УДК 66.021.3/4

Е.А. ЛАПТЕВА, Е.Ю. СТОЛЯРОВА
ФГБОУ ВО «КГЭУ»
г. Казань, Россия

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В МИНЕ-ГРАДИРНЕ С ДИСКРЕТНО-ШЕРОХОВАТОЙ РЕГУЛЯРНОЙ НАСАДКОЙ

Важной задачей является разработка способов интенсификации процессов тепло- массообмена в градирнях. К одним из наиболее эффективных методов относится внесение изменений в конструкции в аппарате путем установки и модернизации насадочных элементов. Насадки увеличивают поверхность контакта фаз газ-жидкость, способствуя тем самым более глубокому охлаждению.

К насадочным контактным устройствам предъявляются следующие требования [1-4]: высокая эффективность; низкое гидравлическое сопротивление; высокая пропускная способность; малая удерживающая способность.

Для выполнения этих требований насадка должна иметь, в первую очередь, по возможности высокую долю свободного объема и развитую геометрическую поверхность. Требованиями к насадке являются также простота технологии изготовления, низкая материалоемкость, а также коррозионная стойкость, прочность [6].

Описание установки

Исследования процессов тепло- массообмена производились на лабораторном макете мини-градирни. Схема лабораторного макета мини-градирни приведена на рис. 1. Лабораторный макет мини градирни представляет собой аппарат для охлаждения воды, заполненный регулярными насадками. Исходная жидкость (вода), которую необходимо охладить из бака-накопителя (9) по трубопроводу насосом (1) подается в теплообменник (2) проходит, через термопару (5), ротаметр (3), где подогревается до 36-38ºС жидкость (вода) через распределительное устройство (6) поступает в мини градирню (колонну) (9). Проходя через слой регулярной насадки происходит увеличение поверхности контакта фаз «жидкость-газ», в результате – интенсификация процессов тепломассообмена. Под регулярной насадкой установлена опорная решетка (10). Воздух (газ) нагнетается воздуходувкой (12) и поступает в колонну (9) в противотоке с жидкостью. В слое насадочных элементов при противоточном движении происходит взаимодействие потоков газа и жидкости. Жидкость (вода) движется вниз, смачивая насадку

и образуя пленку на поверхности элементов. Газ (воздух) движется вверх между насадочными элементами, взаимодействуя с пленкой жидкости (вода), при этом протекают процессы сопряженного тепломассообмена (испарительное охлаждение воды). Насадка используется для образования поверхности контакта между взаимодействующими фазами.

