**УДК** **621.175:628.179**

**Сопоставление охлаждающей способности асбестоцементного и сетчатого оросителя башенных градирен**

**Кравченко В.П., Морозов Е.Н., Галацан М.П.**

В настоящее время повсеместно проводится реконструкция градирен с заменой устаревшего физически и морально оросителя, состоящего из асбестоцементных листов, на ороситель из решетчатых элементов, выполненных из полиэтилена. Примером последнего может служить ПР-50 (призматический решетчатый со стороной призмы 50 мм). Кроме призматических элементов встречаются также и цилиндрические. Целью реконструкции является не только замена устаревшего оборудования, но и повышение охлаждающей способности градирни – главной характеристики ее работы.

Основные зависимости для расчёта градирен [1, 2]:

, (1)

, (2)

, (3)

где *х*  - объёмный коэффициент массоотдачи, отнесённый к разности влагосодержаний, кг/(м3 ·ч);

*Gж* – гидравлическая нагрузка на градирню, кг/ч;

*Δt* - перепад температур воды, 0С;

*сж* - теплоемкость воды, кДж/(кг 0С);

k - коэффициент уравнения (равный в среднем 0,96);

*V* – объём оросителя градирни м3;

*i*cp– средняя разность энтальпий воздуха, кДж/кг;

А *–* эмпирический коэффициент, характеризующий охлаждающую способность оросителя на его, 1/м;

**удельный расход воздуха, кг/кг;

*m* - показатель степени, характеризующий зависимость объёмного коэффициента массоотдачи от изменения массовой скорости воздуха;

где Me- безразмерный критерий Меркеля;

h – высота оросителя градирни.

Величины А и m - технологические характеристики оросителя. Они получаются экспериментально в результате обработки данных испытаний.

Значение величины m изменяется в пределах от 0,1 до 0,75, в зависимости от конструкции оросителя. Величина m характеризует степень использования воздуха в данном оросителе.

Итак, величины А и m приводятся в справочной литературе, однако не дают физического представления о свойствах оросителя.

В аэродинамическом расчете при учете сопротивления дождя под водораспределителем учитывается высота дождя. Для пояснения определения этой величины приведен рис. 1, из которого ясно, что при реконструкции градирен, заключающейся в замене оросителя, высота дождя над полиэтиленовым оросителем определится так

- для асбестоцементного оросителя

*hвр*= *h*ф+*hп.в.* =0,6 + 1 =1,6 м;

где *hф*- высота факела при соплах факелами вниз;

*hп.в*.  - высота падения воды.

- для полиэтиленового оросителя, установленного на той же опоре

hвр= *h*ф + (3,4-Нор), м.

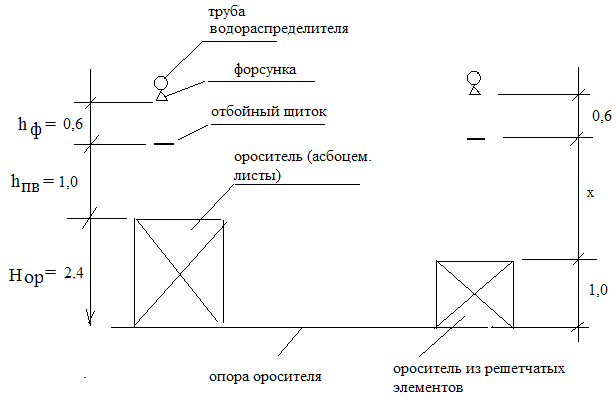


Рис.1. Пояснение к определению высоты дождя в оросителе

Целью работы является определение температуры охлажденной воды после градирни в случае, если ее ороситель будет состоять из решетчатого элемента ПР-50 и сопоставление результата с охлаждением в оросителе из асбестоцементных щитов.

