

УДК 536.24

Н.П.Саевич, аспирант;
 А.И.Ершов, профессор;
 Д.Г.Калишук, ст.преподаватель

АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА ПРИ МАЛЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПОРАХ

The concern in the work is put on results of experimental investigations of appropriatenesses of heat-exchange with entering steam into boiling liquid and its even distribution among pipes in the process of utilization of low-potential heat in a shell and pipe heat-exchanger.

Одним из путей снижения энергозатрат на проведение технологических процессов является утилизация вторичного тепла. Например, в ректификационных установках, предназначенных для разделения сложных смесей и содержащих несколько последовательно работающих колонных аппаратов, пары дистиллята и флегмы (ПДФ) высокотемпературной колонны можно направить на конденсацию в испаритель низкотемпературной колонны, используя при этом их тепло.

В работе [1] приводится техникоэкономическая оценка целесообразности использования тепла ПДФ при разделении продуктов окисления циклогексана в производстве капролактама, где разность температур верха высокотемпературной колонны и низа низкотемпературной колонны находится в пределах до 22 К. На основании такой оценки для получения гарантированного положительного экономического эффекта необходимо интенсифицировать процесс теплообмена.

Из литературы [2,3] известно, что интенсификации теплообмена между конденсирующейся и кипящей средами можно достичь за счет ввода острого пара в кипящую жидкость. Однако научная информация о закономерностях теплообмена с вводом острого пара в кипящую жидкость при малых температурных напорах отсутствует.

Авторами были проведены экспериментальные исследования влияния ввода острого пара на начальном участке трубы при $T < 15$ К. Во время опытов менялись температурный напор, уровень светлой жидкости в трубе, а также соотношение расходов острого пара и испарявшейся жидкости. Модельной средой служила дистиллированная вода. Погрешность измерения расходов не превышала 3%, температура определялась с точностью 0,5 К.

На рис.1 представлены некоторые результаты исследований, согласно которым:

1) при малых температурных напорах интенсивность теплообмена возрастает с вводом острого пара в жидкость, причем увеличение теплового потока достигает 50% при соотношении расходов острого пара и испаряющейся жидкости $\bar{g} = 0,2-0,3$;

2) с повышением температурного напора и высоты уровня светлой жидкости более 50% от длины труб интенсифицирующий эффект снижается;

3) для достижения интенсификации теплообмена в кожухотрубных вертикальных испарителях требуется равномерное распределение пара по трубам, т. к. ощутимый положительный эффект наблюдается в узком диапазоне значений \bar{g} .

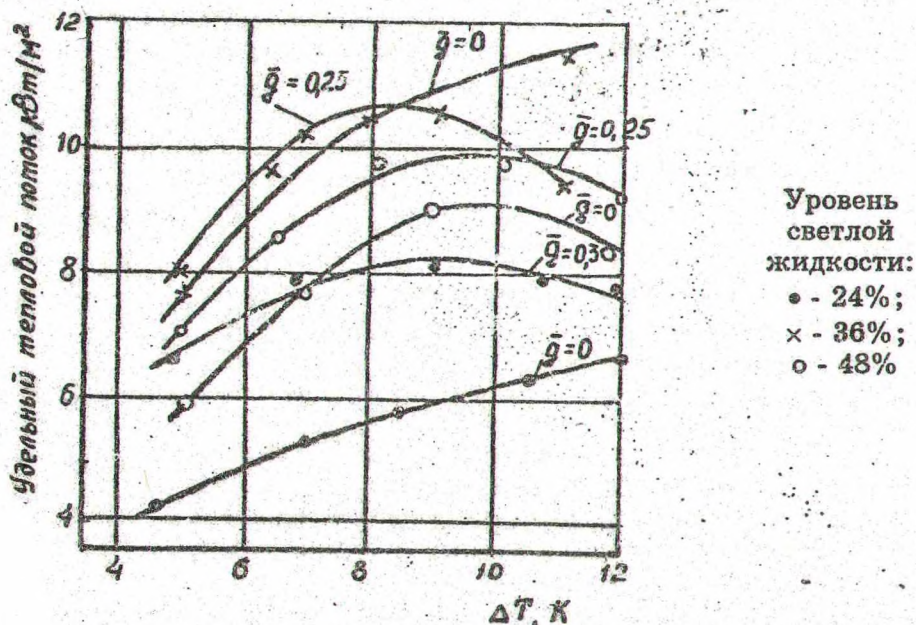


Рис.1. Зависимость удельного теплового потока от температурного напора при различных уровнях светлой жидкости.

