

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

Н.П. Саевич, А.И. Ершов, Д.Г. Калишук

Белорусский государственный технологический университет

Ключевые слова: интенсификация, острый пар, парораспределитель, газосодержание.

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.

Ранее была проведена техноэкономическая 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 22К. На основании такой оценки для получения гарантированного

положительного экономического эффекта необходимо интенсифицировать процесс теплообмена.

Из литературы 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  $DT < 15$  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 0.5К.

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  $\bar{g}$ .

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. Как известно, в кубовой жидкости при ректификации содержатся механические примеси и смолообразующие вещества, поэтому распределители с калиброванными отверстиями будут быстро забиваться. Парораспределители же в виде дырчатых листов не

склонны к загрязнениям, однако они не обеспечивают четкого распределения и требуют высокой точности монтажа.

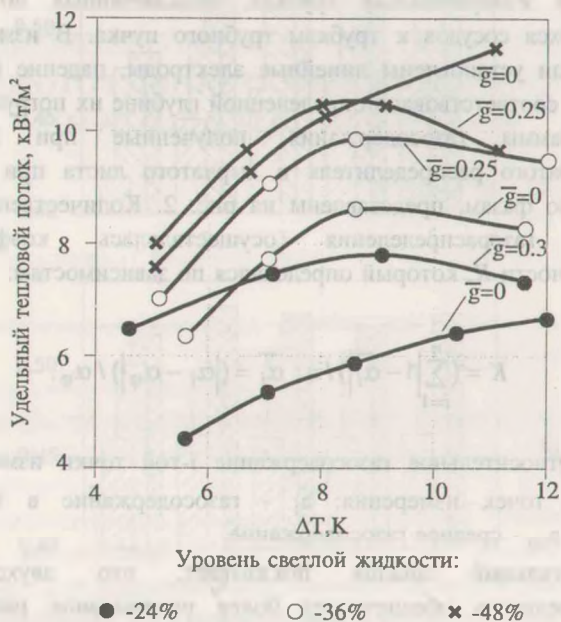


Рис. 1. Зависимость удельного теплового потока от температурного напора при различных уровнях светлой жидкости.

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 нагрузка по воздуху изменялась от 0.05 до 0.5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с), а по жидкости - от 0.005 до 0.05 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с). При проведении опытов также имитировались перекосы распределителей относительно горизонтали.

Равномерность распределения оценивалась по величине объемных газосодержаний в трубах, 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:

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

где  $\bar{\alpha}_i$  - относительное газосодержание  $i$ -той точки измерения;  $n$  - количество точек измерения;  $\alpha_i$  - газосодержание в  $i$ -той точке измерения;  $\alpha_{cp}$  - 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) - 0.018 до 0.045. Максимальное отклонение расхода газа от среднего его значения для всех трубок при использовании дырчатого листа достигает 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).

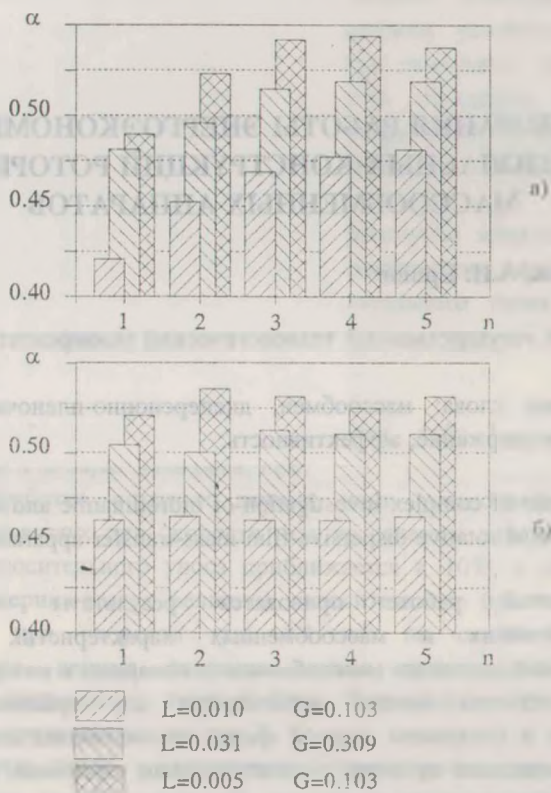


Рис. 2. Гистограммы газосодержания: а - дырчатый лист; б - двухступенчатый парораспределитель; L и G - расходы жидкости газа соответственно,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; n - номер измерительной ячейки (5 - соответствует центру).

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