ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XVIII, № 3, 1965 Серия технических наук

ГИДРОТЕХНИКА

А. К. АНАНЯН

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ СЕВАНО-РАЗДАНСКОГО КАСКАДА ГЭС РАБОТАЮЩИХ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ НА ПОНИЖЕННЫХ ПОПУСКАХ

В настоящее время начато строительство комплекса энергетических и водохозяйственных объектов, после завершения которых разрешится проблема сохранения озера Севан на высокой отметке, а также проблема энергетики и ирригации для нашей республики на ближайшие годы. С 1965 года намечается довести ежегодные попуски из озера Севан до 500 *млн. м*^{3} в год. Из них 120 *млн. м*^{3} должны быть использованы в зимнее время для покрытия пиков электроснабжения. Задача исследования заключается в определении того минимального расхода воды, который необходимо пропускать зимой по каналам и трубопроводам каскада ГЭС для практического предотвращения образования шуги и льда. В первой части статьи излагается приближенная методика расчета теплового баланса потока в канале и в напорном трубопроводе ГЭС и предлагается способ определения расхода шуги в канале и толщины льда, образующегося на внутренних стенках напорного трубопровода. Во второй части статьи приводится конкретный расчет применительно к каналам и трубопроводам Севан—Разданского каскада с учетом местных гидрометеорологических условий.

1. Севан-Раздинский каскад работает на попусках из высокогорного озера Севан. При расчетах, температура воды озера может быть принята, как заданная величина в начале деривации, независимо от объемов попусков. В условиях каскада имеет место чередование деривационных каналов и безнапорных тоннелей, довольно большой длины. Поэтому при расчете теплового режима в канале после тоннеля необходимо исходить из температуры воды при выходе потока из тоннеля. Как известно термический режим открытого водоема и канала формируется под воздействием теплообмена, который непрерывно происходит между водою и окружающей ее средой—атмосферой. Схематизируя рассмотрение термических процессов можно выделить два основных фактора: гидравлический, характеризуемый скоростью течения воды V или расходом Q воды и термический, характеризуемый интенсивностью изменения теплосодержания потока S.

В общем виде S определяется по формуле

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9 \cdot \frac{к.\ кал}{м^2\ час}. \qquad (1)$$

где теплоотдача испарением (формула Зайкова)

$$S_2 = 0{,}0083\,\rho\,(1 + 0{,}85\ W)\,(f_ш - f); \qquad (2)$$

теплоотдача конвекцией

$$S_4 = (2 + 10\sqrt{W})\,(t_{вод} - t_{возд}); \qquad (3)$$

теплоотдача излучением (формула Девика)

$$S_3 = 4{,}66 \cdot 10^{-8}\,[T^4_{возд}\,(1 - 0{,}9N)(0{,}253 + 0{,}322 \cdot 10^{-0{,}000\ldots}) + (T^4_{[illegible]} - T^4_{[illegible]}); \qquad (4)$$

суммарная прямая и рассеянная солнечная радиация без учета альбедо воды (формула Будыко)

$$S_1 + S_5 = S_0\,[1 - (1 - K_s)\,N]; \qquad (5)$$

теплообмен от работы сил внутреннего трения

$$S_6 = \frac{8430Qi}{B}; \qquad (6)$$

теплообмен между дном и водой $S_7 = 4$; теплоприход от притока внешних вод

$$S_8 = \frac{3600 \cdot 10^3\,Q_{[illegible]}\,(t_{[illegible]} - t_{пр})}{F}; \qquad (7)$$

теплоприход от попадающих из атмосферы осадков

$$S_9 = \Delta_0 \gamma_{вод} \cdot (t_{вод} - t_{воза}). \qquad (8)$$

Когда $S > 0$ происходит охлаждение водотока. При этом в водном потоке создаются условия для образования кристаллов внутриводного льда. Когда $S = 0$ охлаждение водотока компенсируется притоком тепла от солнечной радиации. Когда $S < 0$ шугообразование не происходит.

