

УДК 621.311.21:536.24

## ОЦЕНКА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДЛЯ ОБОГРЕВА СОРОУДЕРЖИВАЮЩИХ РЕШЕТОК МАЛЫХ ГЭС

*А.П. Балянов, Д.В. Виноградов*

Выполнен анализ процесса теплоотдачи от металлических элементов гидротехнических сооружений малых ГЭС в переохлажденную воду. Получено уравнение для расчета мощности, подводимой к сороудерживающим решеткам малых ГЭС.

*Ключевые слова:* малые ГЭС; обмерзание; теплоотдача; обогрев.

## THE ASSESSMENT OF HEAT AND POWER CALCULATION FOR HEATING SMALL HPP TRASH SCREENS

*A.P. Balyanov, D.V. Vinogradov*

The analysis of the process of heat transfer from the metal elements of hydraulic structures of small hydropower plants in overcooled water is made. The equation for calculation of the power supplied to the trash screen small hydropower plants is received.

*Key words:* small hpp; freezing; heat; heating.

Малые деривационные ГЭС Кыргызстана расположены в горных и предгорных районах республики. Эти районы в зимний период характеризуются низкими температурами, днем  $-10^{\circ}\text{C}$ – $-15^{\circ}\text{C}$ , ночью  $-20^{\circ}\text{C}$ – $-30^{\circ}\text{C}$ . Эксплуатация гидротехнических сооружений в зимний период затрудняется.

Возникают проблемы, связанные с обмерзанием металлических конструкций и их закладных элементов.

Анализ натуральных наблюдений за работой существующих малых ГЭС в зимний период дают исходный материал для разработки систем автоматического контроля над температурным состоянием гидротехнических сооружений, воздуха и воды. Зимний режим эксплуатации гидротехнических сооружений показал, что необходимо выполнить специальные расчеты теплового режима для определения рациональных средств обогрева и утепления элементов сооружений.

Теоретическая оценка процесса теплоотдачи в гидротехнических сооружениях была выполнена в работе [1].

Пользуясь методом анализа размерностей, была получена формула для оценки процесса теплоотдачи в виде:

$$\Phi = c \cdot \lambda \cdot l^4 \cdot \Delta t^{\circ} \cdot T, \quad (1)$$

где  $\Phi$  – теплоотдача в единицу времени [QT<sup>-1</sup>];

$c$  – теплоемкость единицы объема жидкости [QL<sup>-3</sup>(C°)<sup>-1</sup>];

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности [QL<sup>-1</sup>T<sup>-1</sup>(C°)<sup>-1</sup>];

$l$  – характерные размеры элемента гидротехнических сооружений [L];

$\Delta t^{\circ}$  – градиент температуры  $\Delta C^{\circ}$ , равный разности температур элемента гидротехнических сооружений и переохлажденной воды, °C;

$T$  – время, сек.

За основные единицы измерения были выбраны: длина [L], время [T], температура [°C], масса [M], количество теплоты [Q].

Исходя из того, что в кинетической теории газов, где температура определяется как средняя кинетическая энергия молекул в хаотическом движении, принимаем размерность температуры как размерность энергии, т.е.  $[\Delta t^{\circ}] = [ML^2T^{-2}]$ .

С учетом этого и на основании теории подобия и размерностей было получено уравнение (1).

На основании уравнения (1) и критериев Рейнольдса  $Re = \frac{Vd}{\nu}$ , Прандтля  $Pr = \frac{\nu}{\lambda}$ , Нуссельта  $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$  было получено уравнение теплоотдачи для сороудерживающих решеток гидротехнических сооружений.

$$\Phi = K \cdot t^0 \alpha, \text{ ккал/ч.} \quad (2)$$

$V$  – скорость воды м/с;

$d$  – размер стержня решетки по ширине, м;

$\nu$  – коэффициент кинетической вязкости, м<sup>2</sup>/с;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, ккал/м<sup>2</sup>ч град;

$l$  – длина элемента гидротехнических сооружений, м;

$K$  – коэффициент, учитывающий теплопроводность и теплоемкость объема жидкости и элементов решетки.

$$\Delta t^0 = (0,01 - t_B), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

где  $t_B$  – температура переохлажденной воды,  $^\circ\text{C}$ ;

$0,01$  – температура поверхности стержня решетки, где коэффициент теплоотдачи к воде имеет максимальное значение.

