

Рис. 2. Расчетная схема градирни.

Таблица 1. Геометрические размеры куполообразных жидкостных завес

Порядковый номер яруса	Диаметр жидкостной завесы на уровне первого водослива соответствующего яруса, м	Диаметр жидкостной завесы в нижнем основании, м	Высота жидкостной завесы, м	Длина жидкостной завесы, м	Поверхность охлаждения жидкостной завесы (с двух сторон), м ²
1.	8	24	14,2	16,5	1708
2.	8	20	10,5	12	1099
3.	8	16,5	6,8	8	654
4.	8	12,5	3	4	283

- к снижению гидравлического сопротивления проточной части градирни;
- к уменьшению энергетических затрат;
- к повышению долговечности и надежности работы оборудования, формирующего куполообразные жидкостные завесы.

Для определения тепловых характеристик, предлагаемой конструкции градирни необходимо иметь:

- математическую модель, которая обеспечивает получение точного уравнения массы, импульса силы и энергии;
- физические модели, позволяющие описать сопротивление воздушному потоку и процессы тепло - и массообмена между фазами.

Разработка точной математической модели является главным требованием, так как она способствует построению физических моделей и соответствующих эмпирических формул расчета.

Учитывая значительные сложности построения математической модели, позволяющей описать закономерности процесса тепло - и массообмена между фазами и малый опыт эксплуатации градирен нового типа предлагается рассмотреть теплообмена в этих градирнях с самых общих позиций.

В результате проведенной поисковой работы по изучению тепло - и массообмена в градирне нового типа, при сохранении формы и размеров ограждающей конструкции и размещения энергетического оборудования, установлена возможность наведения, в рабочем пространстве градирни, четырех куполообразных жидкостных завес.

В таблице 1 приведены основные геометрические параметры наводимых куполообразных жидкостных завес, которые будут использованы для получения расчетных формул, описывающих закономерности теплообмена. Расчетная схема градирни представлена на рис. 2.

Распределение воды по отдельным жидкостным завесам осуществляется пропорционально поверхности охлаждения и составляет:

$$G_I = 0.46 \cdot \sum G; \quad (1)$$

$$G_{II} = 0.29 \cdot \sum G; \quad (2)$$

$$G_{III} = 0.17 \cdot \sum G; \quad (3)$$

$$G_{IV} = 0.08 \cdot \sum G, \quad (4)$$

где: $\sum G$ - производительность градирни по воде, кг/с.

Запишем уравнение теплового баланса градирни:

$$Q_{вн} = \sum Q_{вн}^{век} + \sum Q_{вн}^{исп} + \sum Q_{вн}^{охл}, \quad (5)$$

где: $\sum Q_{вн}$ - суммарное количество тепла, внесенное в рабочее пространство градирни горячей водой, кДж;

$\sum Q_{вн}^{век}$ - суммарное количество тепла, вынесенного из градирни вентилируемым воздухом, кДж;

$\sum Q_{вын}^{исп}$ – суммарное количество тепла, ушедшего на процесс парообразования, кДж;

$\sum Q_{вын}^{охл}$ – суммарное количество тепла, вынесенного из градирни охлажденной водой, кДж.

Суммарное количество тепла внесенного в градирню равно:

$$\sum Q_{вн} = Q_{вн}^I + Q_{вн}^{II} + Q_{вн}^{III} + Q_{вн}^{IV}, \quad (6)$$

где: $Q_{вн}^I, Q_{вн}^{II}, Q_{вн}^{III}, Q_{вн}^{IV}$ - количество тепла внесенного в градирню соответствующей куполообразной жидкостной завесой, кДж;

В свою очередь, количество тепла внесенного в градирню каждой куполообразной жидкостной завесой, составляет:

$$Q_{вн}^I = G_I \cdot C \cdot t_1; \quad (7)$$

$$Q_{вн}^{II} = G_{II} \cdot C \cdot t_1; \quad (8)$$

$$Q_{вн}^{III} = G_{III} \cdot C \cdot t_1; \quad (9)$$

$$Q_{вн}^{IV} = G_{IV} \cdot C \cdot t_1, \quad (10)$$

где: C – теплоемкость воды, кДж/м²;

t_1 – температура горячей воды на входе в градирню, °С.

Конвективный обмен между нагретой поверхностью куполообразной жидкостной завесы и встречным потоком холодного воздуха, обтекающего куполообразную жидкостную завесу, в критериальной форме, можно рассматривать, как:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}, \quad (11)$$

где: Nu - критерий Нуссельта;

Re - критерий Рейнольдса;

Pr - критерий Прандтля.

Критерий Рейнольса при решении задачи будет равен:

$$Re = \frac{V \cdot b_0}{\nu}, \quad (12)$$

где: V - средняя скорость воды по длине образующей куполообразной жидкостной завесы, м/с;

b_0 - средняя толщина куполообразной жидкостной завесы по длине образующей, м;

ν - коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с.