Кроме приведенных условий необходимо учесть также и следующее обстоятельство. С целью принятия современных эксплуатационных мероприятий наибольший интерес для водохозяйственных и гидроэнергетических объектов, представляет предсказание хода шуги на ближайший период времени. Прогнозы Гидрометслужбы среднесуточной температуры воздуха должны быть использованы для установления вероятности появления шуги. Натурные исследования показали, что интенсивное шугообразование происходит тогда, когда среднесуточная отрицательная температура воздуха держится ниже определенного предела в течение соответствующего промежутка времени.

Опыты в натурных условиях показали, что продолжительность непрерывного шугохода в каналах и реках совпадает с периодом стояния отрицательных температур воздуха в зоне от $-10°$С

до 15 С [1]. Эта температура должна держаться более двух-трех дней, а температура поверхности воды, должна приближаться к 0°С (при прочих одинаковых метеорологических условиях). Исследования [2] показали, что для образования шуги необходимо, чтобы сумма среднесуточной температуры воздуха превышала определенный предел. Зависимость числа шугоносных дней за месяц, от суммы среднесуточных отрицательных температур воздуха рекомендуется определять по формуле [2]

$$n = 0{,}35\,|\Sigma\,(-T_{возд})|^2, \qquad (9)$$

где n — число шугоносных дней, $\Sigma\,(-T_{возд})$ — сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха. Формулой (9) рекомендуется пользоваться при $\Sigma(-T_{возд})>0$ так как только при этих условиях наблюдается образование шуги в натурных условиях [2].

Кроме того, при расчетах рекомендуется сумму отрицательных температур воздуха принимать ниже определенного предела (например, ниже—4 С), принимая тем самым эту границу за условный нуль [1, 2].

После учета указанных выше условий расход шуги, который может образоваться в потоке с открытой водной поверхностью длиной L, шириной B и при теплоотдаче S определяется по формуле

$$Q_ш = \frac{SBL}{80\,\gamma_ш} \cdots \frac{n^3}{час}. \qquad (10)$$

В этой формуле не учтена балльность шугохода, т. е. сплошность шугового ковра. В том случае когда поток проходит через тоннель довольно большой длины возможно, что произойдет некоторое повышение температуры воды. После выхода потока из тоннеля в открытый канал необходимо учитывать температуру воды на выходе из тоннеля.

Из условия теплового баланса на участке канала длиной L можно получить выражение для температуры воды в конце участка, если известна температура воды в его начале, а также величину теплоотдачи с открытой водной поверхности и удельный расход воды в канале [2]

$$t_{вод} = t^0_{вод} - \frac{SL}{c\gamma\,q}, \qquad (11)$$

где $t^0_{вод}$ — температура воды в начальном сечении (например, на выходе из тоннеля).

Пользуясь формулой (11) можно установить расстояние сечения канала, в котором теплоотдача равняется теплопритоку.

Зная местоположение сечения канала с нулевой температурой воды, расход шуги за этим сечением можно определить по формуле

$$Q_ш = \sum_0^t \frac{VS}{r} \Delta t \frac{m}{м\text{-сутки}}, \quad (12)$$

где Δt — элементарный интервал времени.

В том случае, когда метеорологические условия по длине канала меняются, расход шуги в рассматриваемом створе определяется по формуле:

$$Q_ш = Q_0 + \frac{SL}{r} \frac{m}{м\text{-сутки}}, \quad (13)$$

где $Q_ш$ — расход шуги в предшествующем расчетном створе;

L — длина между расчетными створами в метрах.

В формулах (10) и (12) не учитывается балльность шугохода и толщина слоя шуги. С учетом этих элементов расход шуги можно определить по формуле

$$Q_ш = \gamma B \delta V a_0, \quad (14)$$

где a_0 — плотность шуги.