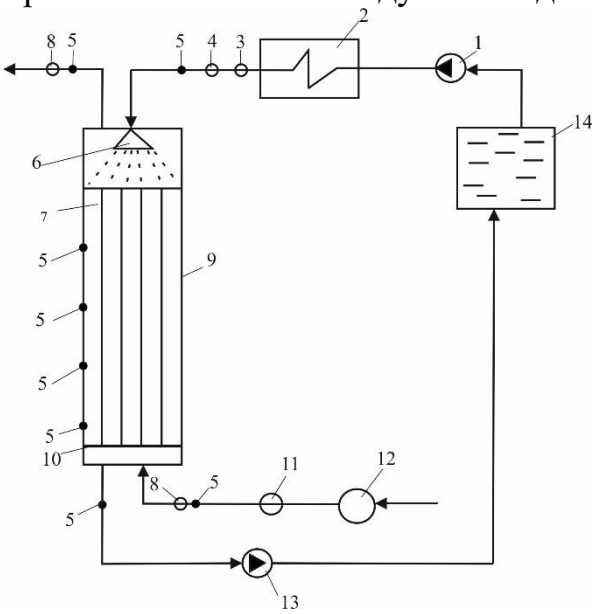

Рис. 1. Лабораторный макет мини-градирни

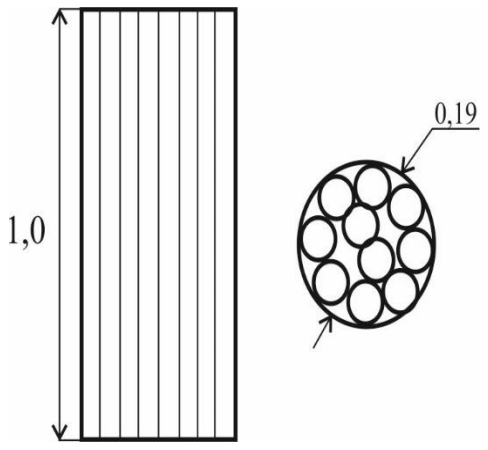

Рис. 2. Вид насадки с боку и сверху

Воздух движется вверх между насадкой, взаимодействуя с пленкой жидкости, при этом протекают процессы сопряженного тепломассообмена (испарительное охлаждение воды). Элементы насадкок используется для образования поверхности контакта между взаимодействующими фазами. Циркуляция жидкости является замкнутой и охлажденная в колонне (9) вода насосом (13) возвращается в бак-накопитель (14). В качестве загрузки применяется регулярная насадка в виде полимерных труб с постоянной дискретной шероховатостью в виде прямоугольных выступов 2 мм и внешним диаметром трубы 50 мм и высотой 1000 мм. Схема размещения насадки приведена на рис. 2.

В колонне размещается 10 труб. Удельная поверхность насадки при этом составляет 110,8 м^2/м^3 (для условно гладких труб).

Экспериментальны проводились при плотности орошения 3,5 м^3/ч - 15,9 м^3/ч и скорости воздуха от 0.5 до 2,5 м/с.

Тепловая эффективность по охлаждаемой воде в противоточной градирне выражается в виде

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

где $t_н, t_к$ – начальная и конечная температуры охлаждаемой воды; t^* – температура воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат.

Тепловые эффективности по газовой (воздушной) фазе представим в виде отношений энтальпий и влагосодержаний

$$E_г = \frac{I_к - I_н}{I_к^* - I_н}, \qquad E_x = \frac{x_к - x_н}{x_к^* - x_н}, \tag{2}$$

где $I_н, I_к$ – начальная и конечная энтальпия влажного воздуха, Дж/кг; $I_к^*$ –энтальпия влажного воздуха на выходе из насадочных устройств градирни на линии насыщения при температуре воды на входе $t_н$; $x_к, x_н$ - влагосодержания насыщенного воздуха на входе и выходе, кг/кг; $x_к^*$ - влагосодержание воздуха на выходе при $t_к$ и относительной влажности 100%.

Коэффициент гидравлического сопротивления блока насадки связан с перепадом давления в орошаемом канале уравнением Дарси- Вейсбаха

$$\xi_{ор} = \frac{2\Delta P_{ор} d_э}{H \rho_г w_г^2}. \tag{3}$$

где $\Delta P_{ор}$ - перепад давления, Па; $d_э$ - эквивалентный диаметр насадки, м; H - высота слоя насадки, м; $\rho_г$ - плотность газа, кг/м^3; $w_г^2$ - скорость газа, м/с.

Эксперименты проводились на орошаемой колонне при разных скоростях газа и различных плотностях орошения. Результаты экспериментов приведены на рисунках 3-5.

