

УДК 556.02:626.816:627.8(575.23)
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-8-160-167

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ МАЛОЙ ГЭС НА РЕКЕ БАРСКООН

Г.И. Логинов, Б.А. Ботоканова, Э.И. Исмаилов

Аннотация. Представлены инженерные и гидрологические решения, направленные на совершенствование водозаборного сооружения малой деривационной ГЭС на реке Барскоон (Жеты-Огузский район, Иссык-Кульская область, Кыргызстан). Обоснован выбор створа водозабора с учётом оптимального гидроэнергетического потенциала. Описан паспорт проекта с параметрами основных конструктивных элементов гидроузла, обеспечивающих устойчивую подачу воды в напорную деривацию. Выделены ключевые гидроморфометрические характеристики створа и особенности водного режима. Установлено, что годовой цикл стока реки включает три фазово-однородных периода: снеговое половодье (апрель–июнь), снегово-ледниковое половодье (июль–сентябрь) и осенне-зимнюю межень (октябрь–март). Особое внимание уделено защите от речных наносов и шуги, обеспечению бесперебойного водопритока в зимний период. Разработанные конструктивные решения адаптированы к условиям высокогорной гидрологии и направлены на повышение надёжности водоподачи и энергетической эффективности малых ГЭС. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аналогичных объектов в горных районах.

Ключевые слова: малая ГЭС; водозаборное сооружение; деривация; река Барскоон; конструктивные решения; наносы; наносозащитный порог; гидроэнергетика.

БАРСКООН ДАРЫЯСЫНДА КИЧИ ГЭСТИН СУУ АЛУУЧУ КОНСТРУКЦИЯСЫНЫН КОНСТРУКТИВДҮҮ ЧЕЧИМДЕРИН ӨРКҮНДӨТҮҮ

Г.И. Логинов, Б.А. Ботоканова, Э.И. Исмаилов

Аннотация. Бул макалада Барскоон дарыясындагы (Кыргызстан, Ысык-Көл облусу, Жети-Огуз району) чакан деривациялык ГЭСтин суу алуучу курулушун жакшыртууга багытталган инженердик-гидрологиялык чечимдер берилген. Оптималдуу гидроэнергетикалык потенциалды эске алуу менен суу алуучу жайды тандоо негиздүү. Долбоордун паспорту ГЭСтин негизги структуралык элементтеринин параметрлери менен сүрөттөлүп, басымдын диверсиясына туруктуу суу менен камсыз кылууну камсыз кылат. Участоктун негизги гидроморфометриялык мүнөздөмөлөрү жана суу режиминин өзгөчөлүктөрү белгиленген. Дарыянын агымынын жылдык цикли үч фазалуу-бир тектүү мезгилди камтый тургандыгы аныкталган: кар ташкыны (апрель–июнь), кар-мөңгү ташкыны (июль–сентябрь) жана күзгү-кышкы аз суу (октябрь–март). Кышкысын сууну үзгүлтүксүз алып келүүнү камсыз кылуу, дарыя чөкмөлөрүнөн жана ылайдан коргоого өзгөчө көңүл бурулууда. Иштелип чыккан долбоордук чечимдер бийик тоолуу гидрологиянын шарттарына ылайыкташтырылган жана суу менен жабдуунун ишенимдүүлүгүн жана чакан ГЭСтин энергиялык натыйжалуулугун жогорулатууга багытталган. Алынган натыйжаларды тоолуу райондордо ушундай эле объектилерди долбоорлоодо колдонууга болот.

Түйүндүү сөздөр: чакан ГЭС; суу алуучу түзүлүш; туунду; Барскоон дарыясы; конструктивдик чечимдер; чөкмөлөр; чөкмөлөргө каршы тосмо; гидроэнергетика.

IMPROVEMENT OF STRUCTURAL SOLUTIONS FOR THE INTAKE STRUCTURE OF A SMALL HYDROPOWER PLANT ON THE BARSKOON RIVER

G.I. Loginov, B.A. Botokanova, E.I. Ismatillaev

Abstract. The article presents engineering and hydrological solutions aimed at improving the intake structure of a small diversion hydropower plant (HPP) on the Barskoon River (Jety-Oguz District, Issyk-Kul Region, Kyrgyz Republic). The

selection of the intake site is justified based on the optimal hydroenergetic potential of the river section. The project passport is described, detailing the parameters of the main structural elements of the hydraulic unit, which ensure a stable water supply to the pressure diversion system. Key hydromorphometric characteristics of the selected site and specific features of the river's flow regime are identified. It is established that the annual flow cycle includes three phase-homogeneous periods: snowmelt flood (April–June), snow-glacial flood (July–September), and the autumn–winter low-water period (October–March). Particular attention is given to protection against sediment and frazil ice, as well as ensuring uninterrupted water intake during the winter season. The proposed design solutions are adapted to high-mountain hydrological conditions and are aimed at increasing the reliability of water supply and energy efficiency of small HPPs. The obtained results can be applied in the design of similar hydropower facilities in mountainous regions.