Обозначая свободную от шуги часть поверхности воды через $(1-\delta)$, расход шуги в канале шириной B можно выразить следующим образом:

$$Q_ш = \frac{SL}{r} B(1-\delta). \quad (15)$$

Приравнивая (14) и (15) получим следующую формулу выведенную К. Н. Россинским.

$$\delta = \frac{Q_0}{A + Q_0}, \quad (16)$$

где

$$A = \gamma B V a_0 - \frac{SL}{r} = Q_0.$$

По натурным наблюдениям К. Н. Россинским установлено, что толщина слоя шуги изменяется в зависимости от балльности шугохода только до известного предела (рис. 1). При дальнейшем увеличении балльности толщина слоя шуги δ остается неизменной. При этом плотность шуги $a_0 = 0{,}55$. Принимая $\gamma_ш = 0{,}92$ *тн/м*^{3}, а скорость потока V выражая в *м/сут.* формулу (15) можно представить в следующем виде (ф-ла К. Н. Россинского):

$$Q_ш = \frac{13100\, BVQ_0}{13100V + Q_0} \; тн\,сут. \quad (17)$$

Этой формулой мы и будем пользоваться для расчета шуги в каналах каскада. Без учета балльности шугохода можно пользоваться и формулой (10).

2. При известных размерах трубопровода и заданных начальных условиях, температуру воды в любом сечении трубы можно определить по формуле [3]:

$$\ln \frac{Kt_{возд} + \frac{rV}{427} - Kt_0}{Kt_{возд} - \frac{rV}{427} - Kt_{возд}} = \frac{\pi Kl d_н}{Q \gamma_{возд}}, \qquad (18)$$

где t_0 — средняя по сечению температура воды в начальном сечении трубопровода; $t_{возд}$ — то же в конечном сечении. Остальные обозначения известны.

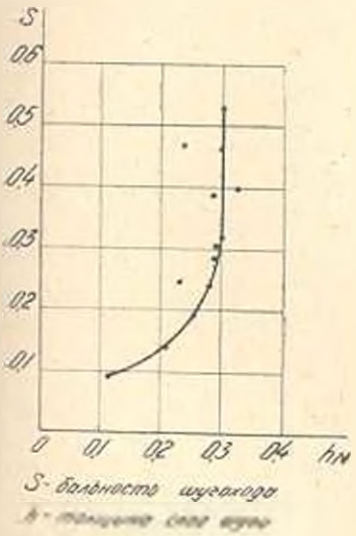

Рис. 1.

Общий суммарный коэффициент теплопроводности через многослойную стенку определяется по формуле

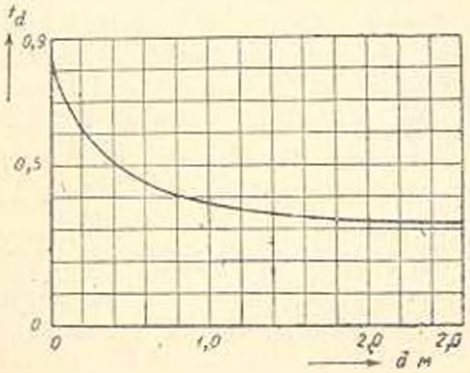

Рис. 2.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_в}{\alpha_2 D} + d_н\left(\frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{D}{d_в} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{D_{из}}{D}\right)}. \qquad (19)$$

В случае отсутствия изоляции второй член, стоящий в скобках знаменателя (19) обращается в нуль. Коэффициент отдачи тепла от воды к стенке трубопровода определяется по формуле

$$\alpha_1 = 13600 f_d f_t V^{0,75}. \qquad (20)$$

где f_d — коэффициент, зависящий от внутреннего диаметра трубы (рис. 2);

f_t — коэффициент, зависящий от температуры воды и внутренней поверхности стенок ($f_t = 0{,}212$, когда температура внутренней стенки трубы равняется 0 С).

