

### Список использованных источников

1. Александров А.Я., Ахметзянов М.Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. Москва, Наука, 1973. – 576 с.
2. Tabanyukhova M.V. Photoelastic analysis of change mode I stress intensity factor in elements with angular notches / M.V. Tabanyukhova, V.V. Pangaev // In Proceedings of 16th European Conference of Fracture. Alexandroupolis, Greece, 2006. – P. 447-448.
3. Албаут Г.Н. Модельное определение концентрации напряжений в элементах строительных конструкций с угловыми вырезами / Г.Н. Албаут, М.В. Табанюхова // Известия вузов. Строительство, 2006. – №10. – С. 107-112.
4. Албаут Г.Н. К вопросу об определении коэффициентов интенсивности напряжений в элементах строительных конструкций / Г.Н. Албаут, В.В. Пангаев, М.В. Табанюхова, Н.В. Харина // Известия вузов. Строительство, 2005. – №1. – С. 97-102.

УДК 66.045.53+621.175

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ В ГРАДИРНЕ

Лантева Е.А., Лантев А.Г.

Казанский государственный энергетический университет

**Аннотация.** Рассмотрена задача определения тепловой эффективности по жидкой и газовой фазам в противоточных пленочных градирнях. Из совместного решения уравнения теплового баланса и выражений тепловой эффективности по жидкой и газовой фазам, установлено соотношение между эффективностями охлаждения воды и нагрева воздуха в блоках оросителей. Получено выражение для минимальной скорости воздуха при заданной тепловой эффективности.

**Ключевые слова:** структура потока, регулярные насадки, пленочные градирни, тепловая эффективность.

**Исследование выполнено в рамках научного проекта РНФ 18-79-10136.**

Основной задачей при теоретических исследованиях любых теплообменных аппаратов, в том числе и градирен, является достоверное определение эффективности проводимых процессов. Эффективность, как тепло, так и массообменного процесса чаще всего выражается исходя из достигнутых показателей (концентраций, температур, энтальпий), к максимуму возможно. Например, в теории массопередачи такая эффективность называется эффективностью по Мерффрибарботажных тарелок или коэффициентом извлечения в насадочных абсорберах [1,2].

Тепловая эффективность по охлаждаемой воде в противоточной градирни выражается в виде [3]

$$E_{ж} = \frac{t_H - t_K}{t_H - t^*}, \quad (1)$$

где  $t_H, t_K$  – начальная и конечная температуры охлаждаемой воды;  $t^*$  – температура воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат. Знаменатель в отношении (1) характеризует теоретический предел охлаждения воды. Известно, что большинство промышленных градирен имеют невысокую эффективность ( $E_{ж} = 0,2 - 0,5$ ), особенно в летнее время.

Аналогично отношению (1) запишем тепловые эффективности по газовой (воздушной) фазе в виде отношений энтальпий и влагосодержаний

$$E_{г} = \frac{I_K - I_H}{I_K^* - I_H}, \quad E_x = \frac{x_K - x_H}{x_K^* - x_H}, \quad (2)$$

где  $I_H, I_K$  – начальная и конечная энтальпия влажного воздуха, Дж/кг;  $I_K^*$  – значение энтальпии влажного воздуха на выходе из блока контактных устройств градирни на линии насыщения при температуре воды на входе  $t_H$ ;  $x_K, x_H$  – влагосодержания насыщенного воз-

духа на входе и выходе, кг/кг;  $x_k^*$  – влагосодержание воздуха на выходе при  $t_k$  и относительной влажности 100%.

Значения (1) и (2) записаны относительно максимальных движущих сил теплообменного процесса.

Известна приближенная связь эффективностями по жидкой (1) и газовой (2) фазам в виде [2]

$$\left(\frac{1}{E_{ж}} - 1\right) \approx \left(\frac{1}{E_{г}} - 1\right) \frac{Lc_{рж}}{Gc_{рг}}, \quad (3)$$

где  $L, G$  – массовые расходы жидкой и газовой фаз, кг/с;  $c_{рж}, c_{рг}$  – удельные теплоемкости жидкости и газа, Дж/(кгК).

Для процесса испарительного охлаждения воды зависимость (3) является приближенной, т.к. не учитывает термодинамические параметры состояния влажного воздуха.

Связь между эффективностями (1), (2) можно установить используя уравнение теплового баланса для противоточной градирни, Вт:

$$Q = Lc_{рж}(t_n - t_k) + Q_{и} = G(I_k - I_n), \quad (4)$$

где  $Q$  – поток тепла (тепловая нагрузка), Вт;  $Q_{и} = c_{рж}t_k G(x_k - x_n)$  – поток тепла испарившейся жидкости, Вт;  $x_k, x_n$  – начальное и конечное влагосодержание воздуха, кг/кг.