Keywords: small hydropower plant; intake structure; diversion; Barskoon River; design solutions; sediment; sediment-protective sill; hydropower.

Введение. В условиях устойчивого роста спроса на возобновляемые источники энергии и необходимости эффективного использования водных ресурсов, особенно в горных регионах Центральной Азии, актуальным становится развитие малой гидроэнергетики. Кыргызстан обладает значительным потенциалом для строительства малых ГЭС, в особенности на горных реках, отличающихся высокой естественной энергообеспеченностью и сезонной неравномерностью стока. Одним из таких объектов является река Барскоон, бассейн которой расположен на северном склоне хребта Терской-Алатоо и характеризуется значительной долей оледенения (до 10 % от общей площади водосбора), что существенно влияет на формирование её водного режима [1–3].

Был разработан проект строительства малой гидроэлектростанции в верховьях реки Барскоон, расположенной в пределах Барскоонского айыл аймака Жети-Огузского района Иссык-Кульской области Кыргызской Республики.

Цель данной работы – создание надёжной и высокоэффективной системы водозабора, обеспечивающей стабильную работу малой ГЭС при круглогодичном водообеспечении с учётом сезонных колебаний расхода и природных условий региона.

В ходе проектирования были предложены усовершенствованные конструктивные решения водозаборного гидроузла, включающего низконапорную плотину, подводящий канал, отстойник с гидравлической промывкой и напорный бассейн [4].

Разработка велась с учётом необходимости:

- обеспечения непрерывной подачи регулируемых объемов воды в деривационный напорный трубопровод;
- защиты гидроагрегатов и трубопроводов от наносов, шуги, плавающего сора и ледяных включений;
- сохранения проектных глубин и гидравлических параметров в створах;
- надёжного пропуска паводковых расходов и безопасного сброса излишков воды;
- обеспечения антивандальной стойкости сооружений.

Проектные решения были разработаны на основе комплексного анализа гидрологических данных, полученных на гидрологическом посту «р. Барскоон» Кыргызгидромета, а также по результатам топографических съёмок, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий. Расчётные параметры русловых и водосборных характеристик были уточнены на основе определения ключевых гидроморфометрических показателей в проектном створе [5, 6].

Таким образом, цель настоящего исследования заключается в обосновании и научной оценке эффективности предложенных конструктивных решений водозаборного гидроузла малой гидроэлектростанции на реке Барскоон с учётом современных требований надёжности, ресурса эффективности и устойчивости к воздействию неблагоприятных гидрометеорологических факторов.

Основная часть. Определение расчётных гидрологических характеристик в проектном створе было выполнено для установления основных гидроморфометрических параметров, представленных в таблице 1. Указанные параметры являются ключевыми для оценки водного режима и расчёта пропускной способности водозаборного сооружения [7].

Следует отметить, что в пределах водосборного бассейна р. Барскоон доля оледенения составляет порядка 10 % от общей площади бассейна. Этот фактор оказывает существенное влияние на формирование водного стока, особенно в тёплый период года, определяя сезонную неравномерность гидрографа и наличие выраженного ледниково-снегового питания.

Таблица 1 – Гидроморфометрические параметры р. Барскоон

Створ	A , км ²	L , м	$H_{ср.вз.}$ м	$A_{олед}$, %
р. Барскоон – у.р. Сасык (створ ГЭС)	346	41,60	3,48	10

Река Барскоон относится к водотокам, формирование стока которых обусловлено преимущественно ледниково-снеговым питанием. Основными источниками питания служат талые воды ледников, сезонные снега и атмосферные осадки, при этом последние накладываются по времени на фазы таяния, усиливая объём стока в тёплый период года.

