



ГИДРО- ТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Ежемесячный
научно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РФ,

ОАО «РУСГИДРО»,

АССОЦИАЦИЯ «КОРПОРАЦИЯ ЕЭЭК»,

ЗАО НТФ «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»,

НП «НТС ЕЭС»

Основан в 1930 г.

№ 9

сентябрь

2013

Содержание

Проектирование, строительство, эксплуатация

Речицкий В. И., Пудов К. О. Уточнение деформационной модели основания бетонной плотины Богучанской ГЭС по данным натурных наблюдений

3

Волынчиков А. Н., Бурдюков Б. А., Газиев Э. Г. Поведение каменнонабросной плотины Богучанской ГЭС в период наполнения водохранилища

10

Безопасность гидротехнических сооружений

Речицкий В. И., Газиев Э. Г., Пудов К. О., Речицкий В. В., Черячукин А. П. Расчеты устойчивости и разработка мероприятий по укреплению склона на участке выходных порталов отводящих туннелей Рогунской ГЭС

18

Марчук А. Н., Марчук Н. А. О методике составления отчетов служб мониторинга гидротехнических сооружений в сейсмоопасных регионах . . .

26

Дискуссии

Манжиков Б. Ц., Момукеев С. О., Насиров М. Ж. Вероятностная оценка устойчивости горных склонов на участке Токтогульской ГЭС

29

Газиев Э. Г., Речицкий В. И. Рецензия на статью Манжикова Б. Ц., Момукеева С. О. и Насирова М. Ж. “Вероятностная оценка устойчивости горных склонов на участке Токтогульской ГЭС”

34

Трещалов Г. В. Применение свободнопоточных гидравлических турбин и возможности повышения их энергоэффективности

36

Тищенко А. Эффективное использование водноэнергетических запасов Иркутской области

40

Поздравление В. М. Шубину

46

За рубежом

Свинцов А. П., Аль-Харами Тами Хаиф. Применение резервуаров для повышения надежности тупиковых участков разветвленных сетей водоснабжения (на примере г. Аль-Дивания, Ирак)

47

Применение свободнопоточных гидравлических турбин и возможности повышения их энергоэффективности

Трещалов Г. В., инженер-гидроэнергетик (ООО “Memory Technology Central Asia”)

Рассмотрены варианты технических решений высокоеффективных свободнопоточных гидравлических турбин и возможности повышения их энергоэффективности благодаря применению гидродинамического эффекта усиления мощности потока.

Ключевые слова: энергия, энергоэффективность, мощность, турбина, свободнопоточный, поток, водяное колесо, глубина, гидродинамический эффект, обратная связь, гидравлический прыжок.

В связи с истощением запасов ископаемого топлива всё более актуальным становится вопрос об эффективном использовании энергетических ресурсов, увеличении доли возобновляемых экологически чистых источников энергии. В связи с этим очень выжны мероприятия по внедрению инновационных разработок и технологий для более эффективного использования энергоресурсов, в частности гидроэнергетического потенциала, а также развитие малой гидроэнергетики. Одним из направлений этой отрасли является разработка микроГЭС на основе свободнопоточных гидротурбин, использующих энергию водотока, без возведения плотин и создания водохранилищ.

Недостатком традиционных плотинных ГЭС, использующих потенциальную энергию водных потоков, является необходимость строительства плотины с сопутствующими этому огромными проблемами. Создание плотины непременно замедляет течение выше неё, вплоть до практически полной остановки. Это существенно ухудшает экологические условия водоёма, способствует его заболачиванию и омертвлению, накоплению наносов и постепенному заиливанию водохранилища. Плотина перегораживает русло, в паводок сдерживает его напор и потому должна обладать огромным запасом прочности.

Преимуществом ГЭС, построенных при плотинах, является то, что они способны почти полностью использовать всю энергию, обеспечиваемую располагаемым перепадом уровней, при этом соотношение скоростей потока в верхнем и нижнем бьефах может быть любым.