Коэффициент теплоотдачи от наружной стенки трубы в атмосферу определяется по формуле

$$\alpha_2 = \frac{4{,}8 W^{0,3}}{D^{0,3}}. \qquad (21)$$

Когда приток тепла к стенке трубопровода при низких температурах воды оказывается меньше теплопотерь в окружающую среду, на внутренней стенке трубы начинается образование льда. Это условие выражается следующим неравенством [4]

$$z_1 t_{вод} < K t_{возд}. \qquad (22)$$

Решая выражение (22) относительно $t_{вод}$, получим температуру воды в начале льдообразования. При дальнейшем понижении температуры следует ожидать появление льда уже на стенках трубопровода. Обозначим эту температуру через $t_л$. Тогда можем написать:

$$t_л < \frac{K}{z_1} t_{возд}. \qquad (23)$$

Нарастание толщины льда в данном сечении трубопровода за время $\Delta\tau$ определяется по формуле

$$\Delta\delta = \frac{K t_{возд} - z_1 t_л}{\gamma r_л} \Delta\tau. \qquad (24)$$

3. Основные исходные данные для расчета были взяты из многочисленных наблюдений по температуре и влажности воздуха, скорости ветра, радиационному балансу водной поверхности, облачности зимнего периода, температуре воды и других гидрометеорологических элементов, полученных на стационарных станциях (Севан, Разлан, Фонтан) Управлением Гидрометслужбы. Эти данные опубликованы в ежегодниках ГУГМС. Кроме того, были использованы результаты многолетних наблюдений по температуре воды и воздуха, а также шуговых явлений, по трассе Севан-Раздапского каскада, выполненных Энергоуправлением СНХ Армянской ССР.

Перечисленные выше гидрометеорологические элементы тщательно измерены в январе 1964 г. Отметим, что зима 1963—1964 года была холодная, поэтому данные для расчета зимнего режима каскада являются характерными. Институтом водных проблем АН АрмССР дополнительно измерялись температуры воды и воздуха, а также абсолютная и относительная влажность воздуха и скорость ветра в различных пунктах деривации каскада. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Температуры воздуха, воды и влажность воздуха по длине Севан-Раздапского каскада ГЭС, измеренные 8.II 1964 г. в дневное время*

Створ	$t_{возд}$ °C	$t_{воды}$ °C	Абсолютная влажность	
			по воде *мм*	по воздуху *мм*
Плотина „Ахта", начало канала Гюмуш ГЭС	—5,3	0,5	2,7	4,9
Лусакан, мост на канале	—5,8	0,3	2,5	4,8
Напорный бассейн Гюмуш ГЭС	—5,9	0,3—0,4	2,5	3,2
Арзни—канала (Чаткаран)	—3,3	0,3	3,2	4,8

* Скорость ветра 2—3 *м/сек*, облачность 10 баллов (снегопад).

Результат измерения температуры воды и воздуха у водоприемника и у выходного портала отводящего тоннеля Севанской ГЭС приведены в табл. 2.

Таблица 2

Температуры воздуха и воды в °С у водоприемника и на выходе из тоннеля (длина тоннеля 5200 *м*) Севанской ГЭС, измеренные 15.II 1964 г. в дневное время

Среда	Водоприемник Севанской ГЭС	Выходной портал тоннеля Севанской ГЭС	г. Раздан (мост)
Воздух	—12	—7	—5,8
Вода	0,4	0,6	0,3

Из данных таблицы 2 видно, что после прохождения Севанской воды по тоннелю длиною 5200 *м* температура ее с 0,4 С повышается до 0,6 С. После прохождения этой же воды по руслу реки Раздан, температура снижается до 0,3 С.

В табл. 3 приведены значения средне-многолетних скоростей ветра на гидрометеорологических постах Фонтан, Раздан и Севан. В табл. 4 приведены значения облачности (в долях единицы) на посту Раздан измеренные Гидрометслужбой в январе 1964 г. В табл. 5 приведены значения прямой и рассеянной радиации водной поверхности

Таблица 3

Средне-многолетняя скорость ветра (*м/сек*) на высоте флюгера

Пункт наблюдения	Месяцы					
	I	II	III	X	XI	XII
с. Фонтан (1935—1964) высота флюгера 8,8 *м*	2,4	2,6	2,9	2,3	2,3	2,3
г. Раздан 1929—1961) высота флюгера 8 *м*	2,1	2,7	2,7	2,2	2,2	2,2
г. Севан (1927—1964) высота флюгера 8 *м*	4,2	4,3	3,8	2,7	3,3	4,0

