

ГИДРОТУРБИНЫ

Б. Л. Буннятян

Опыт эксплуатации микрогэс в Армении

Сплошная электрификация сельского хозяйства остро ставит вопрос строительства гидроэлектрических станций малых и средних мощностей. В связи с этим возникает большая потребность в соответствующих гидротурбинах. В настоящее время маломощные гидротурбины, применяемые в горных условиях, т. е. для работы при больших напорах и малых расходах, относительно мало изучены и пока еще не может быть речи об их серийном производстве.

Поэтому, в качестве малых турбин, пока применяются такие, которые по своей конструкции в общем однотипны с турбинами большой мощности. Что касается регулирования числа оборотов на них, то оно обычно производится ручным способом, вследствие отсутствия подходящего регулирующего органа, который можно было связать с прямым автоматическим регулятором и получить простой и дешевый агрегат [1].

Применение непрямого автоматического регулирования к малым турбинам слишком усложняет и удорожает установку. Кроме того, малые турбины в большинстве случаев имеют низкое число оборотов, вследствие чего возникает необходимость в специальном передаточном устройстве от турбины к генератору, что значительно снижает *кпд* установки и увеличивает ее стоимость. Кроме того, до настоящего времени в промышленности мало уделяется внимания разработке комплектного гидроагрегата с прямым автоматическим регулированием, который можно было бы широко применять при электрификации сельского хозяйства.

Выпускаемые по номенклатуре ВИГМ [2] маломощные быстроходные турбины пригодны лишь для равнинных рек, так как они рассчитаны на малые напоры и большие расходы, и совершенно неприемлемы для горных рек, где по местным условиям рациональнее использовать большие напоры, в связи с чем при данной мощности возможно использование водотоков с относительно небольшими расходами, порядка 150—300 л/сек. Поэтому Всесоюзная конференция по вопросу энергооборудования для электрификации сельского хозяйства, созванная в г. Ереване в 1948 году, отметила [3] неудовлет-

ворительное состояние производства гидротурбин малой мощности и предложила ряду организаций, в том числе Водно-энергетическому институту АН Арм. ССР, заняться исследованием агрегатов микрогэс производства Ереванского машиностроительного завода ММП Арм. ССР с целью разработки нового типа малой гидростанции, могущей получить широкое применение в горных условиях.

Опыт эксплуатации

В Армянской ССР до настоящего времени установлено свыше сорока микрогэс, часть которых работает нормально, а часть совершенно не работает. В первое время колхозы охотно применяли эту установку, а затем стали меньше интересоваться ею, так как значительное число установленных микрогэс не оправдало себя в работе. Причиной этого является периодическое обмеление водотока и уменьшение расходов воды ниже единственно допустимой для данной турбины величины, соответствующей расчетному режиму.

Заметим, что все установки этих сооружений почти однотипны [4] и состоят из следующих гидротехнических сооружений (рис. 1) Забор воды из реки осуществляется путем небольшой набросной дамбы (1), которая создает преграду потоку и направляет воду в деривационный канал. Эта дамба строится с таким расчетом, что во время паводков она будет сноситься, а после паводка будет вновь восстанавливаться.

По деривационному каналу (2), длиной, обычно, от 50 до 500 м, с уклоном дна в среднем $i_0=0,003$, вода подается в напорную камеру (3).

Деривационный канал в большинстве случаев строится без какой-либо облицовки, но иногда, когда канал проходит в песчаных грунтах, производится глиняная облицовка с мощением.

Напорная камера емкостью 8—10 м³ строится из бетона или каменной кладки, имеет донный промывник, водосливную стенку (4) для сброса излишка воды в реку через быстроток (5) и напорный трубопровод (6) длиной 10—12 м для подвода воды к турбине (7). По отводящему каналу (8) отработанная вода уходит в реку.

В разное время в тех или иных колхозах были установлены агрегаты микрогэс различных вариантов исполнения. Основные характеристики этих вариантов приведены в таблице 1.

Первые восемь установок, приведенные в таблице, имеют турбины старого типа (рис. 2-а), т. е. без направляющего аппарата. Остальные установки имеют турбины с направляющим аппаратом № 1 и № 2 (рис. 2б) и рабочим колесом марки К—245 с углом установки лопастей $\varphi=+10^\circ$ и $\varphi=0^\circ$.