Как альтернатива напорным (плотинным) ГЭС свободнопоточные гидротурбины используют кинетическую энергию потока воды и не требуют постройки плотин, что позволяет избежать всех связанных с этим затрат и проблем, в том числе экологических. Соответственно, их стоимость и время монтажа значительно меньше. Как правило, размеры таких модулей относительно невелики, поэтому большую часть сборочных и испытательных работ можно выполнять в заводских условиях — непосредственно при их изготовлении. Недостатком та-

ких ГЭС является принципиальная невозможность извлечь всю кинетическую энергию потока, поскольку в таком случае поток придётся полностью остановить, и это будет уже не поток.

В силу невысокой стоимости и быстроты монтажа свободнопоточные ГЭС могут работать персонально — на конкретного потребителя, находящегося недалеко от установки, и такие агрегаты могут использовать лишь часть русла водотока, оставляя свободную часть для судоходства, беспрепятственной миграции рыб и прочих надобностей. Другие потребители, находящиеся ниже или выше по течению, могут получить необходимую им энергию с помощью таких же установок рядом с собой. Таким образом, электроснабжение децентрализуется и не требуется постройки дорогих многокилометровых ЛЭП с большими потерями, отчуждением земли под опоры и т.п.

Отбор энергии от свободнопоточной турбины возможен при помощи электрогенератора. Однако вследствие нестабильности и низкой частоты вращения такой турбины при работе на выделенную нагрузку возникает сложность в поддержании стабильных выходных параметров генератора (частоты и амплитуды выходного напряжения). Для стабилизации этих параметров требуется использование специальных дорогостоящих устройств — преобразователей, инверторов, мощных стабилизаторов, автоматических регуляторов частоты и т.п., а это существенно повышает стоимость проекта. В связи с этим в некоторых случаях для отбора мощности от турбины оправдано использование водяного насоса для закачки воды, что зачастую даже более востребовано в народном хозяйстве, чем выработка электроэнергии. Предполагается применение насоса объёмного действия (плунжерный или поршневой). Поскольку такие насосы являются низкооборотными и эффективность их работы некритична к частоте и стабильности вращения приводного вала, то в этом случае можно обойтись и без мультиплексора, что также упростит и удешевит конструкцию. Насос размещается на турбине или рядом с ней и для отбора мощности соединяется с выходным валом турбины при помощи цепной,

