

Тези доповідей 52-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-магістрантів "Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі". // Одеса: ОНПУ, 2017, вип. 52.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ГРАДИРНЯХ.

Македон В.В., Шульга А.В.

Научный руководитель – доц. каф. "Технология воды и топлива",
канд., тех. наук. Ковальчук В.И.

Целью, данной работы является исследование математическая модель теплообмена в градирнях.

Исходными параметрами для математической модели являются:

- расход $G_{f,in}$ и температура $t_{f,in}$ воды на входе в градирню;
- параметры атмосферного воздуха: давление p_{mix} , температура $t_{v,in}$ и степень насыщения $SatCoef$ на входе в градирню;
- геометрические характеристики: высота тягового участка над насадкой H_{ex} , высота насадки $H_{раск}$, поверхность контакта в насадке в расчете на единицу объема $InterfaceVol$, пористость насадки Por .

В результате вычислений на компьютерной модели определяются:

- температура воды на выходе из насадки $G_{f,out}$, т.е. степень охлаждения в градирне;
- потеря воды за счет испарения G_f ; расход воздуха через градирню G_g (для аппаратов с естественной тягой);
- параметры воздуха на выходе из насадки, а именно, температура $t_{v,out}$, степень насыщения $SatCoef_{out}$, возможное содержание конденсированной влаги G_d .

Схема потоков теплоносителей и взаимодействия между ними показана на Рис. 1. Охлаждаемая вода (f) стекает по элементам насадки вниз в виде тонкой пленки. Температура поверхности раздела фаз принимается равной среднemasсовой температуре воды t_f , т.е. предполагается, что термическое сопротивление пленки мало, а скорость переноса контролируется процессами в газовой фазе, т.е. в парогазовом потоке с высоким содержанием инертного газа. Величины с тремя индексами (v , g , d) относятся к подсистеме «пар – воздух – дисперсная влага». Предполагается, что дисперсная жидкая фаза (индекс « d ») образуется в результате возможного пересыщения паровоздушной смеси.