На основании материалов обследования работы микрогэс в селах Мулки, Кучак, Басаргечар, Елпин, Азизбеков, Ахкенд, Джермук, Арени, Алучалу, Гелкенд, Чайкенд, Ахнидзор, Каракоюн, Б.

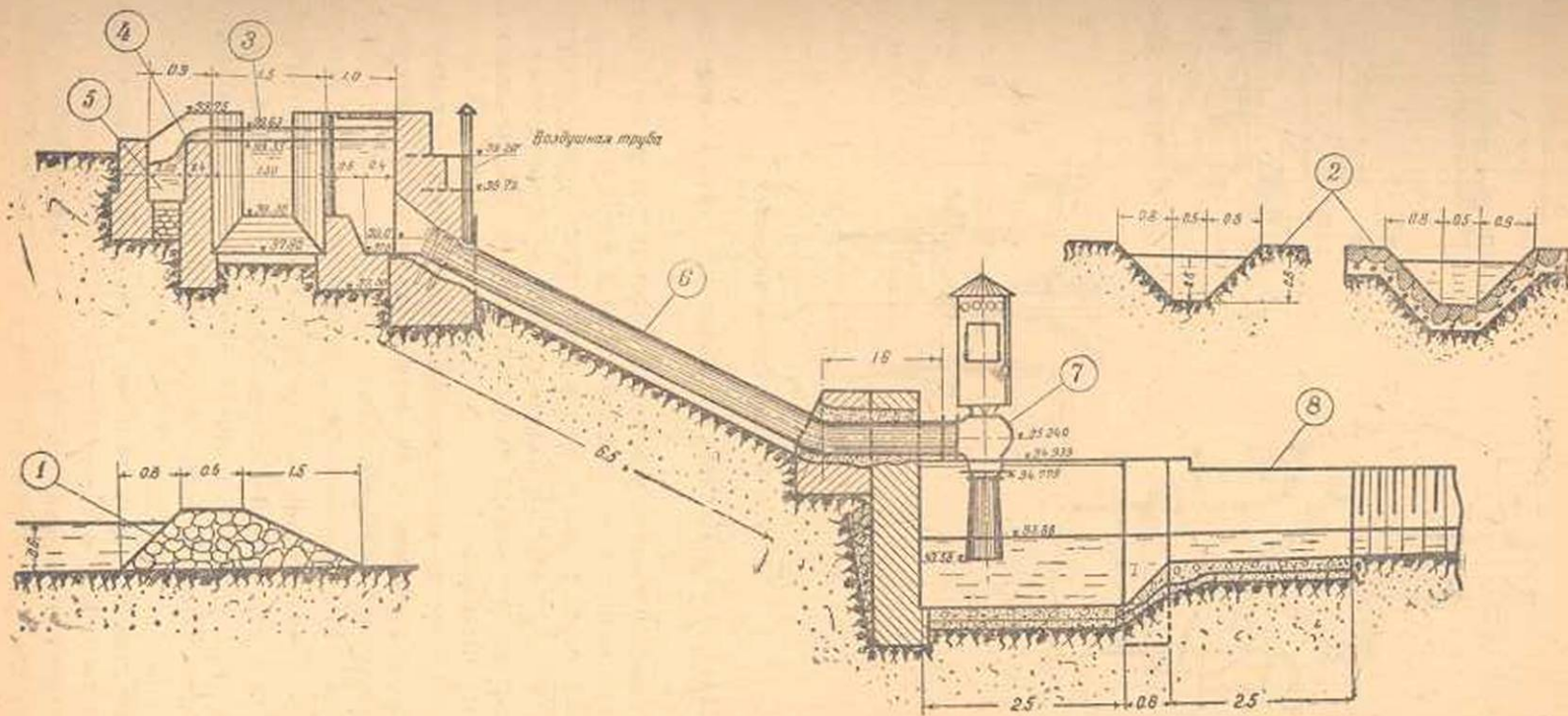


Рис. 1. Типовая схема установки микрогэс.