На практике равномерность распределения пара в многотрубных аппаратах достигается за счет применения калиброванных отверстий малого диаметра в боковой стенке труб на входном участке и поддержания значительного уровня паровой подушки под трубной решеткой [4,5]. Как известно, в кубовой жидкости при ректификации содержатся механические примеси и смолообразующие вещества, поэтому распределители с калиброванными отверстиями будут быстро заби-

ваться. Парораспределители же в виде дырчатых листов [2] не склонны к загрязнениям, однако они не обеспечивают четкого распределения и требуют высокой точности монтажа.

Исходя из вышесказанного нами предложена конструкция парораспределителя, отличительной особенностью которой является наличие двух ступеней распределения. С целью установления стабильности работы были проведены сравнительные испытания новой конструкции и дырчатого листа на моделях промышленного масштаба с трубными пучками, содержащими по 61 трубе диаметром 18x1,5 мм. В качестве модельных сред использованы воздух и вода, причем нагрузки по воздуху изменялись от 0,05 до 0,5 м³/(м²×с), а по жидкости - от 0,005 до 0,05 м³/(м²×с). При проведении опытов также имитировались перекосы распределителей относительно горизонтали.

Равномерность распределения оценивалась по величине объемных газосодержаний в трубках, расположенных в радиальной плоскости трубного пучка. Газосодержание определялось по уровню светлой жидкости в измерительных трубках, подключенных по принципу сообщающихся сосудов к трубкам трубного пучка. В измерительных трубках были установлены линейные электроды, падение напряжения на которых соответствовало определенной глубине их погружения.

Гистограммы газосодержания, полученные при испытаниях двухступенчатого распределителя и дырчатого листа при различных нагрузках по фазам, представлены на рис.2. Количественная оценка характера газораспределения осуществлялась коэффициентом неравномерности K , который определялся по зависимостям:

$$K = \left(\sum_{i=1}^n |1 - \bar{\alpha}_i| \right) / n; \quad (1)$$

$$\bar{\alpha}_i = \left(\alpha_i - \alpha_{cp} \right) / \alpha_{cp}, \quad (2)$$

где $\bar{\alpha}_i$ - относительное газосодержание i -той точки измерения; n - количество точек измерения; α_i - газосодержание в i -той точке измерения; α_{cp} - среднее газосодержание.

Сравнительный анализ показывает, что двухступенчатый газораспределитель обеспечивает более равномерное распределение газа по сравнению с дырчатым листом. Коэффициент неравномерности у двухступенчатого распределителя изменяется от 0,006 до 0,025, у дырчатого листа (при условии строго горизонтальной установки его) - от 0,018 до 0,045. Максимальное отклонение расхода газа от среднего его значения для всех трубок при использовании дырчатого листа до-