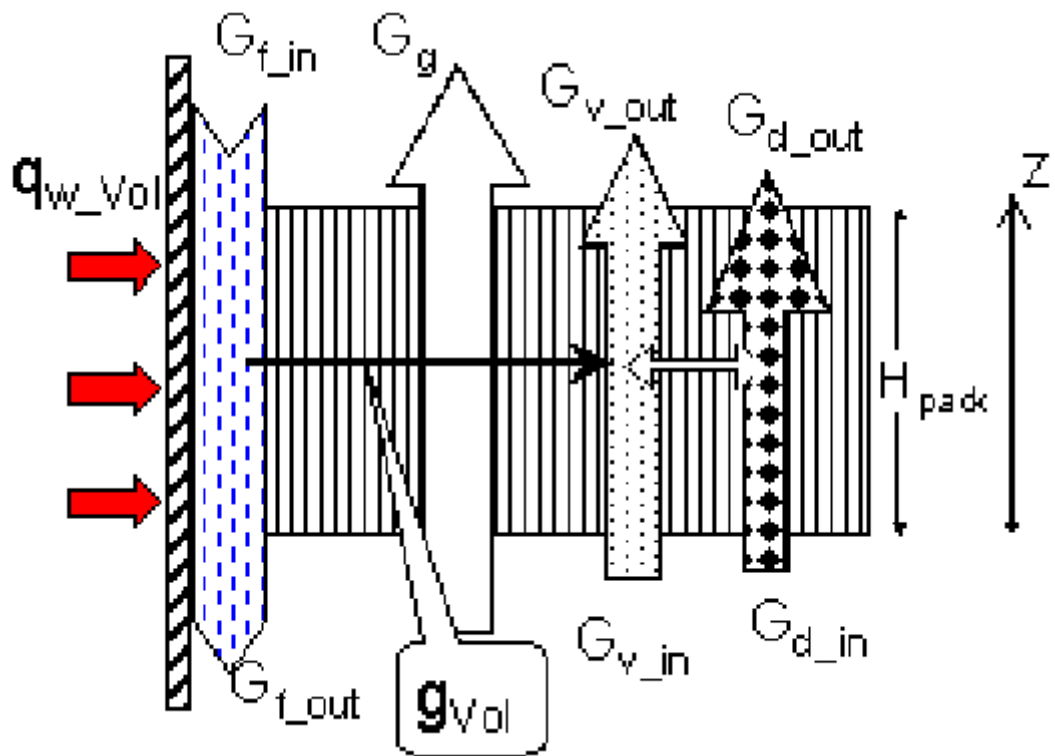


Рис. 1. Потoki теплоносителей в насадке и их взаимодействие; G (in – на входе, out – на выходе), $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$; f – жидкая фаза, вода из конденсатора, g – сухой воздух, v – водяной пар в паровоздушной смеси, d – дисперсная жидкая фаза в паровоздушной смеси; g_{Vol} – объемная скорость испарения, $\text{кг}/(\text{м}^3\text{с})$.

В основе математической модели лежат формулировки законов сохранения массы и энергии для потоков теплоносителей, т.е. для паровоздушной смеси с включением дисперсной влаги и для охлаждаемой воды.

Законы сохранения для расхода и потока энтальпии в дифференциальной форме:

$$\frac{d}{dz} G_f(z) = - \left[\frac{d}{dz} G_v(z) + \frac{d}{dz} G_d(z) \right], \quad (1)$$

$$\frac{d}{dz} (H_f(z)) = - \frac{d}{dz} (H_{vgd}(z)). \quad (2)$$

Расходы (массовые скорости) G_f , G_g считаются величинами со знаком (G_f – отрицательная величина на Рис. 1).

Потоки энтальпии определяются потоками массы и температурами компонентов, причем достаточную точность для определения удельной энтальпии компонентов обеспечивают приближенные аппроксимации:

Тези доповідей 52-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-магістрантів "Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі". // Одеса: ОНПУ, 2017, вип. 52.

$$\begin{aligned} h_f &= c_{p,f} t_f(z); & h_v &= r_0 + c_{p,v} t_v(z); \\ h_g &= c_{p,g} t_v(z); & h_d &= c_{p,f} t_v(z). \end{aligned} \quad (3)$$

После подстановок получаем следующие зависимости для расчета потоков энтальпии через температуры и расходы:

$$\begin{aligned} H_f(z) &= G_f(z) c_{p,f} t_f(z); \\ H_{vgd}(z) &= G_g c_{p,g} t_v(z) + G_v(z) (r_0 + c_{p,v} t_v(z)) + G_d(z) c_{p,f} t_v(z). \end{aligned} \quad (4)$$

Изменение параметров потоков по высоте насадки происходит в результате процессов тепломассообмена между парогазовой средой и жидкой фазой (Рис. 2):