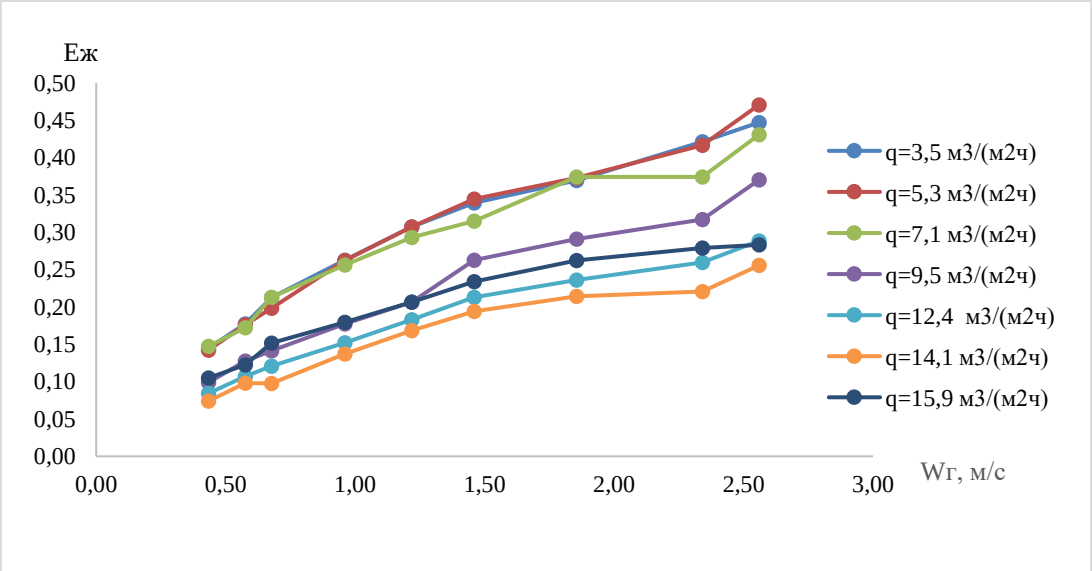

Рис. 3 – График тепловой эффективности по жидкой фазе от скорости газа при различных плотностях орошения

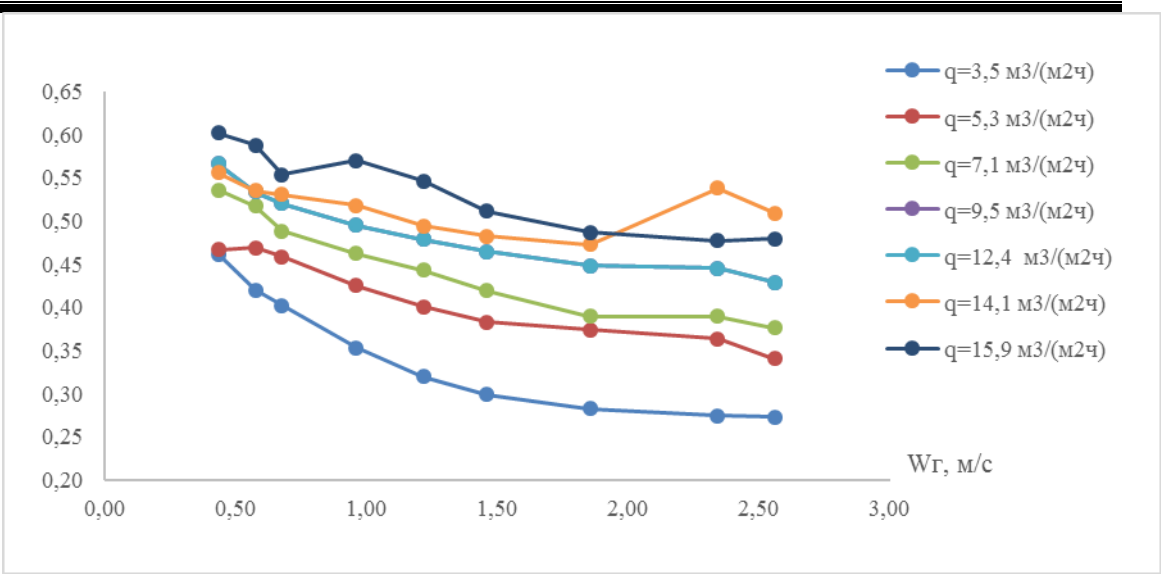

Рис. 4. График тепловой эффективности по газовой фазе при различных плотностях орошения