Анализ проводится на примере башенной градирни, установленной на Ровенской АЭС. Методика расчета заключается в следующем. Задавшись температурой воздуха на выходе градирни, определяем самотягу. Из равенства самотяги и аэродинамического сопротивления градирни находится скорость и, соответственно, расход воздуха. Тепловой расчет позволяет итеративно определить температуру воды и воздуха на выходе из градирни. Полученные значения сопоставляются с принятыми. Результаты расчета приводятся в табл. 1.

Исходные данные:

Площадь оросителя *Fop*=10000 м2; высота градирни *Hгр*=150 м; высота воздуховходных окон *Hок*=10 м; отношение площади окон к площади оросителя *Foк/Fор*=0,354; температура воздуха **=19,5 0С; температура охлаждаемой воды *t1*=35,6 0С; относительная влажность воздуха **=0,54; барометрическое давление *Рб*=745 мм рт.ст= 10128,71 кгс/м2= 99,085 кПа; гидравлическая нагрузка *qж*=8,96 м3/м2·ч; расход воды *Gж*=89600∙103 кг/ч.

**Расчёт**

Диаметр градирни в оросительной части: м.

Половина длины воздухораспределителя:  м.

Плотность воздуха, начальная, кг/м3:



Таблица 1

Результаты расчета башенной градирни Ровенской АЭС с асбестоцементным оросителем (1) и оросителем из решетчатых элементов ПР-50 (2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование величины** | **1** | **2** |
| Высота оросителя, *Hор* , м | 2,4 | 1 |
| Высота башни градирни: *Нб = Нгр – Нок – Нор* | 137,6 | 139 |
| Принятая температура воздуха на выходе, **2, 0С | 25,7 | 26,35 |
| Плотность воздуха, конечная ρ2=f(**2, φ2=1), кг/м3 | 1,143 | 1,140 |
| Парциальное давление насыщенных водяных паров, определяется при *ϑ* 1: *р″ϑ* 1, кгс/м2 | 231,26 | 231,26 |
| Парциальное давление насыщенных водяных паров при *ϑ* 2 , *р″ϑ* 2 кгс/м2 | 336,98 | 350,2 |
| Плотность насыщенных водяных паров  - при *ϑ* 1 ***ϑ* 1, кг/м3  - при *ϑ* 2 ***ϑ* 2, кг/м3 | 0,0168  0,0240 | 0,0168  0,0249 |
| Коэф сопротивления входа в градирню: | 3,115 | 3,115 |
| Коэффициент сопротивления оросителя | 4,36 | 18,2 |
| Коэффициент сопротивления водоуловителя  - деревянного над асбоцементным оросителем  - полиэтиленового из ПР50: ξву∙hву=18,2∙0,15 | 4,7 | 2,73 |
| Коэффициент сопротивления водораспределителя | 0,4 | 0,4 |
| Коэффициент сопротивления дождя    Коэффициент распределения дождя в водораспределительном устройстве, Квр  Высота дождя в водораспределителе:  *-* для асбоцементного оросителя  - для ПР50 hвр= *h*ф + (3,4-Нор) | 59,92  0,1  1,6 | 55,75  0,1  3 |