В годовом цикле стока отчётливо выделяются три фазово-однородных периода [4]:

- Период снегового половодья (апрель–июнь), формирующийся преимущественно за счёт таяния сезонных снегов среднегорных и низкогорных районов. Объём стока в этот период существенно зависит от величины осадков, выпавших в предшествующий осенне-зимний период. Начало фазы определяется установлением устойчивых положительных температур воздуха.
- Период снегово-ледникового половодья (июль–сентябрь) обусловлен таянием высокогорных снегов, снежников и ледников. Он приходится на наиболее тёплый период года, при этом величина стока чётко коррелирует с суммарными положительными температурами воздуха. Общая волна половодья длится с апреля по сентябрь, с максимумом в июле–августе.
- Период осенне-зимней межени (октябрь–март), в течение которого питание реки осуществляется в основном за счёт подземных вод, аккумулированных в активных слоях водосбора.

На рисунке 1 представлены типовые годовые гидрографы среднесуточных расходов воды реки Барскоон, характеризующие сезонную изменчивость водного режима. На рисунке чётко прослеживаются три фазы: весеннее половодье (апрель–июнь), пик стока в летний период за счёт снегово-ледникового питания (июль–август), а также фаза устойчивой межени (октябрь–март) с минимальными

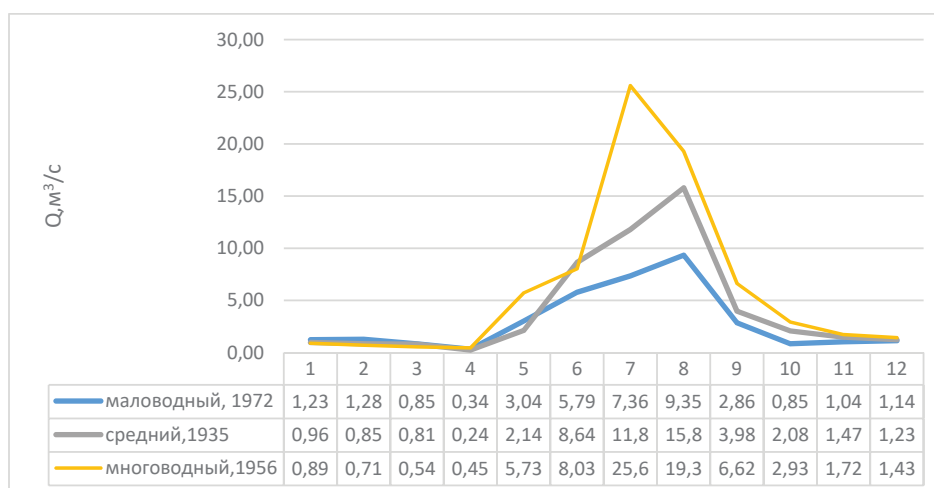


Рисунок 1 – Среднегодовой гидрограф стока реки Барскоон

расходами воды. Максимальные значения расходов приходятся на июль, что соответствует периоду интенсивного таяния ледников.

Основные проектные характеристики объекта «Строительство малой ГЭС выше по течению от с. Барскоон Барскоонского айыл окмоту Жети-Огузского района Иссык-Кульской области» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Паспорт проекта

1. Общие данные		
1.1 Местоположение объекта	Участок р. Барскоон в Жети-Огузском районе Иссык-Кульской области Кыргызской Республики	
1.2 Тип водозаборного сооружения	Низконапорный плотинный	
1.3 Класс ответственности сооружений по СП 58.13330.2019	Основные IV	Второстепенные IV
2. Технические данные по водозаборному гидроузлу		
Показатели	Ед. измерения	Величина
2.1 Среднегодовые расходы реки:		
50 % обеспеченности	м³/с	4,71
75 % обеспеченности	м³/с	3,32
95 % обеспеченности	м³/с	2,80
2.2 Тип энергетического гидроузла	Деривационный	
2.3 Производительность водозаборного сооружения (расход водоподачи)	$Q_{\min}$ м³/с	0,68
	$Q_{\max}$ м³/с	6,0
2.4 Пропускная способность	м³/с	41,4
2.5 Характеристики грунта основания	Валунно-галечниковый грунт	
3. Технические данные по напорно-станционному узлу		
Показатели	Ед. измерения	Величина
3.1 Число гидроагрегатов	шт.	2
3.2 Тип гидротурбин	Гидротурбина Пельтона Кв	
3.3 Подаваемые расходы воды на ГЭС		
Максимальный	м³/с	6,0
Минимальный	м³/с	0,21
3.4 Напор на ГЭС	м	163
3.5 Длина деривации	м	4800
3.6 Максимальная мощность ГЭС	МВт	8,31
Минимальная мощность ГЭС	МВт	1,32

