

О НОВОМ ПОДХОДЕ К ВЫБОРУ МОЩНОСТИ, ЧИСЛА АГРЕГАТОВ НА ГЭС, ИХ КОЛИЧЕСТВА В КАСКАДЕ НА МАЛОЙ РЕКЕ

Рахимов Калый Рахимович к.т.н профессор КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044 г.Бишкек, пр. Ч. Т. Айтматова 66.

Раупов Насим Махмадшарипович аспирант КГТУ им. И. Разакова, Кыргызстан 720044 г. Бишкек пр. Ч. Т. Айтматова 66. E-mail: nasim.8484@list.ru

Цель статьи – новый подход к выбору мощности, числа агрегатов, их количества в каскаде на малой реке. Даны рекомендации по определению расчетного расхода воды, по выбору напора и числа агрегатов на ГЭС, отвечающего наилучшему использованию гидрографа реки. Рекомендовано принимать в каскаде ГЭС одинаковый тип станции, одинаковое оборудование, одинаковый расход, напор и мощность каждой ГЭС. Такая унификация позволяет значительно снизить стоимость каскада. Дана рекомендация для определения ориентировочной мощности ГЭС по среднему максимальному месячному расходу воды.

Ключевые слова: малая ГЭС, расчет, напор, расход, унификация, себестоимость, удельная стоимость, мощность, гидрограф, электроэнергия.

ON THE CHOICE OF CAPACITY, THE NUMBER OF UNITS AT HPPS, THEIR NUMBER IN A CASCADE ON A SMALL RIVER

Rakhimov Kaly R. Professor KSTU. I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aimatov av.66.

Raupov Naseem M. graduate student of KSTU I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch.Aitmatov av. 66. E-mail: nasim.8484@list.ru

Purpose of the article - The is to give recommendations on the choice of capacity, the number of units, their number in a cascade on a small river. Recommendations are given for determining the design water discharge, at the choice of pressure to determine the power of the hydroelectric power station and the number of units that meet the best use of the hydrograph of the

river. It is recommended to take the same type of station, the same equipment, the same flow, head and power of each HPP in the HPP cascade. This unification can significantly reduce the cost of the cascade.

Key words: small HPP, calculation, pressure, flow, unification, cost, unit cost.

Во всем мире в настоящее время придается большое значение использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Гидроэнергия относится к ВИЭ. Кыргызстан обладает огромными запасами гидроэнергии. Более 90% электроэнергии в Кыргызстане вырабатывается в основном на крупных гидростанциях. В перспективе будут строиться ГЭС и на малых и средних реках. Есть попытки их строить в сегодняшние дни. Опыт передовых стран показывает, что они используют максимально имеющиеся гидроресурсы. Так в Китае работают более 20 тысяч малых ГЭС, в Германии более 6400 ГЭС. В Китае ежегодно вводят в действие более 1000 малых ГЭС,

В статье предлагается новый подход к проектированию и строительству малых ГЭС. В связи с развитием мощных энергосистем стало возможным брать полную мощность, получаемую на солнечных, ветровых и малых гидравлических станциях по режиму солнечной радиации, силы ветра и стока малой реки без регулирования их мощности. Регулирование мощности энергосистемы согласно потреблению осуществляется на крупных станциях.

Новый подход заключается, во-первых, в полном использовании стока реки по естественному режиму, во вторых, в применении унифицированных проектов и оборудования, в третьих, в использовании каскадного метода проектирования. Первый подход увеличивает выработку электроэнергии в связи с полным использованием стока реки, второй и третий подходы позволяют значительно сократить капиталовложения в строительство ГЭС за счет применения одинаковых типов зданий, одинакового типа оборудования и принятия новых компоновочных решений, облегчают эксплуатацию: ведение единого режима работы, ремонт или замена оборудования и т. д.

Выбор мощности ГЭС.

Мощность каждой ГЭС определяется по известной формуле

$$P = 9.81 Q H \eta, \text{ кВт},$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$

H –напор воды, м

η - коэффициент полезного действия (0.8).