Таблица 4

Облачность (в долях единицы) измеренная в январе 1964 г. на посту Раздан

Облачность	Декады (январь)	Часы наблюдений				*Ncp.*	Примечание
		1	7	13	19		
N	I	0,59	0,48	0,16	0,32	0,4	Средняя облачность *N* 0,5
	II	0,44	0,56	0,70	0,56	0,56	
	III	0,45	0,43	0,64	0,51	0,51	

на Севане. Для расчета зимнего режима канала Атарбекянской ГЭС исходные данные взяты по данным постов Севан и Раздан. Для рас-

Таблица 5

Суммарная радиация водной поверхности, измеренная на Севане*

Суммарная радиация	Годы									
	1958		1959		1960		1961		1962	
	I	XII	I	XII	I	XII	I	XII	I	XII
S_{1-2}	81,5	71	93,0	73	91,5	90	93	70	109	77,0

* Средняя радиация в январе 94 $\frac{ккал}{м^2 \cdot час}$. Средняя радиация в декабре 70 $\frac{ккал}{м^2 \cdot час}$

чета зимнего режима деривации и напорного трубопровода Гюмушской ГЭС исходные данные взяты по постам Раздан и Канакер.

4. Ниже приводится расчет для канала Атарбекянской ГЭС, как наиболее характерного участка деривации каскада. Основная задача расчета заключается в определении минимального расхода воды, при котором образование шуги практически исключается. Поставленная задача решается методом последовательного приближения. Задаемся несколькими значениями расхода воды в канале. Для каждого заданного расхода определяем термический режим потока по длине канала и устанавливаем возможность образования шуги.

Исходные данные расчета: Температура воздуха $t_{возд} = -14$ С; температура воды в канале после выхода потока из тоннеля $t_{вых} = 0{,}5$ С; упругость паров содержащихся в воздухе $f_в = 4{,}9$ *мм*; упругость паров отвечающих температуре водной поверхности $f = 2{,}7$ *мм*; скорость ветра $W = 1{,}0$ *м/сек*; облачность зимнего периода $N = 0{,}5$; скрытая теплота парообразования $\gamma = 595$ *ккал/кг*; удельный вес шуги $\gamma_ш = 920$ *кг/м*^{3}; длина канала $L = 3700$ *м*, уклон дна канала $i = 0{,}0004$; ширина канала по верху $B = 5{,}3$ *м*.

В первом приближении задаемся минимальным расходом $Q = 1{,}7$ *м*^{3}*/сек*. Проверим будет ли при этом расходе иметь место шугообразование в канале.

По формулам (2)—(8) определяем элементы теплового баланса воды в канале (S_2 и S_8 в виду их малости не учитываются). В результате получаем теплосодержание S равным:

$$S = S_1 + S_3 + S_4 - S_5 - S_6 - S_7 = 33 + 320 + 116{,}5 - 94 - 4 - 10{,}5 = 361 \ \frac{ккал}{м^3 \cdot час}.$$

При расчете значение $S_4 + S_5$ взято из табл. 5. То, что $S > 0$ означает, что образование шуги при расходе $Q = 1{,}7$ *м*^{3}*/сек* возможно.

Гидравлические элементы потока при $Q = 1{,}7$ *м*^{3}*/сек* равны:

$H=0{,}5$ *м*; $\omega=2{,}4$ *м*; $B=\frac{\omega}{H}=4{,}3$; $V=6100$ *м/сут*; $q=\frac{Q}{B}=0{,}354$.