Результаты. Основные исходные параметры для проектирования гидротехнических сооружений водозаборного узла приведены в таблице 3. В расчётах учтены ключевые гидрологические показатели, такие как расчётные и поверочные речные расходы, а также руслоформирующий расход, которые определяют водный режим участка. Производительность водозаборного сооружения рассчитана с учётом максимальных и минимальных расходов водоподачи, обеспечивая бесперебойное водоснабжение деривационной системы. Уклон дна задан в пределах бытового русла, что учитывает гидравлические условия потока. Ограничения по диаметру наносов и допустимой мутности воды обеспечивают защиту гидроагрегатов от механических повреждений и засорения. Применена усовершенствованная конструкция Тянь-Шанского типа, адаптированная под местные условия и требования надёжности [5].

Таблица 3 – Основные исходные данные

№	Наименование параметра	Ед. изм.	Знач.	Примечание
1	Расчётный речной расходом воды Q 5%	м³/с	41,4	-
2	Поверочный расход Q 1%	м³/с	50,1	-
3	Руслоформирующий расход Q 5%	м³/с	41,4	-
4	Производительность водозаборного сооружения (расходы водоподачи)	м³/с	6,0	Максимальный
			0,67	Минимальный
5	Уклон дна		0,02	В бытовом русле
6	Допустимый диаметр наносов	мм	0,2	Для попадания к
7	Допустимая мутность мутность	мг/л	30	гидроагрегату
8	Тип водозаборного сооружения	Усовершенствованный Тянь-Шанский		

Усовершенствованная конструкция водозаборного сооружения представляет собой гидроузел с береговым водоприёмником, обеспечивающим коэффициент водозабора более 90 % (рисунок 2) [5, 6]. Двухкамерный отстойник, совмещённый с напорным бассейном малой ГЭС, представлен на рисунке 3.

Параметры сооружений определяли с учётом пропускной способности и наносозащитных характеристик элементов конструкции. Согласно расчётам, выполненным на основе рекомендаций [6, 7], были установлены следующие основные технические параметры (рисунок 4):

- ширина подводящего и отводящего русла по урезу воды при пропуске расчётных расходов – 15,5 м;
- средняя глубина на зарегулированных участках русла – 0,95 м;
- глубина воды в верхнем бьефе водозаборного сооружения при нормальном подпорном уровне (НПУ) – 2,5 м;
- максимальная глубина воды в подпорном створе сооружения при форсированном подпорном уровне (ФПУ) – 2,9 м;
- ширина основного водосброса створа – 4,0 м;
- количество промывных трактов в верхнем бьефе – 2 шт. шириной по 1,25 м;
- длина автоводослива верхнего бьефа, расположенного на левом берегу – 15 м;
- длина трёхсекционного, ломаного в плане наносозащитного порога – 15,0 м, рассчитанная с учётом обеспечения необходимой пропускной способности.

Данные параметры обеспечивают оптимальные гидравлические и наносозащитные характеристики гидроузла с учётом специфики водного режима р. Барскоон.

Проектирование водозаборного гидроузла на реке Барскоон основывалось на комплексном анализе гидравлических и морфометрических характеристик участка с целью обеспечения надёжного и эффективного водозабора при минимальном влиянии наносов. Конструкция гидроузла интегрирует береговой водоприёмник с системой отстойников и напорным бассейном, что обеспечивает не только сбор воды, но и её предварительную очистку от механических примесей перед подачей в деривационный водовод.

Ключевые параметры гидроузла определены на основе гидравлических расчётов и включают [5–8]: длину водобойного колодца – 11,8 м; глубину колодца – 1,4 м для поддержания необходимого уровня потока; размеры водоприёмных камер – 1,5×1,5 м, ширину отводящего канала – 2,0 м с уклоном дна 0,0025. Длина камер отстойника достигает 100 м при глубине 4,0 м, что обеспечивает эффективное осаждение наносов, а ширина камер – 5,0 м, что поддерживает оптимальные скорости водного потока для улавливания механических частиц. Верхняя точка отводящего трубопровода располагается