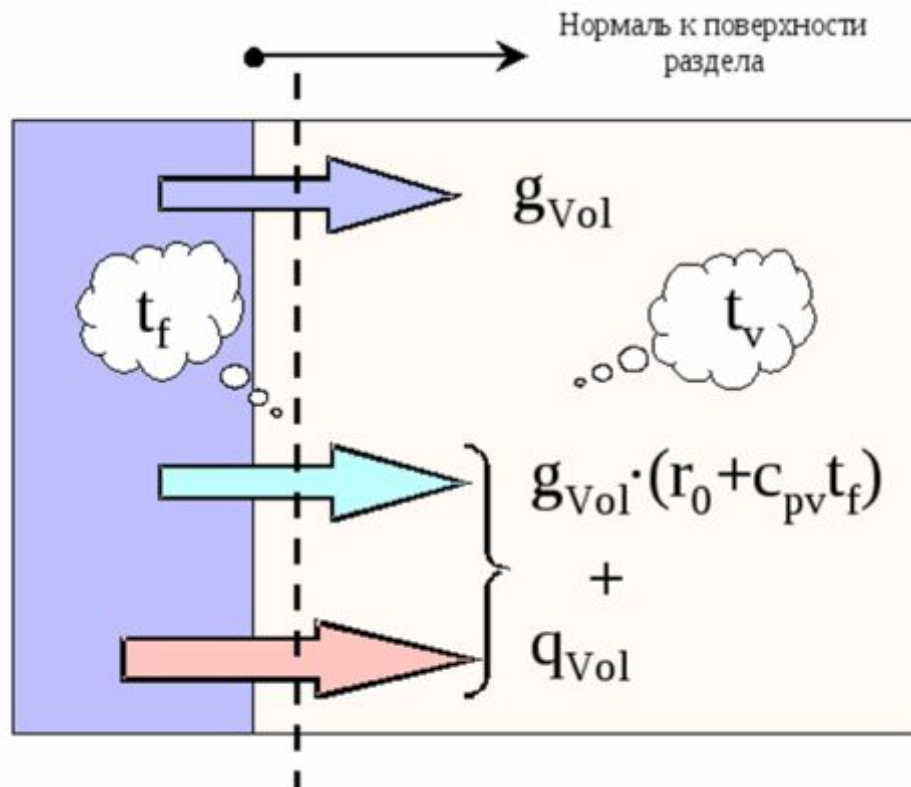


Рис. 2. Схема процессов тепломассообмена в насадке; g_{Vol} – объемная скорость испарения, кг/(м³с), q_{Vol} – объемная плотность теплового потока, Вт/м³, t_f – температура потока жидкости, 0С, t_v – температура парогазовой смеси, 0С.

Учитывается, что поток энтальпии через поверхность раздела фаз имеет две составляющие, а именно: тепловой поток, пропорциональный температурному напору «поверхность раздела – парогазовая смесь», и поток энтальпии, связанный с фазовым

Тези доповідей 52-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-магістрантів "Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі". // Одеса: ОНПУ, 2017, вип. 52.

превращением на поверхности раздела. Величина последнего пропорциональна скорости испарения, определяемой разностью концентраций пара непосредственно у поверхности раздела и в основном потоке влажного воздуха. Таким образом, полный поток энтальпии через поверхность раздела Q , Вт/м³:

$$Q = q_{Vol} + (r_0 + c_{p,v} t_f(z)) g_{Vol}, \quad (5)$$

где q_{Vol} – объемная плотность теплового потока, Вт/м³; r_0 – теплота парообразования, Дж/(кг); $c_{p,v}$ – изобарная теплоемкость водяного пара, Дж/(кг⁰С); g_{Vol} – объемная скорость испарения, кг/(м³с).

Объемная плотность теплового потока, пропорциональная разности температур, и скорость испарения, пропорциональная разности концентрация, определялись по методике, представленной в [4].

Уравнения сохранения массы (1) и энергии (2) для контактирующих потоков совместно с уравнениями тепломассообмена между фазами (3) приводят к формулировке с четырьмя дифференциальными уравнениями - для массовых расходов и потоков энтальпии обеих взаимодействующих сред:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} G_f(z) &= -g_{Vol}; \\ \frac{d}{dz} G_{vgd}(z) &= g_{Vol}; \\ \frac{d}{dz} H_f(z) &= -(q_{Vol} + (r_0 + c_{p,v} t_f(z)) g_{Vol}); \\ \frac{d}{dz} H_{vgd}(z) &= q_{Vol} + (r_0 + c_{p,v} t_f(z)) g_{Vol}. \end{aligned} \quad (6)$$

Граничные условия для системы уравнений (6) записываются следующим образом:

- при $z=0$ (в нижнем сечении насадки) задаются температура воздуха и влагосодержание, давление парогазовой смеси: $t_{vin}, SatCoef_{in}, p_{mix}$;
- при $z = H_{pack}$ (в верхнем сечении насадки) задаются расход и температура воды: G_{fin}, t_{fin} .