Уравнение (2) подобно уравнению, полученному в НИИГ им. Б.Е. Веденеева [2]. Запишем уравнение (2) как оно дано в [2], так как оно составляет основу всех тепловых расчетов гидротехнических сооружений при эксплуатации их в зимний период.

$$P = 0,00116 \alpha_{\text{макс}} (0,01 - t_B), \text{ кВт/м}^2, \quad (4)$$

где  $P$  – удельная тепловая мощность, исключая обмерзание стержней сороудерживающей решетки, кВт/м<sup>2</sup>;

$0,00116$  – коэффициент пересчета от ккал/чк кВт;

$\alpha$  – местное значение коэффициента теплоотдачи от поверхности стержней решетки к воде, ккал/м<sup>2</sup> ч град;

$t_B$  – температура переохлажденной воды определяется при натуральных наблюдениях, она зависит от глубины деривационного канала, скорости течения и наличия шуги в воде.

Среднее значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{\text{ср}}$  для сороудерживающей решетки из стержней прямоугольного сечения с учетом наличия шуги определяется зависимостью:

$$\alpha_{\text{ср}} = 2100 V^{0,8} / b^{0,2}, \text{ ккал/м}^2 \text{ ч град}, \quad (5)$$

где  $V = 1,5 V_{\text{ср}}$ , м/с  $V_{\text{ср}} = Q / S_p$  м/сек – скорость воды в решетке;

$b$  – ширина стержня, м;

$Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$S_p$  – живое сечение решетки, м<sup>2</sup>.

По наблюдениям за температурными режимами в зимний период с 2005 по 2007 г. температура воды на реках Чу, Карабалтинка, Сокулук  $t_B = -0,08 \div -0,1$   $^\circ\text{C}$ .

Местное значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$  для стержней прямоугольного сечения зависит от местоположения точки  $x$  отсчета отдачи тепла от решетки и равно:

$$\alpha_x = 1980 V^{0,8} / x^{-0,2}, \text{ ккал/м}^2 \text{ ч град} \quad (6)$$

и при  $x = 0,001$  м, т. е. у лобовой части стержня

$$\alpha_{\text{макс}} = 7700 \cdot V^{0,8}, \text{ ккал/м}^2 \text{ ч град}. \quad (7)$$

Мощность, достаточная для исключения обмерзания стержней решетки с учетом уравнений (4) и (7) равна:

$$P = 9,2 \cdot V^{0,8} (0,01 - t_B), \text{ кВт/м}^2. \quad (8)$$

Для стержней круглого сечения или других сечений с полукруглым оголовком среднее значение коэффициента теплоотдачи от поверхности стержня к воде имеет зависимость:

$$\alpha_{\text{ср}} = 1100 \cdot V^{0,6} / d^{0,4}, \text{ ккал/м}^2 \text{ ч град}. \quad (9)$$

где  $d$  – диаметр стержня, м.

За расчетное значение максимального местного коэффициента теплоотдачи для стержней круглого сечения применяется его величина в лобовой точке стержня, которая превышает среднее значение коэффициента теплоотдачи на 80 %:

$$\alpha_{\text{макс}} = 1980 \cdot V^{0,6} / d^{0,4}. \quad (10)$$

Тепловая мощность, подводимая к решетке для защиты от обмерзания с учетом (4) и (10), будет равна:

$$P = 2,3 \frac{V^{0,6}}{d^{0,4}} (0,01 - t_B), \text{ кВт/м}^2. \quad (11)$$

При назначении проектной мощности обогрева рекомендуется ввести в расчетное значение коэффициент запаса,  $k_3 = 1,3 \div 1,5$ .

Тепловой расчет системы обогрева сороудерживающих решеток, выполненный по полученным формулам, дает следующие значения удельных мощностей:  $P = (0,6 \div 1,3)$  кВт/м<sup>2</sup> в зависимости от способа обогрева, условий эксплуатации гидротехнических сооружений и выбранного коэффициента запаса.

Полученные зависимости удельной и тепловой мощности для сороудерживающих решеток позволяют рассчитать систему обогрева различных конструкций и выбрать эффективную и безопасную.

#### Литература

1. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны / под ред. Н. П. Лаврова. Бишкек: ИД “САЛИАМ”, 2009. 504 с.
2. Указания по расчету систем обогрева элементов гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений. ВСН 029-70. Л.: Энергия, 1971. 39 с.