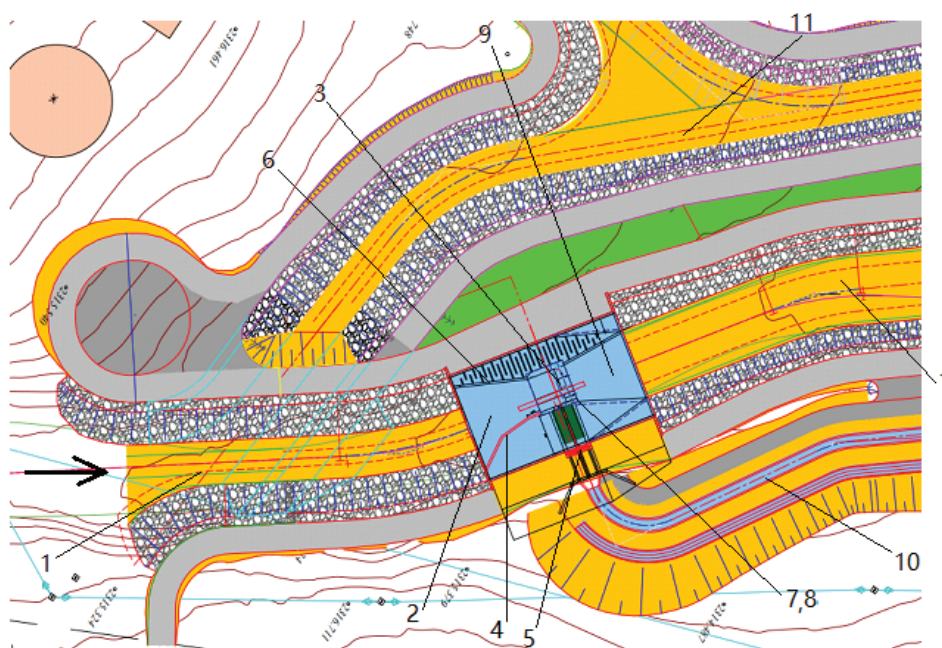


Рисунок 2 – Размещение водозаборного сооружения на участке местности: 1 – подводящее и отводящее зарегулированные русла; 2 – понур; 3 – подпорный створ; 4 – донный порог; 5 – водоприемники; 6 – автоводосливы; 7 – промывные отверстия; 8 – шугосброс; 9 – водобойный колодец; 10 – отводящий канал в сторону отстойника; 11 – обводное русло для сброса строительных расходов

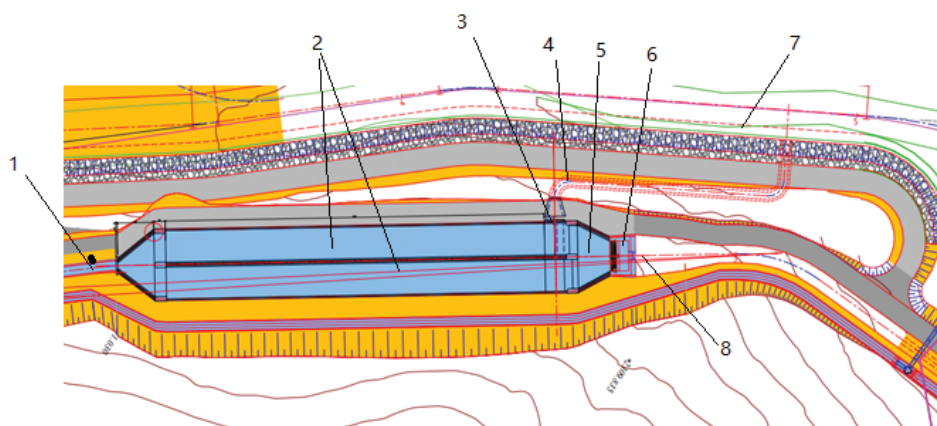


Рисунок 3 – Конструкция совмещённого отстойника с напорным бассейном: 1 – отводящий канал от водозаборного сооружения; 2 – камеры отстойника; 3 – сбросное отверстие; 4 – пульповод; 5 – аванкамера сопряжения; 6 – напорный бассейн; 7 – зарегулированный участок русла р. Барскоон; 8 – деривационный водовод