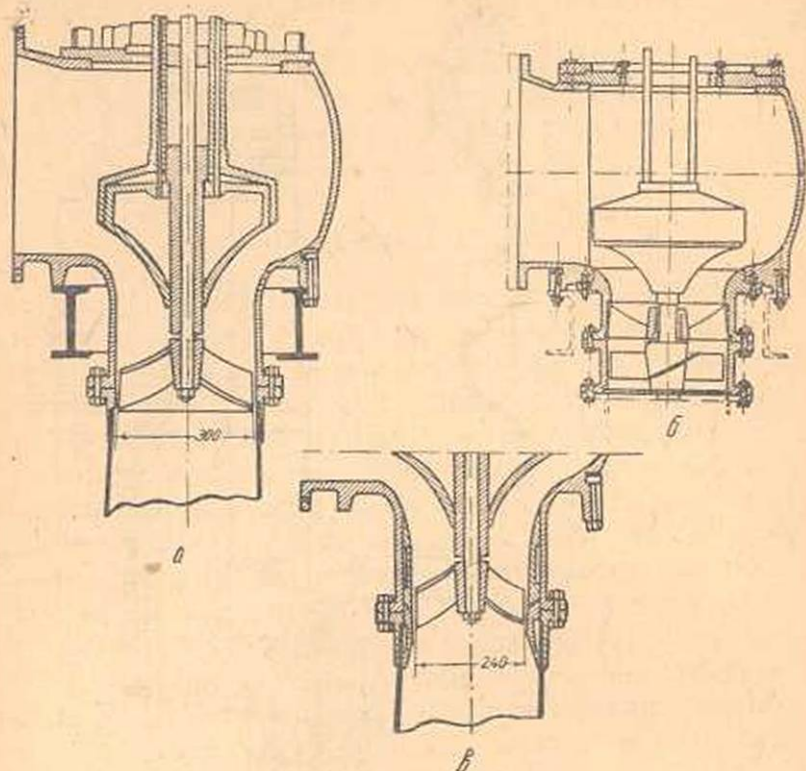


Рис. 2. Типы турбин микрогэс.

Мазра, Цахкаван и Паравакар можно наметить следующие группы установок.

Первая группа—это установки, которые обеспечены водой в течение всего года, т. е. средний расход в водотоке $Q_{b(ср)}$ больше, чем расход через турбину Q_t ; в этом случае через водослив напорной камеры сбрасывается излишек воды, благодаря чему поддерживается постоянство напора на установки, что обеспечивает нормальную работу агрегата.

Вторая группа—это установки, на которых расход в водотоке, изменяясь по временам года, может снижаться до расхода меньшего расчетного для турбины, т. е.

$$Q_{b(ср)} = Q_t.$$

Тогда, если разница между Q_t и $Q_{b(ср)}$ колеблется в пределах 10–15%, агрегат работает с пониженным числом оборотов. В случае увеличения разницы свыше 15% горизонт воды в напорной камере быстро снижается и на станции не обеспечивается необходимый напор.

В качестве примеров из числа обследованных гэс ниже даются установки первой группы: Мулки- и Басаргечаргэс с турбинами старого типа, без направляющего аппарата, Гезалдара- и Чайкендгэс с

Таблица 1

№ п.п.	Наименование установки	Название водотока	Тип турбины	Напор установки Н	Проектная мощность N квт	Средн. расх. водотока Qb(ср) л/сек.	Расход турбин Qт л/сек.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Мужки	Касах	Без напр. апар.	5,5	12,0	400	360
2	Басаргечар	Родники	"	5,5	12,0	400	360
3	Елния	Елния	"	5,2	12,0	200	360
4	Азизбеков	Азизбеков	"	5,2	12,0	230	360
5	Ахкенд	Сали	"	6,0	12,0	270	360
6	Джермук	Вост. Арпа	"	6,0	12,0	280	360
7	Кучак	Родники	"	5,3	12,0	260	360
8	Марц	Бабаджан	"	5,5	12,0	320	360
9	Арени (Арпа)	Арпа	$\varphi=10^{\circ}$	5,1	12,0	400	300
10	Катнахпюр	Дзорагет	$\varphi=10^{\circ}$	5,3	13,8	250	330
11	Алучалу	Ванкиджур	$\varphi=10^{\circ}$	5,0	9,5	240	290
12	Варденик (Гезалдара)	Гезалдара	$\varphi=10^{\circ}$	7	19,5	400	360
13	Гелкенд	Тарса	$\varphi=10^{\circ}$	6,5	15,5	400	300
14	Чайкенд	Тарса	$\varphi=10^{\circ}$	6,5	15,5	400	300
15	Ахидзор	Ахидзор	$\varphi=10^{\circ}$	5,0	12,7	120	250
16	Каракоюн	Каракоюн	$\varphi=0^{\circ}$	9,1	11,4	100	250
17	Б. Мазра	Мазра	$\varphi=10^{\circ}$	5,2	10,0	400	250
18	Цахкаван	Гасан	$\varphi=0^{\circ}$	7,2	12,0	400	230
19	Паравакар	Гасан	$\varphi=0^{\circ}$	7,2	12,0	400	230