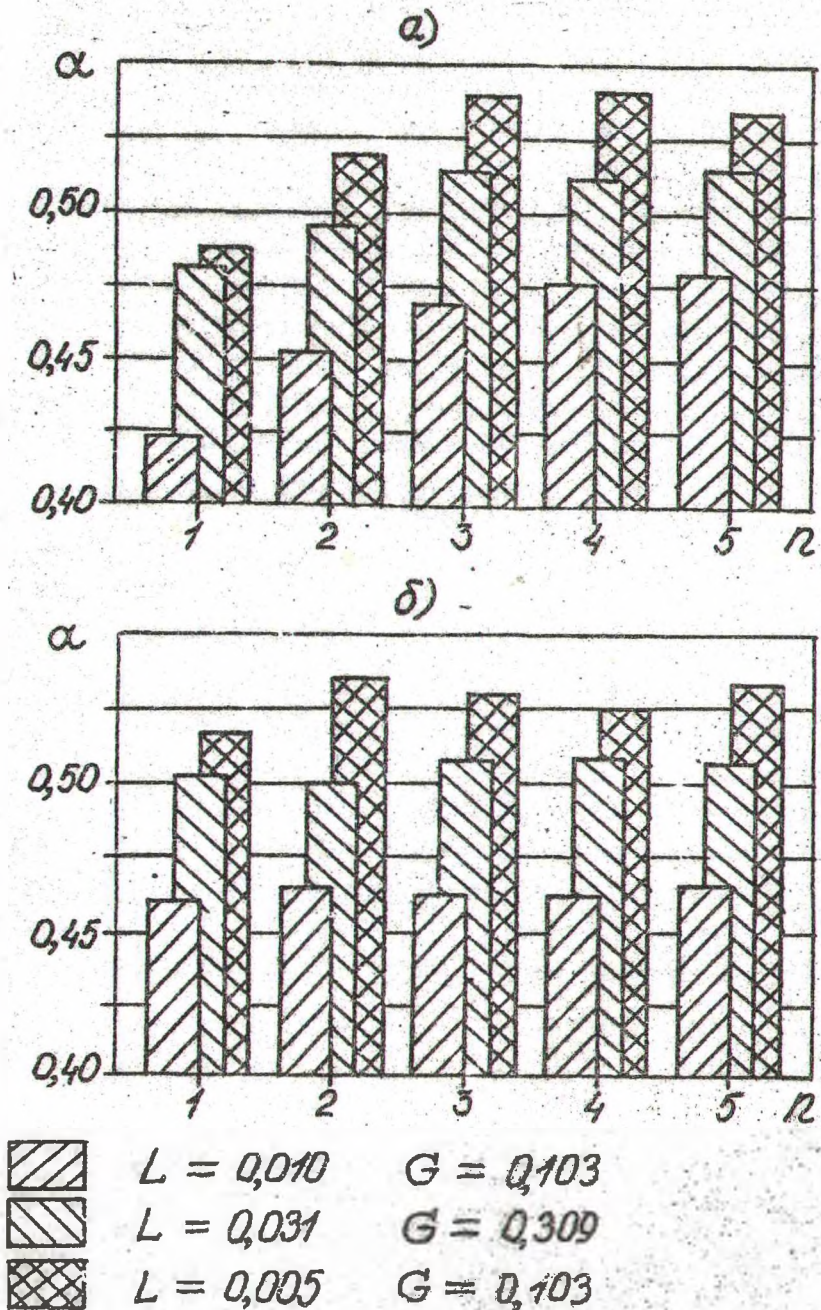


Рис. 2. Гис ограммы газосодержания: а - дырчатый лист; б - двухступенчатый парораспределитель; L и G - расходы жидкости и газа соответственно, м/(м·с); п - номер измерительной ячейки (5-соответствует центру)

стигает 30%, при использовании двухступенчатого распределителя составляет не более 10%.

Таким образом, согласно полученным результатам разработанная конструкция обеспечивает стабильное распределение двухфазной среды в трубном пучке, малочувствительна к загрязнениям и позволяет производить монтаж в стандартные теплообменники, не подвергая их конструктивным изменениям. К тому же она показывает устойчивую работу при значительной негоризонтальности (до 30 мм на 1 м длины).

Предложенный метод интенсификации теплообмена и устройство распределения пара (газа) для кожухотрубных аппаратов заложены в проект реконструкции ректификационной установки [6] производства капролактама Гродненского ПО "Азот". Реализация проекта позволит экономить 8 - 12 тыс. Гкал тепловой энергии в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калишук Д.Г. Техноэкономическая оценка эффективности работы теплообменных установок // Труды Белорусского технологического института. Химия и технология неорганических веществ. Сер. III - Мн., 1993. - Вып. 1. - С. 56-59.
2. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. - М.: Высшая школа, 1986.
3. Таубман Е.И. Выпаривание. - М.: Химия, 1982.
4. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. - Л.: Машиностроение, 1976.
5. Рамм В.М. Абсорбция газов. - М.: Химия, 1976.
6. А.с. 1386217 СССР. Установка для ректификации многокомпонентных смесей / А.И. Ершов, М.Ф. Шнайдерман, Д.Г. Калишук и др. // Бюл. изобр. - 1988. - N13.