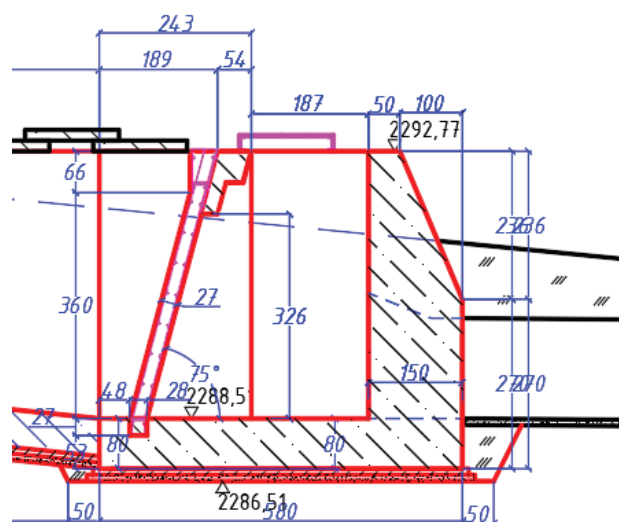


Рисунок 3 – Расчетная схема относительного размещения напорного бассейна и входного участка деривационного трубопровода

на 1,4 м ниже расчетного уровня воды в напорном бассейне, что гарантирует устойчивость гидроузла при изменениях водного режима.

Такой комплекс конструктивных решений способствует стабильному функционированию водозаборного узла и продлению срока службы гидроагрегатов за счёт минимизации механических нагрузок.

Выводы. Разработана и усовершенствована конструкция водозаборного гидроузла малой деривационной ГЭС, включающая береговой водоприёмник, двухкамерный отстойник, совмещённый с напорным бассейном, а также комплекс гидротехнических устройств, обеспечивающих надёжную подачу расчётных объёмов воды требуемого качества в деривационный водовод.

Совершенствование водозаборного сооружения реализовано за счёт оптимизации геометрических и гидравлических параметров его элементов, внедрения эффективных наносочистных и промывных устройств, что позволило повысить коэффициент водоотбора до 90 % и обеспечить гарантированную выработку электроэнергии в расчётных объёмах.

Таким образом, приведённые параметры основных элементов водозаборного гидроузла малой деривационной ГЭС обеспечивают надёжную подачу требуемого объёма воды заданного качества в деривационный водовод и далее – к гидроагрегатам. Это, в свою очередь, гарантирует стабильную и эффективную выработку электроэнергии в расчётных объёмах.

Поступила: 20.05.2025; рецензирована: 03.06.2025; принята: 05.06.2025.

Литература

1. Филончиков А.В. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках / А.В. Филончиков. Фрунзе: Кыргызстан, 1990. 376 с. URL: <https://arch.kyrlibnet.kg/?&npage=download&nadd=28557> (дата обращения: 21.05.2025).
2. Соболин Г.В. Земельно-водные ресурсы, гидрологическая характеристика рек и паспорта водозаборных узлов оросительных систем Чуйской долины / Г.В. Соболин, В.Г. Бубнов и др. Фрунзе: Кыргызский НИИ экономики агропрома, 1990. 278 с. URL: <https://www.riverbp.net/upload/iblock> (дата обращения: 22.05.2025).
3. Ботоканова Б.А. Приоритеты развития малой гидроэнергетики в Кыргызстане / Б.А. Ботоканова, Э. Усон кызы, Э.И. Исмаилов // Вестник КРСУ. 2023. Т. 23. № 8. С. 4–8. URL: <https://elibrary.ru/item.asp> (дата обращения: 02.06.2025).

4. *Лавров Н.П.* Методические указания к дипломному проекту «Расчёт и проектирование узла энергетических сооружений малой ГЭС» / Н.П. Лавров. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2000. 47 с. URL: <http://lib.krsu.edu.kg/uploads/files/public/96> (дата обращения: 23.05.2025).
5. *Логинов Г.И.* Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек / Г.И. Логинов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 196 с. URL: <http://lib.krsu.edu.kg/uploads/files/public/5878> (дата обращения: 20.05.2025).
6. *Логинов Г.И.* Совершенствование водозаборных гидроузлов ирригационно-энергетического назначения / Г.И. Логинов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2004. 36 с. URL: <https://arch.kyrlibnet.kg/?&npage=download&nadd=28557> (дата обращения: 24.05.2025).
7. *Лавров Н.П.* Рекомендуемые способы предотвращения попадания речных наносов и шуги в водоводы деривационных гидроэлектростанций / Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, А.В. Шипилов // Вестник Моск. энергетич. ин-та. 2019. № 5. С. 45–52. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41218790> (дата обращения: 25.05.2025).
8. *Лавров Н.П.* Пропускная способность промывного тракта водозаборного сооружения для деривационных ГЭС в зимнем режиме эксплуатации / Н.П. Лавров, А.В. Шипилов, Г.И. Логинов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 4 (39). С. 60–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19116756> (дата обращения: 28.05.2025).