Расстояние сечения канала (считая от выходного портала тоннеля), в котором теплоотдача уравновешивается теплопритоком (ниже которого устанавливается нулевая температура воды) согласно (11) при $t_{вод}=0$ будет

$$L_0=\frac{\alpha t_{ср} q\tau}{S}=\frac{1\times 0{,}5\times 0{,}354\times 1000\times 3600}{361}=1750\ м<3700\ м.$$

Здесь $L_0<L$ канал имеет достаточную длину и следовательно шуга будет образовываться. Расход шуги согласно (17):

$$Q_ш=\frac{13100\times 61000\times 5{,}3\times 210}{13100\times 61000+210}=1120\ м^3/сут.=0{,}013\ м^3/сек.$$

Во втором приближении задаемся расходом $Q=3\ м^3/сек$. В этом случае расчеты показывают, что створ канала с нулевой температурой воды отодвигается ниже по течению на расстояние 4400 *м*, считая от выходного портала тоннеля. Таким образом, при расходе $Q=3\ м^3/сек$ шугообразование в канале не возможно, так как поток на протяжении 3700 *м* не успевает охлаждаться в той степени, которая необходима для образования шуги. Аналогичные результаты получаются и для остальных деривационных каналов каскада. Следовательно, минимальный расход, который необходимо пропускать по деривации Севан-Разданского каскада, чтобы не образовывалась шуга, равен 3 $м^3/сек$.

5. Произведен расчет для напорного трубопровода Гюмушской ГЭС, так как этот трубопровод зимою находится в более тяжелых условиях.

Установим минимальный расход воды, при котором образование льда на внутренних стенках тубопровода практически исключается.

Исходные данные расчета: Температура воздуха $t_{возд}=-17°C$; температура воды во входном сечении трубы $t_{вод}=0{,}5°C$; скорость ветра $V=4$ *м/сек*; коэффициент теплопроводности стенки трубопровода $\lambda_{ст}=1{,}2\ \frac{ккал}{гр.м.}$; теплоемкость воды $c=1$ *ккал/кг. град.*; скрытая теплота таяния льда $r_1=80$ *ккал/кг*; объемный вес льда $\gamma_л=920\ \frac{кг}{м^3}$; длина трубопровода $L=900$ *м* (число труб четыре); наружный диаметр трубопровода $D=2{,}65$ *м*; внутренний диаметр трубопровода $d_0=2{,}62$ *м*; трубопровод не имеет изоляции. Задачу решаем методом последовательного приближения. Проверим возможность образования льда на внутренних стенках трубопровода при расходе воды $Q=1\ м^3/сек$. При этом расходе скорость воды в трубопроводе получается равной $V=0{,}185$ *м/сек*.

Расчеты, выполненные по формулам (23) и (27), дают:

$\alpha_1=256$ *ккал/м² ч. гр.*; $\alpha_2=7{,}9$ *ккал/м² ч. гр.*; $K=12{,}8$ *ккал/м² ч. гр.*

Температуру воды $t_{вод}$ в конце трубопровода длиною $L = 900$ *м* определяем по формуле (18) (работой силы трения пренебрегаем, ввиду малости ее величины):

$$\ln \frac{0,5+17}{t_2+17} = 12,8 \frac{3,14 \times 300 \times 2,62}{1 \times 3600 \times 1000 \times 1}, \text{ откуда } t_2 = 0,05^\circ\text{C}.$$

Следовательно, в конце трубопровода длиной 900 *м* температура воды достигает 0,05° С, если температура воды в начале трубопровода равняется 0,5° С.

Температура льдообразования

$$t_л = \frac{K \cdot t_{вод}}{a_1} = \frac{12,8 \times 17}{256} = 0,85^\circ\text{C}.$$

Толщина льда, которая может образоваться в течение одних суток на внутренней стенке трубопровода:

$$\Delta\delta_2 = \frac{(K \cdot t_{вод} - a_1 t_л)\,\Delta\tau_1}{80\,\gamma_{лл}} = \frac{12,8 \times 17 - 256 \cdot 0,5}{80 \times 920} = 0,03 \text{ м/сут}.$$

Для определения толщины льда, образовавшегося за вторые сутки, должны определить коэффициенты K и a_1 для внутреннего диаметра трубы с поправкой на толщину льда $\Delta\delta_2$.

Из приведенных выше расчетов видно, что при расходе $Q = 1$ *м³/сек* будет иметь льдообразование во внутренних стенках трубопровода.

Во втором приближении задаемся расходом $Q = 2,5$ *м³/сек*, при этом расходе скорость потока получается равной $V = 0,465$ *м/сек*. Проверим при этом расходе, будет иметь место льдообразование или нет.