Из выражений (1), (2) и (4) получим соотношение

$$E_{г} = \frac{E_{ж}Lc_{рж}(t_n - t^*) + Q_{и}}{G(I_k^* - I_n)}. \quad (5)$$

Для практических расчетов реальных градиен выражение (5) удобнее использовать с плотностью орошения  $q_{ж} = L/(\rho_{ж}S)$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> с) или м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>час) и средней скоростью воздуха в рабочем сечении  $w_{г} = G/(\rho_{г}S)$ , где  $\rho_{ж}, \rho_{г}$  – плотности воды и воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поперечного сечения градирни в зоне насадки, м<sup>2</sup>. Тогда получим

$$E_{г} = \frac{E_{ж}\rho_{ж}c_{рж}q_{ж}(t_n - t^*) + Q_{и}}{\rho_{г}w_{г}(I_k^* - I_n)}. \quad (6)$$

Поток тепла испарившейся жидкости с использованием  $E_x$  (2) равен:  $Q_{и} = Gc_{рж}t_k E_x(x_k^* - x_n)$ . Значение  $Q_{и}$  составляет 3-5% от общей тепловой нагрузки.

Таким образом, вычисляя требуемое значение  $E_{ж}$  (1) далее по выражению (6) можно определить требуемую тепловую эффективность по воздушному потоку с учетом реальных термодинамических параметров воды и воздуха, которые могут значительно меняться в зависимости от времени года и метеорологической обстановки. Если из расчетов  $E_{г}$  по (5) будет получено  $E_{г} > 1$ , то значит для заданных условий достигнуть требуемую эффективность охлаждения воды, т.е. это противоречит уравнению теплового баланса (4).

Из условия достижения состояния равновесия на выходе блоков оросителей минимальный расход воздуха равен

$$G_{\min} = \frac{Q}{I_{\kappa}^* - I_{\text{н}}} = \frac{Lc_{\text{рж}}(t_{\text{н}} - t_{\kappa}) + Q_{\text{и}}}{I_{\kappa}^* - I_{\text{н}}}. \quad (7)$$

Отсюда скорость воздуха в рабочем сечении градирни  $w_{\min} = G_{\min} / (S\rho_{\Gamma})$ .

Для достижения высокой эффективности в градирне должно выполняться следующее условие  $w_{\Gamma} > w_{\min}$  исходя из гидродинамических характеристик выбранных блоков оросителей и мощности на подачу воздуха вентиляторами.

Из выражения (6) можно записать максимальную ожидаемую эффективность охлаждения воды  $E_{\text{ж}}$  (1). Например, при  $E_{\Gamma} = 0,99$ , получим

$$E_{\text{ж}} = \frac{0,99\rho_{\Gamma}w_{\Gamma}(I_{\kappa}^* - I_{\text{н}})}{\rho_{\text{ж}}c_{\text{рж}}q_{\text{ж}}(t_{\text{н}} - t^*) + Q_{\text{и}}}, \quad (8)$$

т.е. при заданном режиме  $(w_{\Gamma}, q_{\text{ж}})$  и термодинамических параметрах воды  $(t_{\text{н}}, t^*)$  и воздуха  $(I_{\kappa}^*, I_{\text{н}})$  более глубокое охлаждение воды в данной постановке достичь невозможно.

Тепловую эффективность по газовой фазе, требуемую для охлаждения воды, можно вычислить на основе применения ячеечной или диффузионной моделей структуры потоков [4,5].

#### Список использованных источников

1. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии. Учеб. пособие для вузов. – М.: Химия, 2011. – 1230 с.
2. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования. – М.: Химия, 1971. – 296 с.
3. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. Справочное пособие. Под общ. ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.: ил.
4. Лаптева Е.А., Лаптев А.Г. Прикладные аспекты явлений переноса в аппаратах химической технологии и теплоэнергетики (гидромеханика и тепломассообмен). – Казань: Издательство «Печать-Сервис XXIвек», 2015. – 236 с.
5. Лаптев А.Г., Ведыгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен. Казань: Казанский гос. энерг. ун-т, 2004. – 180 с.

УДК 511.42

### ОЦЕНКА P-АДИЧЕСКОЙ НОРМЫ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО МНОГОЧЛЕНА НА ЦИЛИНДРЫ $Q_p$

Морозова И.М., Кемеш О.Н.

Белорусский государственный аграрный технический университет

**Аннотация.** В настоящей работе дана оценка для величины  $p$ -адической нормы целочисленного многочлена на цилиндры в  $Q_p$ .

**Ключевые слова:** мера Хаара, лемма Гельфонда, размерность Хаусдорфа, поле  $p$ -адических чисел,  $p$ -адический цилиндр, диофантовы приближения,  $p$ -адическая норма.

Часто при решении прикладных задач, возникают ситуации, когда применение архимедовой метрики не описывает суть явления. В этом случае стали использовать неархимедову геометрию и  $p$ -адические числа.

Академик В.С. Владимиров [1] со своими учениками разработали  $p$ -адические модели квантовой механики и теории струн. В. Драгович и А. Драгович [2] описывают  $p$ -адическую модель генетического кода. А.Ю. Хренников [3] применил  $p$ -адический анализ к описанию