Продолжение табл. 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование величины** | **1** | **2** |
| Высота факела при расположении вниз: *hф* = 0,6 м.  Высота падения воды: *hп.в*. = 1 м.  Коэффициент сопротивления дождя в оросителе: *Кор* | 0,6  1,0  0,37 | 0,6  2,4  0,282 |
| Примем скорость воздуха, ω, м/с | 0,95 | 0,989 |
| Коэфф. трения поверхности башни градирни:    Число Рейнольдса:  Коэффициент кинематической вязкости, м2/с | 0,00677  6,846∙106  15,63∙10-6 | 0,00673  7,105∙106  15,72∙10-6 |
| Общий коэффициент сопротивления градирни: | 78,61 | 80,2 |
| Самотяга градирни, Па: | 45,62 | 50,03 |
| Скорость воздуха в свободном сечении градирни:    Средняя плотность воздуха, кг/м3: | 0,954  1,16 | 0,989  1,159 |
| Расход воздуха, кг/ч | 40,408∙106 | 41,92∙106 |
| Удельный расход воздуха: | 0,45 | 0,55 |
| Темпер. воздуха по смоченному термометру, **0С | 14,4 | 14,4 |
| Характеристики оросителя: А  m | 0,479  0,66 | 1,41  0,54 |
| Теплоемкость воды, *Сж*, кДж/(кг∙К) | 4,19 | 4,19 |
| Газовая постоянная для воздуха, *R*в, кгс·м/ (кг·°С) | 29,27 | 29,27 |
| Теплота парообразования, *r*, кДж/кг | 2493 | 2393 |
| Принимаем температуру воды на выходе, t2, 0С | 29,1 | 27,1 |
| Вспомогательный коэффициент: | 0,953 | 0,954 |
| Плотность воздуха при : | 1,177 | 1,1769 |
| Давление насыщ. и плотность пара при t1=35,6 °С  *р″t1*, кгс/м2  ***t1*, кг/м3 | 593,33  0,0409 | 593,33  0,0409 |

Окончание табл. 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование величины** | **1** | **2** |
| Давление насыщ. и плотность пара при t2=25,8 °С  *р″t2*, кгс/м2  ***t2*, кг/м3 | 411,20  0,02896 | 366,0  0,0259 |
| Средняя температура воды, °С, *tm*= | 32,35 | 31,35 |
| Давление и плотность насыщ. пара при t2=25,8 °С  *р″m*, кгс/м2  ***m*, кг/м3 | 495,04  0,0345 | 467,79  0,0327 |
| Величины удельных энтальпий воздуха, кДж/кг  *i*″1 = *f* (*t*1, *ϕ=1*, *P*б):    *i*″2 = *f* (*t*2, *ϕ=1*, *P*б)  *i*1 = *f* (*ϑ*1, *ϕ* 1=0,54, *P*б)  *i*″m = *f* (*t*m, *ϕ*=1, *P*б) | 132,25  94,89  39,16  112,21 | 135,22  86,72  39,465  108,61 |
| Поправка к энтальпии | 0,683 | 1,179 |
| Разность температур воды в градирне Δt=t1-t2, °C | 6,5 | 8,5 |
| Энтальпия воды на выходе, | 102,537 | 107,22 |
| Средняя разность энтальпий, кДж/кг | 40,66 | 35,58 |
| Температура охлажденной воды | 29,31 | 27,318 |
| Погрешность между принятой и полученной величинами | 0,007 | 0,008 |
| Объёмный коэффициент массоотдачи, отнесённый к разности влагосодержаний, кг/(м3 ·ч) | 2,537 | 9,153 |
| Безразмерный критерий Меркеля | 0,680 | 1,021 |

**Выводы**:

Проведен расчет башенной градирни с асбестоцементным и полиэтиленовым оросителем. В результате сопоставления результатов расчета получено, что полиэтиленовый ороситель типа ПР-50 высотой 1 м более эффективен и позволяет охладить воду на 2 0С больше, чем асбестоцементный при одинаковых параметрах воздуха.

С увеличением высоты сетчатого оросителя, не смотря на увеличение сопротивления и уменьшения расхода воздуха через градирню, его эффективность растет. При высоте оросителя 1,5 м температура воды на выходе снижается до 26,0 °С (на 1 °С меньше, чем при высоте оросителя 1 м), а при высоте 2 м – до 25,35 °С (на 0,65 °С меньше, чем при высоте оросителя 1,5 м). Полученная зависимость охлаждающей способности градирни от высоты оросителя позволяет оптимизировать затраты на реконструкцию оросителя

Список использованной литературы

1. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения») / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР от 20 марта 1985 г. № 27.
2. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Технологические расчёты башенных градирен // Водоснабжение и санитарная техника. - 2000. - № 7. - С.