Система дифференциальных уравнений (6) при необходимости может быть легко модифицирована для других схем контактных аппаратов, например, когда возможен тепломассообмен не только между фазами, но и с окружающей средой.

Дифференциальные уравнения (6) описывают соответственно:

Тези доповідей 52-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-магістрантів "Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі". // Одеса: ОНПУ, 2017, вип. 52.

- изменение расхода воды за счет испарения,
- соответствующее изменение расхода парогазовой смеси,
- изменение потока энтальпии воды и
- изменение потока энтальпии парогазовой смеси вследствие тепломассообмена между жидкой и газообразной средой.

Интегрирование системы дифференциальных уравнений (6) составляет ядро вычислительной программы. Для противоточной схемы, как в градирне с естественной тягой, когда вода орошает насадку сверху, а парогазовая смесь поступает в нижнюю часть аппарата, условия на входе для воды ставятся в верхнем сечении насадки, а условия для потока воздуха – в нижнем сечении. Поэтому интегрирование системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений организуется как решение краевой двухточечной задачи. На каждом шаге интегрирования специальная вычислительная процедура осуществляет расчет температуры по значениям энтальпии, что является нетривиальной задачей для многокомпонентной двухфазной системы.

В компьютерной модели предусмотрен специальный алгоритм для диагностики состояния двухфазной двухкомпонентной среды. Учитывается возможность образования дисперсной жидкой фазы (тумана, капельной влаги) в результате пересыщения паровоздушной смеси.

Расход воздуха через градирню с естественной тягой определяется в оптимизационной вычислительной процедуре из условия равенства гидравлического сопротивления и гидростатического напора, возникающего благодаря разности плотностей теплого влажного воздуха в башне $\rho_{vg,top}$ и холодного воздуха снаружи $\rho_{vg,down}$:

$$dp_{resist} = dp_{grav} \quad (7)$$

$$dp_{resist} = dp_{in} + dp_{out} + dp_{pack} \quad (8)$$

$$dp_{grav} = (\rho_{vg,down} - \rho_{vg,top}) \cdot g \cdot H_{ex} \quad (9)$$

где dp_{in} – потери давления на входе воздуха в градирню, Па; dp_{out} – потери давления на выходе воздуха из градирни, Па; dp_{pack} – потери давления в насадке, Па.

Список литературы

1. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды.– М.: Госэнергоиздат, 1957.– 314 с.

Тези доповідей 52-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-магістрантів "Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі". // Одеса: ОНПУ, 2017, вип. 52.

2. Клевцов А.В., Радин В.П., Федорович Л.А. Расчет градирни/ Под ред. И.Н. Тамбиевой. – М.: Изд-во МЭИ, 1992. – 72с.
3. Петручик А.И., Солодухин А.Д., Фисенко С.П. Математическое моделирование охлаждения капельных и пленочных течений воды в башенных испарительных градирнях // Инженерно-физический журнал. – 2001. – №1.
4. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Под ред. В.М. Олевского – М.: Химия, 1988. – 240с.
5. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1998
6. Руководство по проектированию градирен. М.: ЦИТП, 1980
7. Солодов А.П., Романенко А.Н., Егорова Н.В., Ежов Е.В. Дифференциальная модель тепломассообмена в испарительных градирнях. // Вестник МЭИ. – М.: Издательство МЭИ. – 2005. – №2. – С.43-53.
8. Солодов А.П., Очков В.Ф. Mathcad. Дифференциальные модели . – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 239 с.
9. Солодов А.П. Интегральный метод решения задач пограничного слоя./ Под ред. А.Б. Матвеева. – М.: Изд-во МЭИ, 1992.–79с.
10. Солодов А.П. Принципы тепломассообмена. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 96с.