Выбор расчетного расхода воды

На малых реках обычно строят деривационные гидростанции, то есть сезонного регулирования стока реки отсутствует. Исходя из опыта строительства малых ГЭС, нужно полагать, что в дальнейшем также в основном на малых реках будут строиться деривационные ГЭС. Гидрограф на горных реках Тянь - Шаня и Памира сильно зависит от времени года. В зимнее время воды мало, в летнее время сток максимальный. При расчете по минимальному стоку мощность ГЭС получается маленькой, в летнее время придется вхолостую сбрасывать много воды. При расчете по максимальному стоку мощность ГЭС получается большой. В зимнее время, да весной и осенью часть агрегатов будет простаивать или будут работать в полсилы, а также стоимость ГЭС будет дороже. При расчете по среднему расходу воды за год будут иметь место оба вида недостатков, однако они проявляются в меньшей степени. Для определения оптимальной мощности ГЭС, необходимо определить на какой расход воды надо произвести расчет. Мы предлагаем использовать такой показатель как удельная стоимость одного киловатт-часа, и удельная стоимость одного киловатта.

Для определения минимального значения таких показателей составляется ряд вариантов, начиная с минимального расхода воды до максимального. Сравнение вариантов произведем на конкретном примере и сделаем выводы по выбору расчетного расхода по их результатам.

Новый подход к проектированию и использованию малых ГЭС должен быть иным. Они будут работать на мощную систему и их можно проектировать для полного использования стока, аналогично использованию солнечных и ветровых электростанций. Малые ГЭС можно проектировать без регулирования мощности. Малые ГЭС должны работать на полный расход воды круглый год, а в летний период на рассчитанный расход воды с холостым сбросом лишней воды. При таком проектировании полнее будет использован сток реки, быстрее будет окуплена стоимость станции. Расчетным расходом является расход воды, при котором выбранная ГЭС работает на полную мощность

$$Q_p = P/9.81H\eta$$

Выбор оптимального напора

Выбор напора зависит от рельефа местности, от выбранного типа турбины. При проектировании каскада ГЭС, их число зависит от выбранного напора. При наличии возможности использования больших напоров можно устанавливать меньшее число ГЭС и наоборот. Однако необходимо учитывать то, что создание больших напоров весьма затруднительно. Необходимо учесть опыт строительства наиболее крупных малых ГЭС в Кыргызстане, таких как Ысыккатынская, Калининская, Арашанская, построенных в последний период эры широкого строительства малых ГЭС. Они строились на напор около 60 метров. Для дальнейшего развития малой энергетики можно ориентировочно рекомендовать напор порядка 60 - 80 метров. Эта рекомендация необходима с точки зрения унификации проектирования и строительства малых и средних ГЭС. Другим доводом является номенклатура выпускаемых в СССР, далее в России гидротурбин рассчитанные на напоры до 75 м.

Выбор числа агрегатов на ГЭС

Выбор числа агрегатов на каждой ГЭС сильно зависит от расхода воды, напора и гидрографа. На крупных равнинных ГЭС обычно устанавливают большое число агрегатов до 20 и более. На крупных горных ГЭС устанавливают по 3 или 4 агрегата, как, например, на Нижнеларынском каскаде ГЭС. На ранее строившихся малых ГЭС устанавливали 1 или 2 агрегата при этом использовалась только некоторая часть воды. Это было связано с тем, что этого было достаточно, чтобы обеспечить освещение домов одного или нескольких сел. Учитывая характер гидрографов расходов воды в реках Кыргызстана, для более полного использования стока реки, больше подходит число агрегатов равное трем. С ноября месяца до апреля включительно минимальный сток (6 мес.), в мае, сентябре и октябре (3мес.) имеет место средний сток, а в июне, июле и августе (3 мес.) максимальный сток. Зимой работает один агрегат, весной и осенью работают два, а летом все три.

Выбор числа ГЭС в каскаде на реке или участке реки

Выбор числа ГЭС на реке или на участке реки зависит от уклонов, от рельефа местности от выбранных напоров ГЭС. Наиболее выгодно использовать участки с большими уклонами и наоборот участки с малыми уклонами требуют больше затрат на концентрацию напора.

Иногда раньше строились ГЭС в виде каскадов. Например, Аламединский каскад малых ГЭС, построенных на сбросном канале от Западного БЧК до Чумышского водохранилища. Нижнеларынский каскад мощных ГЭС на нижнем течении реки Нарын. Однако они проектировались и строились в основном по индивидуальным проектам на различные напоры, расходы и мощности.

При проектировании каскада ГЭС также нужен новый подход, не обязательно с каждой ГЭС воду сбрасывать в реку и снова строить плотину для забора воды на следующую ГЭС. Воду с ГЭС надо направлять сразу в деривацию следующей ГЭС. При таком подходе достаточно строить одну плотину для нескольких ГЭС (двух, трех и четырех). При таком проектировании намного меньше будут объемы строительных работ и капиталовложений.

