

Определение теплотерь бассейна под открытым небом

Исходные данные

Температура наружного воздуха (до которой будет эксплуатироваться бассейн)

$$t_{po} := 15 \quad ^\circ\text{C}$$

Температура воды у зеркала испарения

$$t_{пов} := 23 \quad ^\circ\text{C}$$

Температура воды на глубине

$$t_{воды} := 24 \quad ^\circ\text{C}$$

Температура внутренней поверхности стенки ванны
(Задаёмся для определения коэф. теплоотдачи α)

$$t_{ст} := 22$$

Величина термического сопротивления стен бассейна (стены неутепленные),
(м²*С)/Вт

$$R_{стен} := \frac{0.100}{2.04}$$

$$R_{стен} = 0.049 \quad (\text{м}^2 \cdot \text{C}) / \text{Вт}$$

Площадь пола бассейна

$$F_{пола_бассейна} := 25.9 \quad \text{м}^2$$

Скорость движения воздуха, м/с

$$v := 4$$

Площадь пола бассейна, м²

$$F_{пола} := F_{пола_бассейна}$$

$$F_{пола} = 25.9$$

$$F_{пов} := F_{пола_бассейна}$$

Периметр бассейна, м

$$P := 19.52$$

Глубина бассейна, м

$$h := 2$$

Величина термического сопротивления пола бассейна, (м²*С)/Вт

$$R_{пола_бассейна} := \frac{0.1}{2.04}$$

$$R_{пола_бассейна} = 0.049$$

Расчёт коэф. теплоотдачи α от воды к стенке бассейна

Критерий подобия Прандтля (для воды при температуре 24⁰С)

$$Pr_{ж} := 6.4$$

$$Pr_{с} := 7.0$$

Коэффициент теплопроводности воды при температуре $t_{воды}$, Вт/(м⁰С)

$$\lambda_{ж} := 0.603 \quad \text{Вт}/(\text{м}^0\text{C})$$

Кинематическая вязкость воды при температуре $t_{\text{ВОДЫ}}$, $\text{м}^2/\text{с}$

$$\nu := 0.926 \cdot 10^{-6} \quad \text{м}^2/\text{с}$$

Температурный коэффициент объемного расширения, $1/^\circ\text{C}$

$$\beta := \frac{1}{273 + t_{\text{ВОДЫ}}} \quad \beta = 3.367 \times 10^{-3} \quad 1/^\circ\text{C}$$

Ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$

$$g := 9.81 \quad \text{м}^2/\text{с}$$

Критерий подобия Грасгофа

$$\text{Gr}_{\text{нж}} := \frac{\beta \cdot h^3 \cdot g \cdot (t_{\text{ВОДЫ}} - t_{\text{СТ}})}{\nu^2} \quad \text{Gr}_{\text{нж}} = 6.163 \times 10^{11}$$

Произведение Gr на Pr иногда называют числом Релея (Ra)

$$\text{Gr}_{\text{нж}} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}} = 3.944 \times 10^{12}$$

Если число Релея (Ra) $> 10^9$ (турбулентный режим),
то величина Нуссельта определяется по формуле

$$\text{Nu}_{\text{нж}} := 0.15 \cdot (\text{Gr}_{\text{нж}} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}})^{0.33} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{с}}} \right)^{0.25} \quad \text{Nu}_{\text{нж}} = 2.104 \times 10^3$$

Коэффициент теплоотдачи рассчитываем по формуле

$$\alpha_1 := \frac{\text{Nu}_{\text{нж}} \cdot \lambda_{\text{ж}}}{h} \quad \alpha_1 = 634.346 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

То же в ккал/ч

$$\frac{\alpha_1}{1.163} = 545.439 \quad \text{ккал}/\text{ч}$$

Расчёт теплопотерь (по статье Сотникова)

Предположительная температура грунта на глубине пола бассейна, °С
(задаем, принимаем по данным справочников и т.д.)

$$t_{\text{грунта_у_пола}} := 10$$

Теплопроводность водонасыщенного суглинка, Вт/(м*С)

$$\lambda := 2.67$$

Величина термического сопротивления полуограниченного объёма грунта в основании бассейна, (м²*С)/Вт

$$R_{17} := \frac{1}{4 \cdot \lambda} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{F_{\text{пола}}}} \quad R_{17} = 0.033$$