Средняя скорость воды по длине образующей для отдельных сечений, соответствующих определенной жидкостной завесе составляет:

$$V_I^{cp} = \frac{V_I + V_{II} + V_{III} + V_{IV} + V_V + V_{VI} + V_{VII} + V_{VIII} + V_{IX}}{9} \quad (13)$$

$$V_I^{cp} = \frac{V_{III} + V_{IV} + V_V + V_{VI} + V_{VII} + V_{VIII} + V_{IX}}{7} \quad (14)$$

$$V_I^{cp} = \frac{V_V + V_{VI} + V_{VII} + V_{VIII} + V_{IX}}{5} \quad (15)$$

$$V_I^{cp} = \frac{V_{VII} + V_{VIII} + V_{IX}}{3}, \quad (16)$$

где: $V_I, V_{II}, V_{III}, V_{IV}, V_V, V_{VI}, V_{VII}, V_{VIII}, V_{IX}$ - скорость воды в соответствующих сечениях проточной части куполообразных жидкостных завес, м/с.

Критерии Рейнольдса для соответствующих куполообразных жидкостных завес:

$$Re_I = \frac{V_I^{cp} \cdot b_{0I}}{\nu}; \quad (17)$$

$$Re_{II} = \frac{V_{II}^{cp} \cdot b_{0II}}{\nu}; \quad (18)$$

$$Re_{III} = \frac{V_{III}^{cp} \cdot b_{0III}}{\nu}; \quad (19)$$

$$Re_{IV} = \frac{V_{IV}^{cp} \cdot b_{0IV}}{\nu}, \quad (20)$$

где: $Re_I, Re_{II}, Re_{III}, Re_{IV}$ - числа Рейнольдса для соответствующих куполообразных жидкостных завес;

$b_{0I}, b_{0II}, b_{0III}, b_{0IV}$ - средняя толщина соответствующих куполообразных жидкостных завес, м.

Критерий Прандтля при решении задачи будет:

$$Pr = \frac{\nu}{a}, \quad (21)$$

где: a - коэффициент температуропроводности воды, м²/с.

Критерии Прандтля для всех куполообразных жидкостных завес

$$Pr_I = Pr_{II} = Pr_{III} = Pr_{IV} = Pr. \quad (22)$$

Находим критерии Нуссельта для соответствующих куполообразных жидкостных завес:

$$Nu_I = 0.023 \cdot Re_I^{0.8} \cdot Pr^{0.4}; \quad (23)$$

$$Nu_{II} = 0.023 \cdot Re_{II}^{0.8} \cdot Pr^{0.4}; \quad (24)$$

$$Nu_{III} = 0.023 \cdot Re_{III}^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (25)$$

$$Nu_{IV} = 0.023 \cdot Re_{IV}^{0.8} \cdot Pr^{0.4}, \quad (26)$$

где: $Nu_I, Nu_{II}, Nu_{III}, Nu_{IV}$ - критерии Нуссельта для соответствующих куполообразных жидкостных завес.

Коэффициент теплоотдачи куполообразной жидкостной завесы движущемуся потоку воздуха составляет:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{b_0}, \quad (27)$$

где: α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К;

λ - коэффициент теплопроводности воды, Вт/мК.

Коэффициенты теплоотдачи для соответствующих куполообразных жидкостных завес:

$$\alpha_I = \frac{Nu_I \cdot \lambda}{b_{0I}}; \quad (28)$$

$$\alpha_{II} = \frac{Nu_{II} \cdot \lambda}{b_{0II}}; \quad (29)$$

$$\alpha_{III} = \frac{Nu_{III} \cdot \lambda}{b_{0III}}; \quad (30)$$

$$\alpha_{IV} = \frac{Nu_{IV} \cdot \lambda}{b_{0IV}}, \quad (31)$$

где: $\alpha_I, \alpha_{II}, \alpha_{III}, \alpha_{IV}$ - коэффициенты теплоотдачи соответствующих куполообразных жидкостных завес, Вт/м²К.

Суммарное количество тепла вынесенного из градирни вентилируемым воздухом с каждой куполообразной жидкостной завесы:

$$\sum Q_{вын}^{вен} = Q_{вынI}^{вен} + Q_{вынII}^{вен} + Q_{вынIII}^{вен} + Q_{вынIV}^{вен}, \quad (32)$$

где: $Q_{вынI}^{вен}, Q_{вынII}^{вен}, Q_{вынIII}^{вен}, Q_{вынIV}^{вен}$ - количество тепла, вынесенного вентилируемым воздухом с соответствующей куполообразной жидкостной завесой.