Примечание: В графе 7 цифра 400 л/сек соответствует водотокам, имеющим круглогодичную обеспеченность расходов в 400 л/сек и выше.

турбинами нового типа, с направляющим аппаратом № 1, и Цахкаван-и Паравакаргэс с направляющим аппаратом № 2.

На всех этих установках обеспеченный круглый год расход несколько больше расчетного при работе агрегата на полную мощность; поэтому часть воды постоянно сбрасывается в обход турбины.

На указанных установках при расчетной нагрузке наблюдается устойчивая работа и поддерживается нормальное напряжение в сети. На установках с агрегатами микрогэс старого типа, в случае быстрого уменьшения нагрузки на 10—20%, число оборотов агрегатов падает с 1000 до 900—850 об/мин, а потом начинает возрастать до номинального числа оборотов; при этом расход уменьшается не больше чем на 10%.

Те же самые результаты дают и турбины микрогэс, имеющие направляющий аппарат № 1 и № 2; разница заключается лишь

в том, что понижение числа оборотов начинается после уменьшения нагрузки на 20%, а потом снижается быстрее, чем на турбине старого типа.

Такая работа турбины объясняется тем, что при малейшем опускании конуса, которое диктуется уменьшением нагрузки, входное сечение под кромкой конуса уменьшается, следовательно, уменьшается и расход воды, а сечение перед входом в рабочее колесо, при старом типе турбины, или перед входом в направляющий аппарат, при новом типе, остается без изменения. При этом получается такое соотношение гидравлических параметров, что возникают большие потери напора; последние приводят к тому, что при уменьшении расхода на 10—20%, по сравнению с расчетом агрегат развивает число оборотов, отличное от номинального; процесс регулирования становится неустойчивым и получается колебание напряжения в сети.

На основании сказанного можно прийти к выводу, что установки, относящиеся к первой группе, могут работать лишь при расчетной нагрузке.

Здесь следует отметить и то, что при эксплуатации турбин микрогэс, имеющих направляющий аппарат, возникают дополнительные затруднения, состоящие в необходимости частой очистки направляющего аппарата (Чайкенд, Гелкенд), каналы которого засоряются плавающими телами.

В худшем положении находятся установки второй группы в селах Елпин, Азизбеков, Кучак (турбина без направляющего аппарата), Алучалу, Ахнидзор (турбина с направляющим аппаратом № 1), Каракоюн (турбина с направляющим аппаратом № 2) и другие. Эти установки обеспечены расчетным расходом лишь 3—4 месяца в году, а остальные месяцы они не работают, так как расход воды в водотоке на 10—20% меньше расчетного.

Если для этих турбин по каталогу завода [5], при определенном напоре установки, дается расчетный расход, скажем, 300 л/сек, то проектировщики считали возможной [4] работу турбин также и при расходах 200—250 л/сек и даже меньших (установки Катнахпюр, Алучалу, Ахнидзор, Каракоюн и др.). Такой подход оказался неправильным по следующим причинам.

Установки в селах Азизбеков и Кучак обеспечены расходом воды 230—260 л/сек в течение девяти месяцев. Построенная в 1943 г. в сел. Азизбеков микрогэс с первых же дней эксплуатации из-за недостатка воды не работала.