Теплопотери пола бассейна, Вт

$$Q_{\text{пола}} := F_{\text{пола}} \cdot (t_{\text{воды}} - t_{\text{грунта_у_пола}}) \cdot \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{\text{пола_бассейна}} + R_{17}} \quad Q_{\text{пола}} = 4358$$

Условная толщина грунта, определенная по графику на рис.5 в статье Сотникова в зависимости от величины заглубления h/h1 стены данного этажа в грунт, м

$$\delta_{\text{усл}} := 0.14$$

Термического сопротивления грунта между стеной и атмосферой в форме пластины, погруженной на глубину h1, (м²*С)/Вт

$$R_{27} := \frac{\delta_{\text{усл}}}{\lambda} \quad R_{27} = 0.052$$

Общее термического сопротивление стен бассейна и грунта, (м²*С)/Вт
(стены железобетонные 0,1м толщиной)

$$R_{\text{ст_общ}} := \frac{1}{\alpha_1} + \frac{0.100}{2.04} + R_{27} + \frac{1}{23} \quad R_{\text{ст_общ}} = 0.147$$

Теплопотери стен бассейна, Вт

$$Q_{\text{стен}} := P \cdot h \cdot (t_{\text{воды}} - t_{\text{по}}) \cdot \frac{1}{R_{\text{ст_общ}}} \quad Q_{\text{стен}} = 2398.218$$

Теплопотери стен и пола бассейна, Вт

$$Q_{\text{стен}} + Q_{\text{пола}} = 6756.064$$

Термическое сопротивление теплоотдаче от нагретой поверхности, (м²*С)/Вт

$$R_{\text{пов}} := \frac{0.245}{1.4 + \nu}$$

Теплопотери зеркала бассейна, Вт

$$Q_{\text{зеркала}} := \frac{t_{\text{пов}} - t_{\text{ро}}}{R_{\text{пов}}} \cdot F_{\text{пов}}$$

$$Q_{\text{зеркала}} = 4566.857$$

Общие теплопотери бассейна через пол, стены и поверхность воды (без учета потерь с испаряющейся водой и потерь за счёт излучения), Вт

$$Q_{\text{стен}} + Q_{\text{пола}} + Q_{\text{зеркала}} = 11323 \quad \text{Вт}$$

Расчёт количества испаряющейся влаги

Парциальное давление водяных паров у поверхности испаряющейся воды (при t воды и φ=100%), мм.рт.ст

$$p_{\text{п}} := 2809 \quad \text{Па} \quad (\text{См. СП 23-101-2004, стр.111})$$

Парциальное давление водяных паров в окружающем воздухе (при t окружающего воздуха и относительной влажности окружающего воздуха φ), Па

$$p_{\text{о}} := 852.5 \quad \text{Па} \quad (\text{Здесь принято при } \phi=50\%)$$

Барометрическое давление, Па

$$p_{\text{б}} := 101325 \quad \text{Па}$$

Фактор гравитационной подвижности при температурах воздуха от 15 до 30 и температуре воды до 30 градусов

$$a := 0.0458$$

Коэффициент массоотдачи, кг/(м² *с*Па)

$$\beta_{\text{р}} := (a + 0.0362 \cdot \nu) \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{\text{р}} = 1.906 \times 10^{-7} \quad \text{кг/(м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па)}$$

Количество испаряющейся воды, кг/с

$$W := \beta_p \cdot F_{\text{пов}} \cdot (p_{\text{п}} - p_0) \cdot \frac{101.3 \cdot 10^3}{p_6}$$

$$W = 9.656 \times 10^{-3} \quad \text{кг/с}$$

Удельная теплота испарения воды

$$L_{\text{и}} := (25 - 0.024 \cdot t_{\text{пов}}) \cdot 10^5$$

$$L_{\text{и}} = 2.445 \times 10^6 \quad \text{Дж/кг}$$

Теплота испарения

$$Q_{\text{и}} := \frac{L_{\text{и}}}{10^3} \cdot W \cdot 3600$$

$$Q_{\text{и}} = 84984.786 \quad \text{кДж/ч}$$

$$\frac{Q_{\text{и}}}{4.19} \cdot 1.163 = 23589 \quad \text{Вт}$$

$$Q_{\text{стен}} + Q_{\text{пола}} + Q_{\text{зеркала}} + \frac{Q_{\text{и}}}{4.19} \cdot 1.163 = 34912 \quad \text{Вт}$$