hydraulic structures. // *Agro-science is an agrarian economic scientific and practical journal*. 4th edition. Tashkent, 2022. pp. 50-52.
15. Mukhammadiev M.M., Djuraev K.S. Justification of energy and economic parameters of pumped storage power plants in Uzbekistan. *International Journal of Applied Solar Energy*, Volume II. 56, No. 3, pp.227-232. (2020).