Для выяснения причин этого явления была произведена следующая работа. Перед пуском агрегата были наполнены напорная камера и канал, после чего была открыта дроссельная задвижка у турбины и приключена нагрузка в 5 квт. Агрегат проработал 20 минут. Напряжение в сети было поднято до 160 вольт. В течение 20 минут горизонт воды в напорной камере полностью снизился, после чего вода входила в трубопровод без напора. Напряжение в сети

начало сильно снижаться. То же самое повторилось и при нагрузке в 11 квт. Сперва агрегат работал при нормальном напряжении, а потом напряжение постепенно снижалось по мере снижения горизонта воды в напорной камере.

С такими же фактами столкнулось Армсельэлектро в 1945 г. во время пуска микрогЭС в селении Кучак Апаранского района, где располагаемый расход воды не превышает 260 л/сек. В этом случае пришлось в камеру рабочего колеса ввести специальную втулку с внутренним диаметром 242 мм, срезав концы лопастей на 30 мм (рис. 2в). Пропускная способность турбины уменьшалась, и расход воды через турбины регулировался не открытием конуса, а проходным сечением рабочего колеса. После указанных операций агрегат стал подавать в сеть ток нормального напряжения и давать максимальную мощность в 7 квт. При этом расход воды, проходящей через турбину, был равен 260 л/сек, а напор—5,3 м, *кпд* агрегата получался равным 0,53.

Более детальной проверке подверглись установки в селах Елпин и Ахкенд. При испытании установки в сел. Елпин нагрузкой ставились были три группы осветительных сетей с суммарной мощностью 11,0 квт. При этой нагрузке напряжение на генераторе было 220/380 вольт, при числе оборотов агрегата 950 об/мин. После подключения еще дополнительной нагрузки в 600 ватт напряжение понизилось до 210/360 вольт. Это значит, что максимальной нагрузкой для данной установки является $N_{\phi} = 11,0$ квт при напоре $H = 5,2$ м. При этом расход, который измерялся на водосливе с тонкой стенкой, установленном в отводящем канале, был 350 л/сек.

Теоретическая мощность N_T определялась по формуле:

$$N = \frac{\gamma Q H}{75},$$

а *кпд* находился из выражения:

$$\eta = \frac{N_{\phi}}{N_T}.$$

Испытание производилось при четырех нагрузках. Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2

№ эксп.	Факт. мощность в квт	Напряжение на шинах генератора в вольтах	Расход м³/сек	Напор в м	Теоретич. мощность в квт	КПД
	N_{ϕ}		Q		N_T	η
1	11,0	230/380	0,350	5,2	17,8	0,62
2	7,68	216/370	0,325	5,15	16,4	0,47
3	6,40	204/340	0,316	5,15	15,9	0,40
4	3,6	142/240	0,296	5,10	14,8	0,245

Из таблицы видно, что при уменьшении расхода на 15% $\eta_{кнд}$ уменьшается на 60%, а мощность на 67%. Если эти данные сравнить с данными испытаний на установке села Кучак, то окажется, что при уменьшении диаметра рабочего колеса, т. е. уменьшении пропускной способности турбины, $\eta_{кнд}$ получает более высокое значение (0,51) по сравнению с неуменьшенным колесом при том же расходе, когда $\eta_{кнд} = 0,245$ (таблица 2). Отсюда можно сделать такой вывод: при уменьшении диаметра колеса проходное сечение становится меньше, чем сечение под кромкой конуса, вследствие чего на этом участке сохраняется конфузность в отличие от предыдущего случая, когда имело место расширение потока. Данные таблицы подтверждают вывод, что при расходе воды на 15% меньше расчетного агрегат работает с $\eta_{кнд}$, равным 0,24, т. е. практически не дает полезной мощности. Следовательно, работа турбины в таких условиях недопустима.

Необходимые типы микрогэс

Мелкие горные реки Армении, которые представляют энергетический интерес с точки зрения электрификации сельского хозяйства, имеют среднегодовой расход порядка 150—300 л/сек и уклоны 0,03 и выше. Многочисленность малых водотоков позволяет иметь большое количество мелких станций, для чего необходима организация массового производства соответствующих агрегатов, рассчитанных на работу при больших напорах (порядка 15—30 м) и малых расходах (150—300 л/сек). Наряду с этим нужно сказать, что энергоресурсы многих водотоков, в которых расходы порядка 350 л/сек и выше, т. е. обеспечены круглый год, используются нерационально из-за отсутствия подходящего агрегата.