Необходимо применять также новый подход, как унификация ГЭС, агрегатов и многих других. Так нами предлагается принять в каскаде ГЭС

все ГЭС одинаковой мощности, с одинаковыми напорами, расходами и одинаковым числом агрегатов. Число ГЭС может быть до 5 -10. Известно, что одна фирма собирается строить на реке Иссык-Ата 9 ГЭС.

Пример расчета каскада ГЭС на реке Чон - Аксу

Нами рассмотрены варианты строительства каскада ГЭС на небольшой реке Чон – Аксу. Река Чон-Аксу протекает по территории Иссык-Кульского района, Иссык-Кульской области. Она стекает с южных склонов хребта Кунгей-Ала-Тоо. Все ГЭС каскада рассмотрены с одинаковой мощностью, одинаковым напором и с одинаковыми агрегатами. Такое проектирование и строительство по унифицированным проектам позволит значительно удешевить стоимость всего каскада..

Некоторая работа была проделана в Институте водных проблем и гидроэнергетики Национальной Академии наук Кыргызской Республики. Ими были рассмотрены несколько вариантов каскада ГЭС на выше названной реке. Мы дополнительно составили различные варианты по мощности, по числу агрегатов и ГЭС, определили ориентировочные удельные показатели по экономичности, как удельная стоимость одного килоВатта и килоВатт-часа.

Река Чон-Аксу также как все реки Тянь-Шаня характеризуется малым стоком в зимнее время и высоким в летнее время. Средний максимальный месячный расход отличается от минимального, примерно, в семь раз. Средние расходы воды (м³/с) по месяцам приведены в таблице 1.

Таблица 1

Год	Среднемесячный расход куб. м/с по месяцам.												Сред. Год.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1938	1.82	1.85	1.87	2.35	4.42	3.97	9.63	7.82	3.58	2.47	1.87	1.83	3.62
2008	2.34	1.96	1.86	2.27	5.3	10.6	14.5	13.7	8.44	6.73	3.74	2.27	6.14
сред.	2.15	1.99	1.88	2.35	4,25	8.29	12.8	13.6	7.23	4.01	2.73	2.35	5.33

По гидрографу распределили год на три ступени. В трехступенчатом графике в зимнюю ступень отнесены месяцы с ноября по апрель включительно (6 мес.), во вторую ступень входят май, июнь, сентябрь, октябрь (4 мес.), в летнюю ступень входят июль, август (2 мес.). Гидрограф приведен на рисунке 1. Число дней, часов принято по календарю.