По формулам (19)—(21) получается:

$$a_1 = 505 \frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot град.}; \quad a_2 = 7,9 \frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot град.}; \quad K = 7,88 \frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot град.}$$

Температура льдообразования $t_л = \frac{K \cdot t_{вод}}{a_1} = \frac{7,88 \times 17}{505} = 0,265^\circ\text{C}$. Расстояние, на котором температура воды достигает $t_л$, определяется по формуле

$$\ln \frac{t_{вод} - t_{возд}}{t_л - t_{возд}} = K \frac{\pi d_2 L_1}{Q c \gamma} \text{ или } \ln \frac{0,5+17}{0,265+17} = 7,88 \frac{3,14 \times 2,62 \times L_1}{2,5 \times 3600 \times 1000 \times 1}.$$

Откуда $L_1 = 150$ *м*.

Температура воды в конце трубопровода

$$t_2 = t_л \exp\left[-\frac{\pi a_1 d_2}{Q c \gamma}(L - L_1)\right] =$$

$$= 0,265 \exp\left[-\frac{3,14 \times 505 \times 2,62}{2,5 \times 3600 \times 1000 \times 1}(900 - 150)\right] = 0,25^\circ\text{C}.$$

Толщина льда, которая может образоваться в конце трубопровода, на ее внутренней стенке в течение одних суток будет:

$$\Delta z = \frac{K t_{воз} - z_1 t_г}{\gamma_л r_л} = \frac{7{,}88 \times 17 - 505 \cdot 0{,}25}{920 \times 80} \times 24 = 0{,}0015\ м.$$

Таким образом можно принять, что при расходе воды $Q = 2{,}5\ м^3/сек$ льдообразования на внутренней стенке трубопровода, практически не будет. Если условно принимать, что отрицательная температура воздуха в течение 10 дней будет держаться в пределах $t_{воз} > -12°$ С (кроме того необходимо, чтобы в предшествующие дни температура воздуха была $t_{воз} = -6°$ С), то из условия защиты трубопровода от льдообразования, необходимо минимальные попуски из озера довести до $10 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 5 = 2{,}15 \cdot 10^6\ м^3$ для работы одной турбины. Для работы четырех турбин потребный минимальный объем будет $8{,}6 \cdot 10^6\ м^3$. Если продолжительность отрицательных температур воздуха будет держаться больше 10 дней, то соответствующим образом изменится и объем попусков.

Из приведенных выше расчетов видно, что для обеспечения нормальных условий эксплуатации каскада в зимнее время диктующим являются трубопроводы ГЭС, так как потребность расхода для предотвращения льдообразования (для двух и больше напорных трубопроводов ГЭС) получается больше $5\ м^3/сек$.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

W — скорость ветра в $м/сек$;

$f_т$ — давление паров, насыщающих пространство при температуре воды в $мм$;

f — упругость паров, находящихся над водной поверхностью, в $мм$;

r — скрытая теплота парообразования в $ккал/кг$;

$r_л$ — скрытая теплота таяния льда (снега) в $ккал/кг$;

$t_{вод}$ — температура воды в С°;

$t_{воз}$ — температура воздуха в С°;

$t_{пр}$ — температура приточных вод в С°;

$T_{вод}$ — абсолютная температура воды;

$T_{воз}$ — абсолютная температура воздуха;

N — облачность в долях единицы (0—1);

K_n — коэффициент, определяющий долю действительной радиации от возможной при полной облачности;

c — теплоемкость воды, равная 1 $ккал/кг \cdot град$.;

$c_с$ — теплоемкость снега, равная теплоемкости льда;

γ — удельный вес воды в $кг/м^3$;

$\gamma_л$ — удельный вес шуги в $кг/м^3$;

λ_1 — коэффициент теплопроводности стенки трубопровода $ккал/град \cdot м \cdot час$.

$\lambda_л$ — коэффициент теплопроводности льда;

α_1 — коэффициент отдачи тепла конвекцией от воды к внутренней поверхности трубы — $ккал/м^2 \cdot час \cdot град$.