Таблица 2. Результаты натуральных экспериментальных исследований тепло - и массообмена в вентиляторной градирне

Серия опытов №№ пп	Расход воды кг/с	Температура нагретой воды, °С	Температура охлажденной воды, °С	Расход воздуха, кг/с	Температура наружного воздуха, °С	Относительная влажность наружного воздуха, %
1.	828	35,2	28,2	1000	22,4	70
	828	35,6	28,6	1000	22,0	70
	828	35,5	28,5	1000	22,2	70
	828	35,8	28,8	1000	22,0	70
	828	35,5	28,5	1000	22,0	70
2.	828	35,2	30,2	900	22,6	72
	828	35,0	30,0	900	22,0	72
	828	35,4	30,4	900	22,4	72
	828	35,6	30,6	900	22,0	72
	828	35,8	30,8	900	22,6	75
3.	828	36,2	33,2	800	22,2	75
	828	36,4	33,4	800	22,2	75
	828	36,6	33,6	800	22,2	75
	828	36,5	33,5	800	22,2	75
	828	36,0	33,0	800	22,2	75
4.	828	35,8	33,8	700	22,4	70
	828	35,8	33,8	700	22,4	70
	828	35,6	33,6	700	22,4	70
	828	35,8	33,8	700	22,4	70
	828	35,4	33,4	700	22,4	70
5.	828	35,2	34,2	600	21,8	75
	828	35,0	34,0	600	21,8	75
	828	36,2	35,2	600	21,8	75
	828	35,8	34,8	600	21,8	75
	828	34,0	33,0	600	21,8	75

Количество тепла вынесенного вентилируемым воздухом с соответствующей куполообразной жидкостной завесы:

$$Q_{вынI}^{ген} = \alpha_I \cdot F_I \cdot (t_1^{603} - t_2^{603}); \quad (33)$$

$$Q_{вынII}^{ген} = \alpha_{II} \cdot F_{II} \cdot (t_1^{603} - t_3^{603}); \quad (34)$$

$$Q_{вынIII}^{ген} = \alpha_{III} \cdot F_{III} \cdot (t_1^{603} - t_4^{603}); \quad (35)$$

$$Q_{вынIV}^{ген} = \alpha_{IV} \cdot F_{IV} \cdot (t_1^{603} - t_5^{603}), \quad (36)$$

где: $F_I, F_{II}, F_{III}, F_{IV}$ - поверхность охлаждения соответствующей куполообразной жидкостной завесы, м²;

t_1^{603} - температура воздуха на входе в градирню (сечение IX-IX), °С;

$t_2^{603}, t_3^{603}, t_4^{603}, t_5^{603}$ - температура воздуха в соответствующих сечениях I, III, V, VII, °С.

Суммарное количество тепла, затраченное на испарение воды:

$$Q_{вын}^{нар} = 0.01 \cdot \sum G \cdot r, \quad (37)$$

где: r - удельная теплоемкость парообразования, кДж/кг.

Суммарное количество тепла, вынесенное из градирни охлажденной водой:

$$\sum Q_{вын}^{охл} = C \cdot \sum G (t_1^{600} - t_{cp}), \quad (38)$$

где: t_{cp} - температура охлажденной воды, °С.

Температура охлажденной воды может быть найдена по следующей формуле:

$$t_{cp} = 0.46t_2^{600} + 0.29t_3^{600} + 0.17t_4^{600} + 0.08t_5^{600}, \quad (39)$$

где: 0,46; 0,29; 0,17; 0,08 – коэффициенты пропорциональности распределения расхода воды по соответствующим жидкостным завесам.

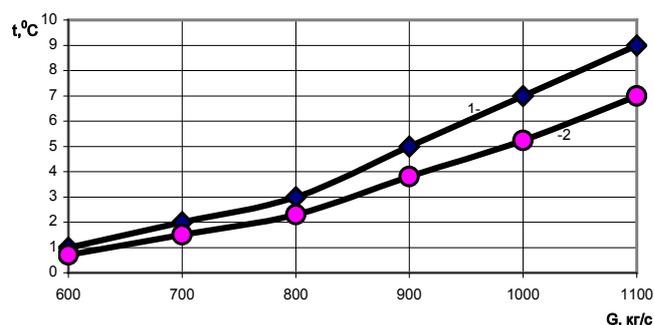


Рис. 3. Зависимость температурного перепада куполообразной жидкостной завесы в градирне с пленочным охлаждением от расхода воздуха (1- теоретически, 2 – экспериментально).

Из графика, рисунок 3, видно, что при изменении расхода воздуха от 600 до 1100 кг/ч температурный перепад куполообразной жидкостной завесы изменяется от 1 до 7 °С.

Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по определению температурного перепада куполообразной жидкостной завесы в зависимости от расхода воздуха даст отклонение 10-30%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Новиков В.М. Градирня с пленочным охлаждением воды. Информационный листок, 1989, №89-07, Брест.
- Новиков В.М. Стенд для гидравлических испытаний струйных аппаратов, состоящих из водосливов с круглым ребром. Информационный листок, 1989, №58-89, Брест.
- Новиков В.М. Управление расходом защитной куполообразной жидкостной завесы. Тезисы докладов XX научнотехнической конференции в рамках проблемы «Наука и мир». Часть I. Брест, 1992, с.91