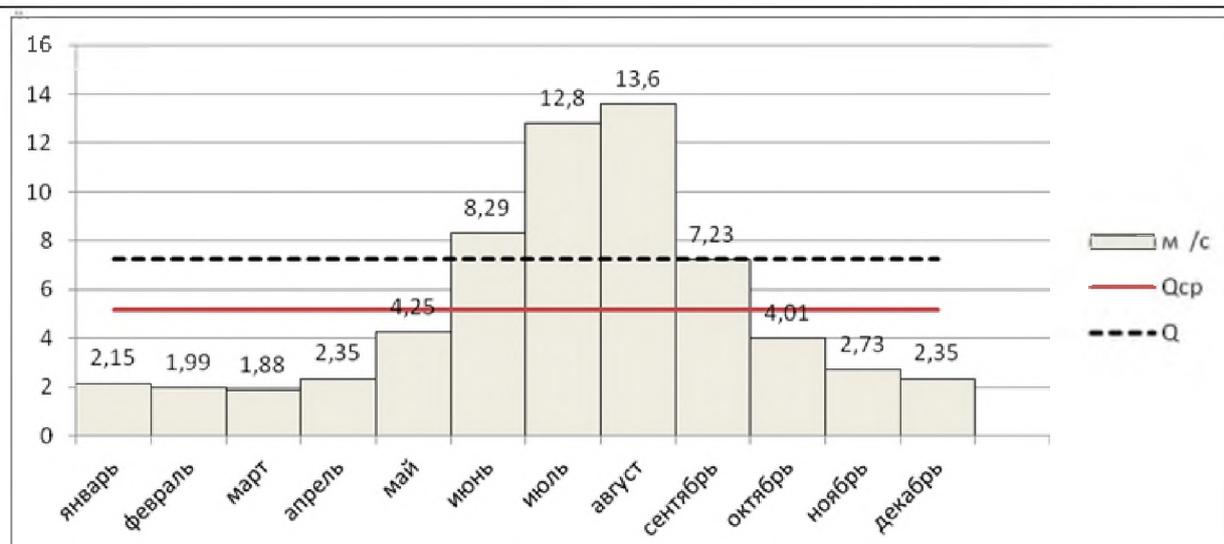


Рис 1. Среднемесячные расход воды реки Чон-Аксу

Институтом водных проблем был выбран участок реки для предполагаемого размещения каскада из двух малых ГЭС «Григорьевская -1 и 2. Расстояние между верхней плотиной и местом установки нижних агрегатов 9000 м. Геометрическая разность высот от верхней плотины до нижней гидростанции составляет 350 м. За расчетный напор принят перепад в 240 м. Ими рассмотрены также схемы размещения каскада из трех малых ГЭС или одной малой ГЭС «Григорьевская».

Ими определены установленные мощности и выработка электроэнергии для зимнего, весенне-осеннего и летнего расхода воды приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование ГЭС	Расход воды, м ³ /с	Напор воды, м	Установленная мощность, кВт	Выработанная энергия, кВт.ч
	Период -	ноябрь -	апрель	
Григорьевская-1,2	1.5	240	2400	7200000
	Период -	Май	и октябрь	
Григорьевская-1,2	3.0	240	4800	6000000
	Период -	Июнь	и сентябрь	
Григорьевская-1,2	6.0	240	9600	11600000
	Период -	июль	и август	
Григорьевская-1,2	9.0	240	14400	17200000
Итого				42000000

Согласно их расчетам каскад малых ГЭС на реке Чон-Аксу при общем напоре воды в 240 м и установленной мощности 14400 кВт может выработать 42 млн. кВт.ч электроэнергии.

Ими предложен вариант из двух ГЭС. Каждая ГЭС состоит из бассейна суточного регулирования с плотиной высотой 15 м; двух напорных трубопроводов четырех гидрогенераторов мощностью по 1200 кВт, помещения для гидроэнергетического оборудования. Общая мощность каскада $2 \times 4800 = 9600$ кВт. Ими определена выработка электроэнергии в 36.4 млн. кВт.час.

Нами для данного варианта рассмотрены 8 вариантов каскада ГЭС на выше рассмотренном участке реки Чон-Аксу, с установкой агрегатов по 800 и 1600 кВт, в одних вариантах (А) принят напор в 60 м и число ГЭС - 4, в других вариантах (Б) - 80 м и число ГЭС - 3.(таблица 3).

Таблица 3

Вариант	Мощность агрегата, кВт	Число агрегатов	Напор, м	Мощность ГЭС, кВт	Число ГЭС	Мощность каскада, кВт	Выработка эл. энергии, млн. кВт.час
1А	800	3	60	2400	4	9600	56
1Б	800	3	80	2400	3	7200	56
2А	800	4	60	3200	4	12800	60
2Б	800	4	80	3200	3	9600	60
3А	1600	3	60	4800	4	19200	72
3Б	1600	3	80	4800	3	14400	72
4А	1600	3	80	6400	4	25600	80

Для определения ориентировочных удельных показателей необходимо знать стоимость сооружения ГЭС. При проектировании и строительстве каскада ГЭС необходимо учесть постоянную часть затрат и переменную часть, учитывающую рост стоимости в зависимости от мощности ГЭС.

Анализ данных удельных стоимостей одного киловатта в мировой практике имеет достаточно широкий разброс. Среднее значение находится в пределах 1500 дол/кВт. Нами в расчетах приняты унифицированные варианты мощностей агрегатов, унифицированное оборудование, унифицированные варианты здания ГЭС. Мировая практика показывает, что при унификации стоимость ГЭС снижается до 25%. Нами принято снижение стоимости на 20% - Куд = 1200 дол/кВт. Опыт строительства шести малых унифицированных ГЭС в Индонезии показал, что строительная часть этих ГЭС имела одинаковый состав сооружений (водоподъемная плотина, деривационный водовод и здание станции из строительных модулей) и соответственно их стоимость почти не отличалась друг от друга. Общее же снижение стоимости строительства составило около 20%.