α_2 — коэффициент отдачи тепла конвекцией от наружной поверхности трубопровода к окружающей среде — $ккал/м^2 \cdot час \cdot град$.

K — коэффициент суммарной теплопроводности через многослойную стенку;
h — толщина льда;
D — наружный диаметр трубопровода;
$D_{из}$ — наружный диаметр трубы с изоляцией;
$d_в$ — внутренний диаметр трубопровода;
Q — расход воды в $м^3/сек$;
V — средняя скорость потока в $м/сек$;
i — уклон свободной поверхности и пьезометрический уклон;
ω — площадь живого сечения в $м^2$;
F — площадь зеркала в $м^2$;
B — ширина потока по верху в $м$;
R — гидравлический радиус в $м$;
$q = \frac{Q}{B}$ — удельный расход воды.

Ա. Կ. ԱՆԱՆՅԱՆ

ՍԵՎԱՆ—ՀՐԱԶԴԱՆ ԿԱՍԿԱԴԻ ԿԱՌՈՒՅՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՁՄԵՌԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ, ՓՈՔՐԱՑՎԱԾ ԾՈՂՔԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ամփոփում

Հոդվածում բերված է Սևան—Հրազդան կասկադի դերիվացիայի (ջրանցքներ, խողովակներ) ձմեռային ելքերի որոշման մեթոդը, ելնելով ոզնու և սառույցի չառաջանալու պայմաններից:

Սևանա լճի մակարդակը հետագա բարձր նիշի վրա պահելու նպատակով նախատեսված է 1965 թվականից զգալիորեն պակասեցնել լճից բաց թողնվող ելքերը: Այս կապակցությամբ անհրաժեշտ է առաջին հերթին հետազոտել հիդրոէլեկտրակայանների աշխատանքի ռեժիմները ձմռան պայմաններում:

Հոդվածի առաջին բաժնում շարադրված են մեթոդական հարցեր և բերված են բանաձևեր, որոնց օգնությամբ կարելի է հաշվել ջրանցքներում և խողովակներում հոսող ջրի ջերմային բալանսը: Բերված են նաև ջրաօդերևութաբանական տվյալներ, ինչպես նաև ջրանցքներում և թունելներում ջրի ջերմաստիճանները, որոնց հիման վրա կատարվում են ջերմային ռեժիմների հաշվարկներ:

Հոդվածի երկրորդ բաժնում բերված են թվային հաշվարկներ Աթարբեկյանի, Կանաքի և Գյումուշի հիդրոէլեկտրակայանի խողովակի համար: Այդ հաշվարկների ժամանակ հաշվի են առնվել ջրի ջերմաստիճանի հնարավոր փոփոխությունները, որոնք կարող են տեղի ունենալ երկար թունելներում:

Կատարված հաշվարկումները ցույց են տալիս, որ ձմեռվա ցուրտ օրերին ոզնու առաջացումը ջրանցքներում կանխելու համար վերջինիս ձմեռային ելքը պետք է լինի ոչ պակաս 3 ÷ 3,5 մ³/վրկ-ից: Խողովակի պատերի սառցակա-

յումը կանխելու համար յուրաքանչյուր խողովակով հոսող մինիմալ ելքը պետք է լինի ոչ պակաս 2,5$м^3$/վրկ-ից։

Խողովակների ռեժիմները պետք է թելադրող հանդիսանան կասկադի ձմեռային նորմալ շահագործումը ապահովելու խնդրում։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Д. Н. Бибиков, Н. Н. Петруничев.* Ледовые запружения на гидростанциях. Госэнергоиздат, 1950.
2. *С. Я. Вартазаров.* Эксплуатационные режимы гидротехнических сооружений деривационных гидроэлектростанций. Госэнергоиздат, 1950.
3. *А. М. Естифеев.* Регулирование шугового потока на гидростанциях. Госэнергоиздат, 1958.
4. *Н. Крицкий, М. Ф. Менкель, К. Н. Россинский.* Зимний термический режим водохранилищ, рек и каналов. Госэнергоиздат, 1947.