С другой стороны, в настоящее время потребность колхозов в электроэнергии возросла, мощность микрогэс недостаточна для покрытия потребности даже одного села или колхоза.

Все это вместе взятое требует, с одной стороны, выявления водных энергетических ресурсов и определения числа и места установок малых гэс, а с другой стороны — получения рационального типа агрегата, удовлетворяющего местным условиям. С этой целью Водно-энергетическим институтом Академии наук Армянской ССР составлена „Схема энергоиспользования малых рек для электрификации сельского хозяйства Арм. ССР“ [6], согласно которой, на базе существующего оборудования, намечено построить гидроустановки с таким расчетом, чтобы мощность одной ступени была не менее 50 квт.

Использование водотоков, дающих меньшую мощность, найдено на данной стадии неэкономичным вследствие больших эксплуатационных расходов на единицу выработки ГЭС. Такое решение принято из-за отсутствия соответствующего типа агрегата с прямым

автоматическим регулированием, не требующего для эксплуатации специального эксплуатационного персонала.

В указанной „Схеме“ потребность в электроэнергии для среднего колхоза, подсчитанная на 1965 г., доходит до 40—50 квт. Поэтому, если до последнего времени под названием микрогЭС понимали агрегат мощностью до 10—20 квт, то теперь необходимо этот термин (под которым понимается гидротурбина с генератором на одном валу и с прямым автоматическим регулятором в общем кожухе, без специального здания станции) отнести к агрегатам мощностью 40—70 квт, а турбины мощностью больше 100 л. с. считать малыми турбинами.

Для удовлетворения нужд сельской электрификации необходимо создать серии турбин со стандартными рабочими колесами для разных мощностей. Если это удастся, то турбина должна быть с автоматическим прямым регулятором.

На основании материалов схемы использования малых рек составлена таблица 3, в которой приведены возможные комбинации из напоров и расходов при числе оборотов турбины 1000 в мин. и η ее от 0,8 до 0,85.

Ознакомление с таблицей приводит к выводу о возможности, в целях стандартизации, сгруппировать колеса в три группы, соответствующие мощностям в 40, 50 и 70 квт.

Учитывая, что указанные выше расходы воды приняты с обеспеченностью в 75%, и что отклонение от этой величины может достигать 50%, регулирующие органы турбины должны удовлетворять этому условию.

Далее, в соответствии с мощностью данной ступени, гидроагре-

Таблица 3

№ п.п.	Напор в мет. Н	Расход Q л/сек	Мощность		Коэффициент быстроход. Ns
			л. с.	квт N	
1	25	150	41,5	30,6	115
2	30	150	49,5	36,5	100
3	20	200	44,0	32,4	156
4	25	200	55,0	40,4	132
5	30	200	66,0	48,5	115
6	15	250	41,5	30,6	218
7	20	250	55,0	40,4	174
8	25	250	69,0	50,8	148
9	30	250	82,5	60,6	129
10	15	300	49,5	36,5	238
11	20	300	66,0	48,5	192
12	25	300	82,5	60,6	162
13	30	300	99	72,6	141

гат, представляющий стандартную турбину для трех указанных ступеней мощности, должен быть с простым, например прямым, автоматическим регулированием, обеспечивающим высокий η и устойчивые рабочие характеристики при различных расходах. Это, повидимому, может быть достигнуто за счет некоторого изменения рабочего колеса существующей турбины микрогэс и проточной части, подводящей воду к рабочему колесу.

Для решения поставленной задачи становится необходимым изучение процесса работы гидромашин с целью определения характера движения потока в турбине. Это изучение может быть проведено с помощью тщательных экспериментальных исследований как по определению внешних, так и внутренних характеристик турбины. Последние дают представление о характере движения жидкости и об основных закономерностях этого движения, на основании чего можно выбрать рациональное очертание проточного тракта турбины.

Достижение цели, заключающейся в создании турбины такого типа, должно привести к максимальному использованию природных энергоресурсов малых водотоков.