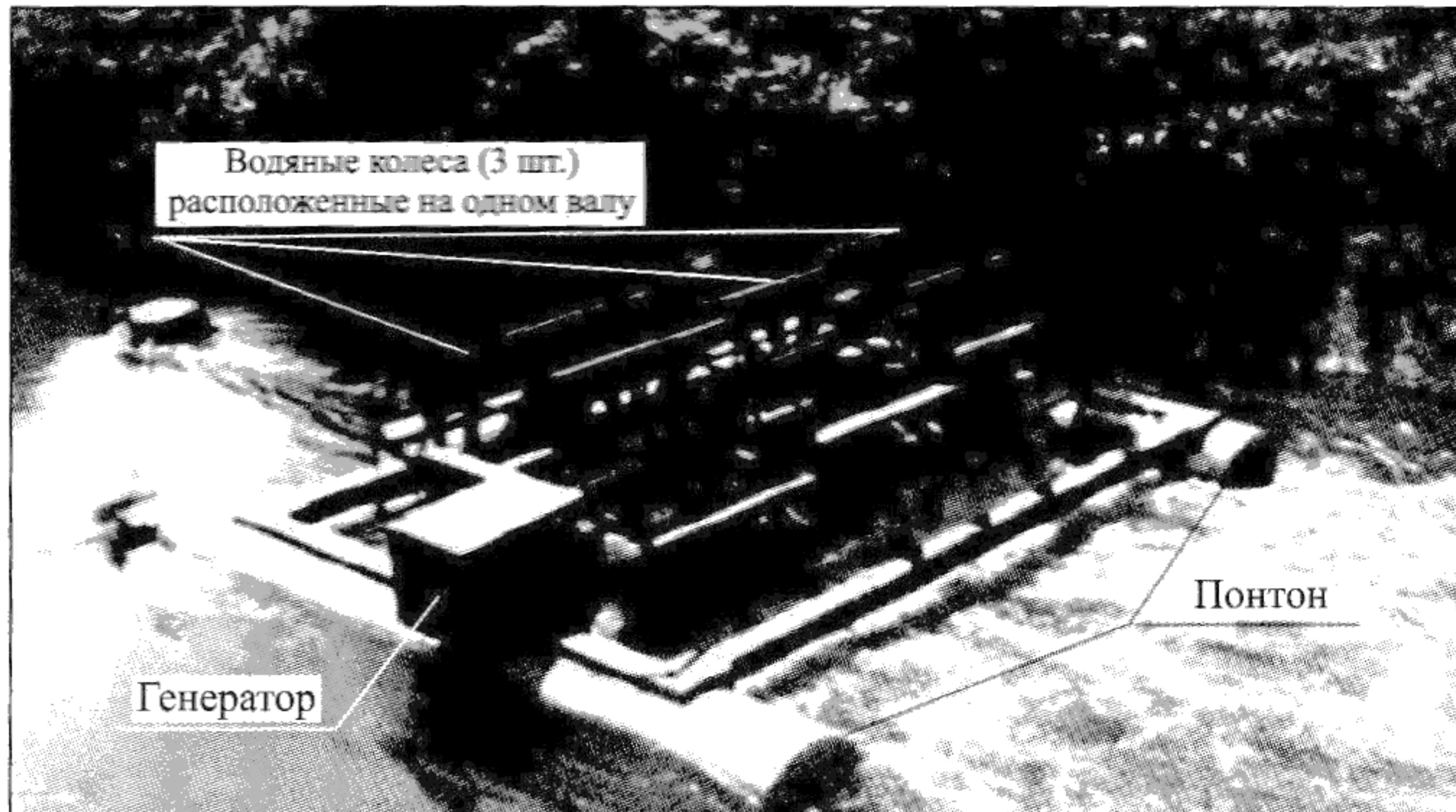


Рис. 1. Русловое (понтонное) размещение свободноточечной турбины — нижнебойных водяных колёс с параллельной компоновкой

ременной или карданной передачи. Входной патрубок насоса опускается в водоём (канал), в котором расположена турбина, выходной патрубок соединяется с напорным трубопроводом, подающим воду. Таким образом, возможно создание комплексного агрегата “гидротурбина-насос”. Следует отметить, что эта технология в перспективе может быть адаптирована путём подключения к турбине электрогенератора для производства электроэнергии, что позволит создавать на её базе малые ГЭС.

Для сравнения можно рассмотреть два возможных варианта размещения агрегата в водотоке.

Первый вариант [1]: весь агрегат может быть расположен на понтоне, находящемся в русле водотока (рис. 1). На понтоне возможно установить турбины как в параллельном, так и в последовательном порядке, что позволит повысить количество производимой энергии. Недостатком этого метода является необходимость использования понтона, что увеличивает стоимость всего агрегата. К тому же понтон перекрывает значительную часть русла водотока, ухудшая мобильность техобслуживания агрегата.

Второй вариант [2]: береговое размещение агрегата (рис. 2). При этом способе необходимо произвести строительные работы возле берега водотока с вбиванием свай в дно для крепления агрегата. В этом варианте грузоподъёмные механизмы для монтажа и демонтажа могут располагаться на берегу, что увеличивает оперативность техобслуживания агрегата. Однако при таком варианте размещения несколько ухудшается обтекание турбины водой, что негативно сказывается на мощности турбины. Кроме того, агрегат будет строго привязан к месту водотока, в отличие от понтона, который при необходимости и при минимальных затратах может быть передислоцирован на другой участок русла.

Наиболее оптимальный из этих вариантов может быть выбран в зависимости от конкретных условий выполнения проекта: наличия удобного участка русла, ширины водотока, возможностей изго-



Рис. 2. Береговое (консольное) размещение свободноточечной турбины — водяного колеса

тования понтона или монтажно-строительных работ для установки свай и закладных частей на берегу и т.п. Но в перспективе могут разрабатываться оба варианта компоновки, поскольку каждый из них имеет свои достоинства, и будут применяться в промышленности и сельском хозяйстве.

Несмотря на то что в некоторых случаях применение традиционных свободноточных гидротурбин оправдано [1, 2], в настоящее время они всё же не являются достаточно эффективными и рентабельными, и по этой причине их использование весьма ограничено. Однако современные научные исследования и технологии способны повысить энергоотдачу и энергоэффективность таких турбин. Некоторые не до конца ещё изученные гидравлические эффекты и явления, такие как гидравлический прыжок, гидравлический удар, эффект кавитации и др., которые в обычных условиях могут негативно влиять на гидравлические машины, иногда могут найти и полезное применение. Одним из вариантов увеличения энергоэффективности свободноточных турбин является использование особого гидродинамического эффекта, возникающего в безнапорном потоке жидкости при переходе потока через критическое состояние. Научная суть этого эффекта ранее была обоснована рядом публикаций в научных и научно-технических изданиях [3, 4, 5] где он был проанализирован как самостоятельное физическое явление. В материалах [5, 6, 7] также был проведён энергетический анализ и анализ возможности масштабного моделирования эффекта и были рассмотрены некоторые варианты гидравлических свободноточных турбин оригинальной конструкции, в которых возможно его применение.

В [5, 7] показано, что выходная мощность турбин, в которых может применяться этот гидродинамический эффект, в значительной степени и нелинейно зависит от высоты турбины, а также имеет ярко выраженный экстремум при определённых па-

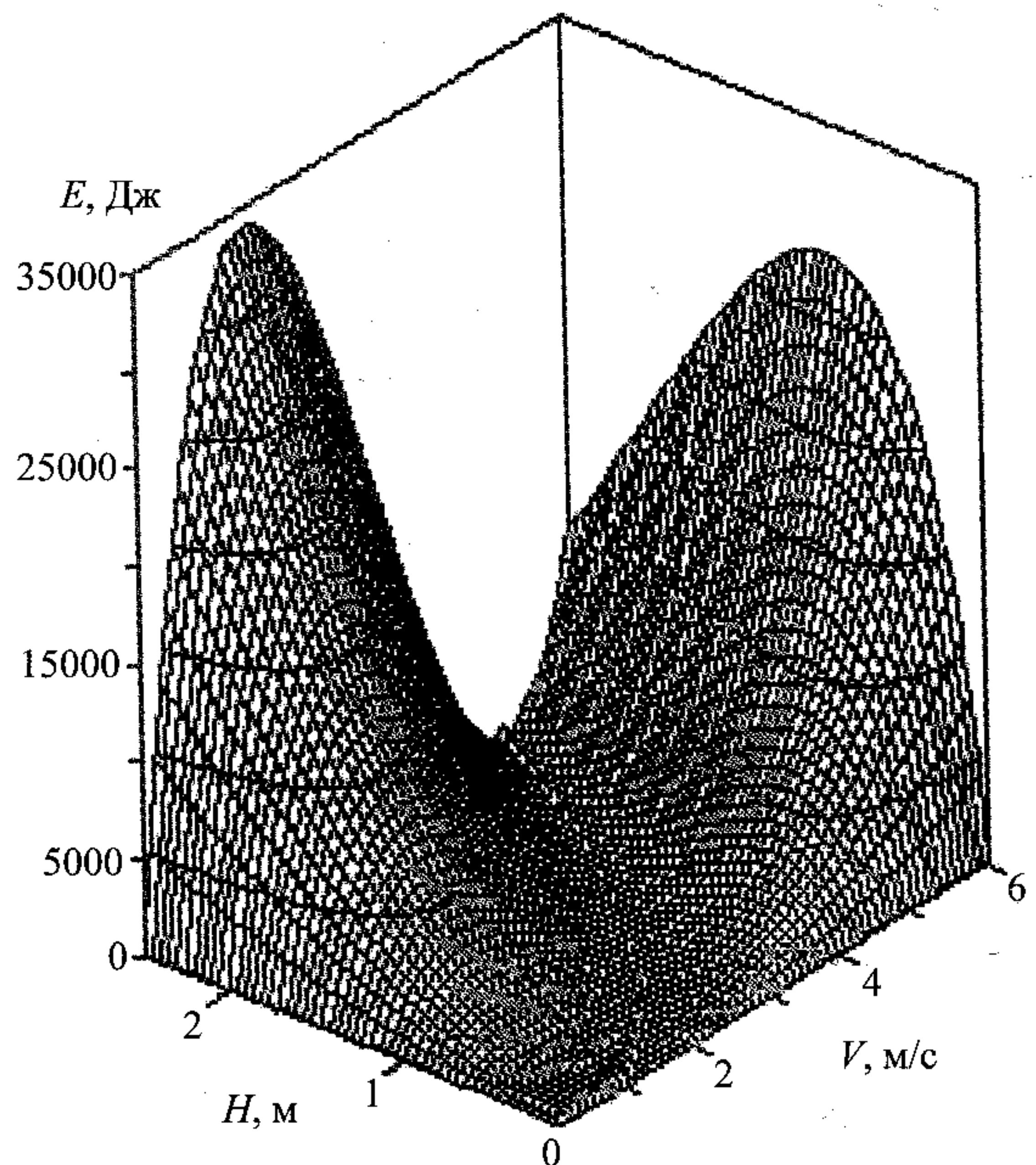


Рис. 3. Энергетическая диаграмма гидродинамического эффекта усиления мощности

раметрах потока. Это отражено в выведенной ранее уникальной формуле (1), позволяющей рассчитывать ориентировочную мощность таких турбин:

$$E = \rho \cdot L \times \left(H_1^2 \cdot V_1 \cdot g + H_1 \cdot \frac{V_1^3}{2} - \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{(H_1 \cdot V_1)^5 \cdot g^2} \right), \quad (1)$$

где E — энергия, забираемая турбиной из потока; ρ — плотность жидкости (воды); L — эффективная ширина турбины поперёк потока; H_1 — эффективная глубина входящего потока; V_1 — скорость входящего потока; g — ускорение свободного падения.

Энергетическая диаграмма, построенная по формуле (1), приведённая в [4] и изображённая на рис. 3, наглядно отражает нелинейную зависимость выходной мощности от высоты турбины — величины заглубления турбины в потоке или глубины входящего в турбину потока.

По предварительным подсчётам применение этой технологии в свободнопоточных гидравлических турбинах особой конструкции повысит мощность таких аппаратов в 5 – 10 раз по сравнению с традиционными свободнопоточными агрегатами, что позволит им конкурировать с традиционными источниками энергии и существенно расширит сферу их применения.

В настоящее время параллельно с фундаментальными исследованиями этого эффекта разрабатываются конструкции свободнопоточных гидротурбин, работающих на этом принципе, проводятся исследования с целью выдачи рекомендаций по оп-

тимизации конструирования и внедрения таких турбин.

Одним из возможных вариантов свободнопоточной гидротурбины, использующей вышеупомянутый гидродинамический эффект, может быть турбина, изображённая на рис. 4. Другие технические решения турбин, работающих на этом принципе, рассмотрены в [6, 8, 9].

Турбина представляет собой два нижнебойных водяных колеса, соединённых обратной связью, функции которой может выполнять цепная или ременная передача. Обратная связь обеспечивает вращение второго (правого) колеса несколько быстрее первого, за счёт чего происходит ускорение выходящего потока воды и возникает гидродинамический эффект усиления мощности. Поток в нижнем бьефе турбины имеет критические параметры — критическую глубину и скорость, и на выходе турбины образуется так называемый гидравлический прыжок. В критическом состоянии поток имеет минимальную удельную энергию и, как показано на рис. 4, энергия, забираемая турбиной, равна разнице суммарной энергии (потенциального и скоростного напоров) входящего потока и суммарной энергии выходящего (критического) потока.

Рассмотрим сравнительные преимущества этой технологии относительно плотинных и традиционных бесплотинных ГЭС:

низкая стоимость капиталложений — по приблизительным подсчётам 150 – 450 долл/кВт в отличие от плотинных ГЭС, где она составляет более 1000 долл/кВт, и традиционных свободнопоточных — от 3000 долл/кВт и выше;

кратчайшие сроки ввода в эксплуатацию (60 – 180 дней после начала строительства). Для плотинных станций этот срок определяется годами и десятилетиями;

отсутствие затрат в зоне затопления водохранилищем за неимением такого;

отсутствие водохранилища (экологический эффект). Свободнопоточные турбины работают как искусственные аэраторы воды, насыщающие воду кислородом, что благоприятно воздействует на фауну и в целом на экосистему водотока;

отсутствие вспомогательных механизмов и устройств (маслохозяйство, компрессорные установки, лекажные агрегаты, сервомоторы и т.п.), что повышает надежность;

минимальные затраты на обслуживание;

отсутствие необходимости создания инфраструктуры вокруг ГЭС (авто- и ж/д дороги, поселки строителей и эксплуатационников и т.п.);

отсутствие необходимости выбора створа плотины, т.е. возможность монтажа в любом удобном месте, мобильность;

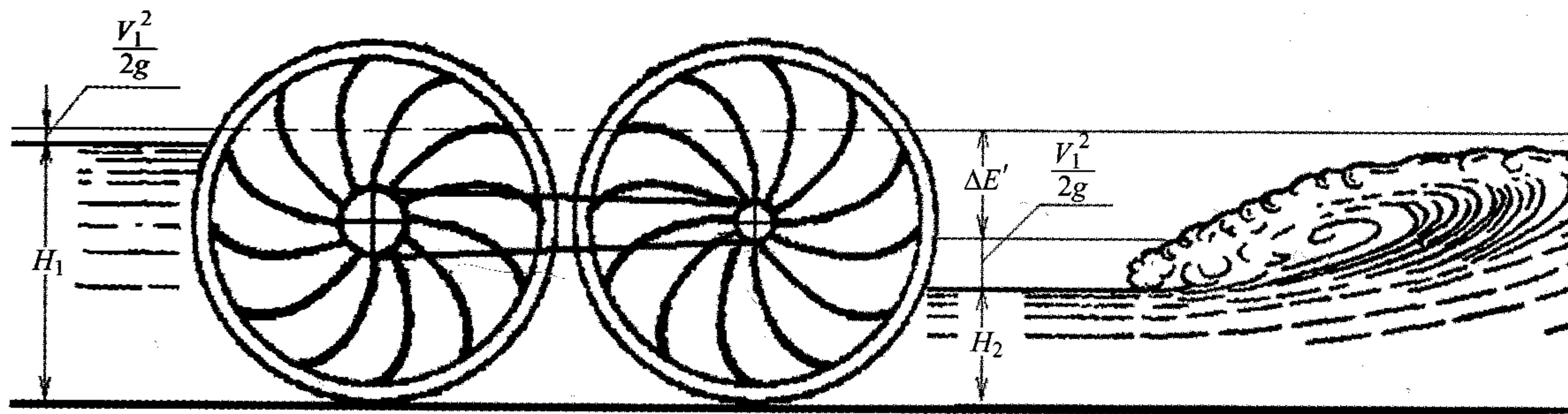


Рис. 4. Один из вариантов свободнопоточной турбины, использующей гидродинамический эффект усиления мощности потока и баланс энергии на входе и выходе турбины