Ориентировочно нами принята из опыта мировой практики структура затрат, в которой доля строительных работ составляет около 50%. Эта часть затрат при сравнении вариантов принята постоянной. Стоимость ГЭС в варианте с установкой самых крупных агрегатов будет составлять 6400кВт x 1500 = 9.6 млн. долларов. С учетом унификации стоимость снижается на 20% и составит- 7.68 млн. долларов. Половина этой суммы на строительные работы составят Кпост = 3.84 млн. долларов. Стоимость плотины и здания ГЭС при меньших мощностях агрегатов почти не изменятся. Их стоимость принята такой же, как на ГЭС -6400 кВт. Переменная часть затрат принята пропорциональной мощности ГЭС:

$$K_{пер} = P_{гэс} \times 0.5 \text{ Куд}$$

Стоимость ГЭС равна

$$K_{гэс} = K_{пост} + K_{пер}$$

Данные расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Вариант	Мощность каскада ГЭС, кВт	Выработка каскада, млн. кВт.ч	Стоимость каскада ГЭС, млн. долл.	Стоимость кВт.час, доллар	Стоимость кВт, тыс.доллар
1А	9600	56	21.12	0.377	2.2
1Б	7200	56	15.84	0.282	2.5
2А	12800	60	23.4	0.384	1.828
2Б	9600	60	17.28	0.288	1.8
3А	19200	72	26.88	0.373	1.494
3Б	14400	72	20.16	0.28	1.5

4А	25600	80	30.72	0.384	1.2
----	-------	----	-------	-------	-----

Расчеты показывают, что минимум удельных затрат на один киловатт получаются при мощности ГЭС 4800 кВт в варианте 3 ГЭС с напором 80 м. Удельная стоимость одного киловатт-часа от мощности ГЭС мало зависит, однако зависит от напора. Чем больше напор, тем дешевле получается стоимость килоВатт-часа.

Таким образом, расчеты показали, что необходимо выбрать вариант ГЭС, мощностью 4800кВт на напор 80 метров.

Нами предлагается вариант с установкой вместе агрегатов 1200 устанавливать агрегаты по 1600 кВт по три на каждой ГЭС, строить вместо двух три ГЭС, тогда общая мощность каскада будет $3 \times 4800 = 14400$ кВт с выработкой 72 млн. кВт.ч. Большая выработка достигается за счет полного использования стока реки. При одинаковых значениях напора и расходов можно получено в два раза больше электроэнергии при работе ГЭС по естественному стоку по сравнению с расчетами Института водных проблем.

При принятии более высоких мощностей ввиду небольшого прироста выработки энергии себестоимость энергии возрастает.

При мощности 4800 кВт расход воды при напоре 80 метров должен составлять $7.65 \text{ м}^3 / \text{с}$. Такой расход назван расчетным расходом воды для данного гидрографа реки Чон-Аксу для выбранной мощности. Расчетный расход составил относительно максимального $K_p = 0.5625$. Расчеты сделанные по другим рекам показали, что этот показатель можно принять и для других рек в пределах $K_p = 0.5 - 0.7$. Для ориентировочного определения мощности ГЭС можно его рассчитать по максимальному расходу умноженного на коэффициент $K = 0.6$.

Выводы:

Предлагается новый подход к проектированию и строительству малых ГЭС, заключающееся во - первых, полному использованию стока реки по естественному режиму, во - вторых, в применении унифицированных проектов и оборудования, в - третьих, применению каскадного проектирования и строительства.

Рассмотрены вопросы выбора мощности, числа агрегатов, количества ГЭС в каскаде. Даны рекомендации по определению расчетного расхода воды, выбора напора, числа ГЭС в каскаде по результатам расчетов различных вариантов на конкретном примере. Предлагается проектировать все ГЭС каскада однотипными, с одинаковыми расходами, напорами, одинаковым числом агрегатов на каждой ГЭС. Ориентировочно стоимость каскада снижается примерно на 20%.

Список литературы

1. Беляков Ю. П., Рахимов К. Р. Малая гидроэнергетика Кыргызстана. Бишкек. 2009.
2. Рахимов К. Р., Беляков Ю. П. Гидроэнергетика Кыргызстана, Бишкек. КГТУ, 2006.
3. Гидроэнергетика. /Под ред. В. И. Обрезкова. 2-е издание. М., 1988.
4. Карелин В. Я., Сооружение и оборудование малых гидростанций. – М., Энергоатомиздат. 1986.
5. Малая гидроэнергетика. Под. Ред. Л. П. Михайлова. – М. Энергоатомиздат., 1989.
6. Маматканов Д. М., Божанова А. В., Романовский В. В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе, - Бишкек, Илим, 2006.