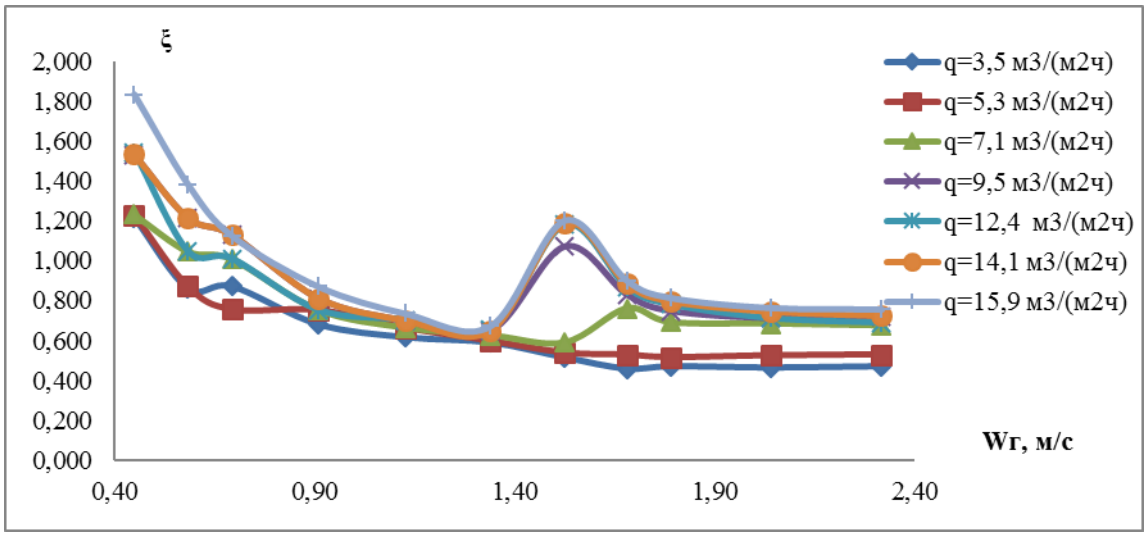

Рис. 5 График коэффициента гидравлического сопротивления от скорости газа при различных плотностях орошения

Выводы

График зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от скорости газа имеет нисходящую тенденцию, однако между скоростями газа 1,3 и 1,7 м/с заметен резкий скачок, начиная с плотности орошения 7,1 $м^3/(м^2 \cdot ч)$. В данных точках наблюдается начало подвисания воды в насадке. Происходит так называемый переходный режим, после которого снова наблюдается снижение гидравлического сопротивления, но уже значительно менее интенсивно, чем при меньших скоростях газа, при этом увеличение расхода газа закономерно приведет к повышению затрат, следовательно, можно сделать вывод, что рабочим диапазоном скоростей газа явля-

ется интервал от 0,4 до 1,3 м/с и дальнейшее скорости увеличение нецелесообразно. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено влияние режимных параметров на эффективность охлаждения воды и в колонне с регулярной насадкой с дискретно-шероховатыми стенками, которые могут применяться при проектировании градирни.

Исследование выполнено в рамках научного проекта РНФ 18-79-101-36

Список литературы:

1. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии. М. : Издательство Юрайт, 2018. — 1230 с.
2. Лаптев А.Г. Проектирование и модернизация аппаратов разделения в нефте- и газопереработке. – Казань: Печатный двор, 2002, 202 с.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов, М., изд. Химия, 1976, с. 655.
4. Сокол Б.А., Чернышов А.К., Баранов Д.А. и др. Насадки массообменных колонн, ЗАО «Инфохим», М., 2009, 358 с.
5. Каган А.М., Лаптев А.Г., Пушнов А.С., Фарахов М.И. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов. Монография. Под ред. Лаптева А.Г. – Казань: Отечество, 2013, - 454 с.

Информация об авторах:
Лаптева Елена Анатольевна, доцент, к.т.н., доцент КГЭУ, 420066 г. Казань, ул. Красносельская д. 51. Grivka100@mail.ru
Столярова Екатерина Юрьевна, аспирант КГЭУ, 420066 г. Казань, ул. Красносельская д. 51. esenin44_44@mail.ru