приближенность к энергопотребителям (отсутствие ЛЭП и высоковольтных трансформаторов);

децентрализация выработки электроэнергии. Уменьшение концентрации генерирующих мощностей в одном локальном месте, что при аварии выводит из строя значительную часть энергогенерации (Чернобыльская АЭС, 1986 г.; Саяно-Шушенская ГЭС, 2009 г.; АЭС “Фукусима-1”, 2011 г.);

отсутствие угрозы затопления здания станции за неимением такового; подобный прецедент имел место на Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.);

отсутствие угрозы разрушения дамбы за неимением таковой (известны мировые прецеденты подобных катастроф: плотина Сент-Фрэнсис (США, 1928 г.); плотина Мальпассе (Франция, 1959 г.), плотина Вайонт (Италия, 1963 г.); плотины Баньцяо и Шиманьтань (Китай, 1975 г.); дамба Тетон (США, 1976 г.) и др.);

удельная мощность в 5 – 10 раз выше, чем у традиционных свободнопоточных турбин;

возможность применения в низкоскоростных потоках — от 0,2 до 2,0 м/с (рис. 3), в которых традиционные свободнопоточные ГЭС являются крайне малоэффективными. Следовательно, более полно используются гидроэнергетические ресурсы.

ВЫВОД

Разрабатываемая технология может быть вос требована во всём мире, в частности в тех районах, где существуют реки, каналы, поверхностные мор ские или океанские течения. Эта технология может быть востребована на трансграничных реках, где существует ограничение на строительство дамб и плотин для нужд традиционной напорной гидро энергетики.

Список литературы

- Беляков П. Ю. Современное состояние мировой гидроэлектроэнергетики и ее развитие // Электротехнические комплексы и системы управления. 2008. № 4. С. 18 – 22.
- Липкин В. И., Богомбаев Э. С. Микрогидроэлектростанции: пособие по применению. — Программа развития ООН, Бишкек — 2007. С. 33. ISBN 978 – 9967 – 24 – 643 – 0.
- Трещалов Г. В. Высокоэффективный способ извлечения энергии из безнапорного потока текущей жидкости на основе специфического гидродинамического эффекта // Экономика и производство. 2008. № 2. С. 71 – 77. <http://elibrary.ru/item.asp?id=11521752>.
- Treshchalov G. V. A highly efficient method for deriving energy from a free-flow liquid on the basis of the specific hydrodynamic effect // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology — ISJAEE. 2010. Vol. 12. P. 23 – 29. <http://elibrary.ru/item.asp?id=15616169>.
- Трещалов Г. В. Альтернативная гидроэнергетика // Сб. науч. тр. Lambert Academic Publishing, 2012. ISBN 978 – 3-659 – 22020 – 3.
- Трещалов Г. В., Гловацик О. Я., Карабаев Р. Э., Насырова Н. Р. Микрогэс на основе высокоэффективных свободнопоточных гидротурбин / Средне-азиатский научно-исследовательский ирригационный институт (САНИИРИ) // Материалы республиканской научно-практической конференции “Актуальные проблемы водного хозяйства и мелиорации орошаемых земель”, Ташкент, 2011. С. 298 – 301.
- Трещалов Г. В., Федюк Р. С. Анализ возможности натурного моделирования режимов работы гидравлической турбины, использующей гидродинамический эффект усиления мощности // Международный научный форум студентов, аспирантов и молодых учёных стран Азиатско-Тихоокеанского Региона (АТР), 14 – 17 мая 2012 г. / Дальневосточный федеральный университет (Владивосток). <http://elibrary.ru/item.asp?id=18166093>.
- Трещалов Г. В., Мукольянц А. А., Джуманов А. А. Применение гидродинамического эффекта для извлечения энергии из безнапорного потока жидкости // Материалы международной научно-практической конференции “Инновация — 2011”. Ташкент, 2011. С. 152 – 155.