Гидро-электрическая лаборатория
Водно-энергетического института
Академии наук Армянской ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Егиазаров—Гидро-электростанции Армении, их роль в электрификации сельского хозяйства и основное направление развития производства оборудования для малых гидростанций. Доклад на Всесоюзной научно-технической сессии по вопросам электроэнергооборудования для электрификации сельского хозяйства. Изд. АН Арм. ССР, 1948.
2. Номенклатура гидротурбин Френсиса Каплана и пропеллерных. ВИГМ, 1946.
3. Материалы Всесоюзной научно-тех. сессии по вопросам электроэнергетич. оборудования для электрификации сельского хозяйства. Изд. АН Арм. ССР, 1948.
4. Материалы к техническим проектам микрогэс Армсельэлектро и Министерства коммунального хозяйства Арм. ССР.
5. А. Н. Регентов и М. А. Есаян—Гидроэлектрический агрегат „микрогэс“. Ереван, 1947.
6. Материалы к „Схеме энергоиспользования малых рек Арм. ССР для электрификации сельского хозяйства“. Водно-энергетический ин-т АН Арм. ССР, 1949.

Բ. Լ. Բուճիարյան

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՄԻԿՐՈԳԷՍԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՓՈՐՁԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դյուդատնտեսության էլեկտրիֆիկացման պահանջը բավարարելու համար անհրաժեշտ է օգտագործել այն լեռնային բազմաթիվ փոքր գետերը, որոնք ունեն վայրկյանում 150—300 լիտր ելք և տեղանքը թույլատրում է ստեղծել 15—30 մետր ջրի ճնշում: Այդ իրականացնելու համար անհրաժեշտ է ստեղծել համապատասխան հիդրոտուրբին, ընդ որում այդ տուրբինը պետք է ունենա ավտոմատիկ ուղղակի կանոնավորիչ և հնարավոր լինի նրա սերիական թողարկումը:

Դսյուժյուն ունեցող փոքր հզորությամբ հիդրոտուրբիններն իրենց կոնստրուկցիայով չեն տարբերվում մեծ տուրբիններից և նրանց կանոնավորումը կատարվում է ձեռքով, իսկ հաճախ ունենում են փոքր պտույտների թիվ, ուր և կարիք է զգացվում պտույտների փոխանցման հատուկ սարքավորում, որը և թանկացնում ու բարդացնում է ագրեգատը: Այդ տեսակետից նպատակահարմար կլինեն որոշ կոնստրուկտիվ փոփոխություններից հետո օգտագործել Երևանի մեքենաշինական գործարանի թողարկած միկրոգէսը կամ ստեղծել այդ տիպի մի նոր միկրոգէս ավելի մեծ հզորությամբ, բայց այնպիսին, որը կարողանաք աշխատել ջրի փոփոխական ելքերի և ավելի մեծ ճնշումների դեպքում:

Ուսումնասիրելով մի շարք ագրեգատների աշխատանքը տեղում պարզվել է, որ նախ այդ տուրբինն ունի շատ ցածր օգտակար գործողության գործակից (0,63) և ապա ջրի ելքը 15—16% պակսելու դեպքում տուրբինի օգտակար գործողության գործակիցը իջնում է մինչև 0,25: Բացի դրանից, ագրեգատի հզորությունն այնքան փոքր է, որ չի կարող բավարարել ժամանակակից կոլտոգի պահանջներին:

Հեղինակն արտահայտում է այն միտքը, որ անհրաժեշտ է ավելացնել միկրոգէսի հզորությունը և այն հասցնել մինչև 40—70 կ. վատի: Այդ պահանջում է ստեղծել համապատասխան տուրբին, որի Օ.Գ.Գ. լինի բավականաչափ կայուն տուրբինի փոփոխական ելքերի դեպքում, ընդ որում տուրբինը պետք է աշխատի 15—30 մետր ջրի ճնշմամբ և վայրկյանում 150—300 լիտր ելքերի համար և պետք է ունենա ուղղակի ավտոմատիկ կանոնավորման սարքավորում:

Նախնական տվյալների հիման վրա նշվում են ստեղծվելիք տուրբինների մատավոր տիպերը, որոնք պետք է որ բավարարեն ժամանակակից պահանջները: