

А. И. ЕРШОВ, Л. В. НОВОСЕЛЬСКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ В ПРЯМОТОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Быстрое развитие химической и нефтехимической промышленности вызывает необходимость резкого увеличения производительности и эффективности массообменных аппаратов.

Используемые в настоящее время на практике тарельчатые ректификационные колонны с колпачковыми, ситчатыми, клапанными и другими тарелками обладают сравнительно низкой эффективностью и пропускной способностью по паровой фазе, следствием чего являются большая их высота и диаметр. Расход пара через контактные устройства вышеуказанных тарелок сдерживается нарушением нормальной работы, которое проявляется либо в захлебывании, либо в превышении допустимой величины уноса жидкости на вышележащую тарелку.

Применение прямоточных контактных устройств позволит значительно увеличить скорость газа (пара) и удельную производительность. Работа этих устройств характеризуется специфическими условиями осуществления взаимодействия фаз: пары, поступающие на ступень контакта, транспортируют всю жидкость по этой ступени, образуя однопроводный двухфазный поток. Взаимодействие происходит фактически в режиме 100%-ного уноса жидкости, поэтому скорости пара здесь могут быть повышены неограниченно и лимитируются лишь допустимыми величинами потери давления на гидравлические сопротивления, а также условиями оптимальной сепарации фаз после их контактирования.

Анализ опубликованных данных по исследованию массообмена в режиме прямотока фаз [1] позволяет заключить, что в этих условиях конвективный массоперенос заметно выше, чем при противопотоке фаз.

Для дополнительной интенсификации процесса массопередачи с последующей четкой сепарацией жидкости из газового потока после ступени контакта на кафедре процессов и аппаратов химических производств БТИ им. С. М. Кирова разработаны прямоточно-центробежные устройства элементного типа с взаимодействием фаз в скоростном закрученном потоке. Эти элементы обладают высокой пропускной способностью и могут работать с рециркуляцией [2,3] жидкости на каждой тарелке и без нее [4].

Исследование процесса абсорбции подтвердило факт значительной интенсификации массообмена при взаимодействии фаз в закрученном потоке [5].

Высокоскоростной массообмен применительно к прямоточной ректификации мало изучался, хотя в данном случае наличие повышенных гидравлических сопротивлений, по заявлению специалистов [6], не имеет особого значения, так как в кубе ректификационной колонны путем небольшого повышения температуры всегда можно создать требуемое давление паров без сколько-нибудь существенного увеличения энергетических затрат на испарение разделяемой смеси.

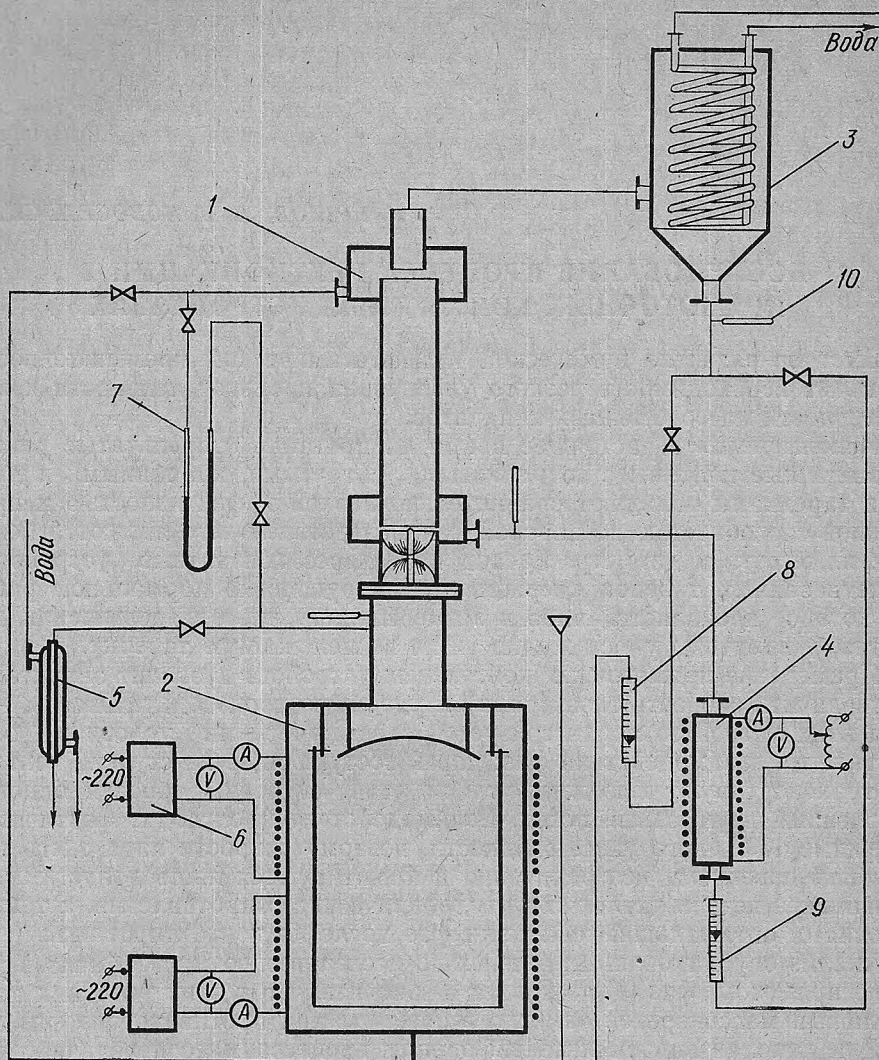


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Для изучения эффективности массообмена при ректификации в аппарате с прямоточным контактным устройством в условиях восходящего закрученного потока создана экспериментальная установка (рис. 1).

Установка состоит из куба-испарителя 2, ректификационной колонки 1, дефлегматора 3, перегочных линий и контрольно-измерительных приборов (4 — нагреватель; 5 — холодильник; 6 — нагреватель РНО; 7 — дифманометр; 8—9 — ротаметры; 10 — термометр).

Куб-испаритель емкостью 35 л выполнен из нержавеющей стали, снабжен уровнемером, карманом для установки термометра и карманом для отбора проб. При создании контактного элемента предусматривалась такая его конструкция, которая сводила бы к минимуму взаимодействие фаз вне закрученного потока и обеспечивала бы сепарацию фаз на выходе из контактного элемента (рис. 2). Во время проведения экспериментов предусматривалась возможность замены ста-

тических закручивателей в одном и том же контактном элементе с целью исследования влияния угла подъема винтовой линии на массообмен.

Цель исследования — изучение вопросов гидродинамики и массообмена при ректификации в прямоточном контактном устройстве с подкруткой потока. Экспериментально исследовалось влияние орошения, флегмового числа, структуры потока, шага закручивателя на эффективность контактного устройства.

Определяющим критерием эффективности принята высота единицы переноса. Для сравнения эффективности массообмена в осевом и закрученном потоке была проведена серия опытов:

1) без турбулизирующих вставок с переменной и постоянной флегмой;

2) с завихрителями различного типа при разных скоростях парового потока и переменных орошениях.

Схема материальных потоков и графическое изображение процесса представлены на рис. 3. Скорость пара находилась по уравнению расхода $W = V_n : F$,

$$W = \frac{V_n}{F},$$

где V_n — объемный расход пара, м³/сек;

F — площадь поперечного сечения контактной трубки, м².

В каждом опыте определялся состав пара на входе по показателю преломления с помощью рефрактометра типа ИРФ-22, который термостатировался термостатом ТС-24.

При расчете процесса массопередачи его движущая сила выражалась косвенно через число единиц переноса (ЧЕП), а кинетика — через высоту единиц переноса (ВЕП). В связи с тем что расчет ЧЕП и нахождение средней мольной доли спирта в паре $Y_{ср}$ представляет собой довольно трудоемкий процесс, была составлена программа численного расчета на ЭВМ «Минск-22». В целом программа содержит три стандартные процедуры:

1) PROCEDURE SIG — процедура интерполяции функции $\frac{1}{Y^* - Y}$;

2) PROCEDURE SIMPS — процедура вычисления интеграла по правилу Симпсона;

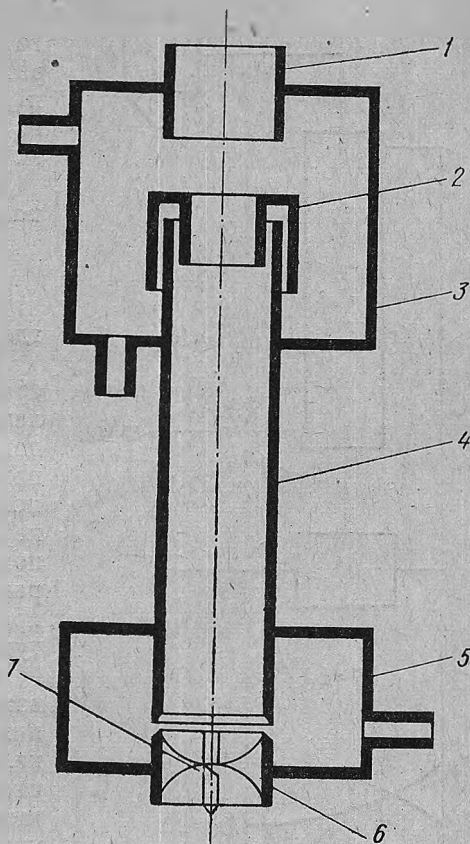


Рис. 2. Схема контактного элемента:

1, 4, 6 — выходной, контактный и входной патрубки; 2 — сепаратор; 3, 5 — верхняя и приемная камеры; 7 — завихритель.

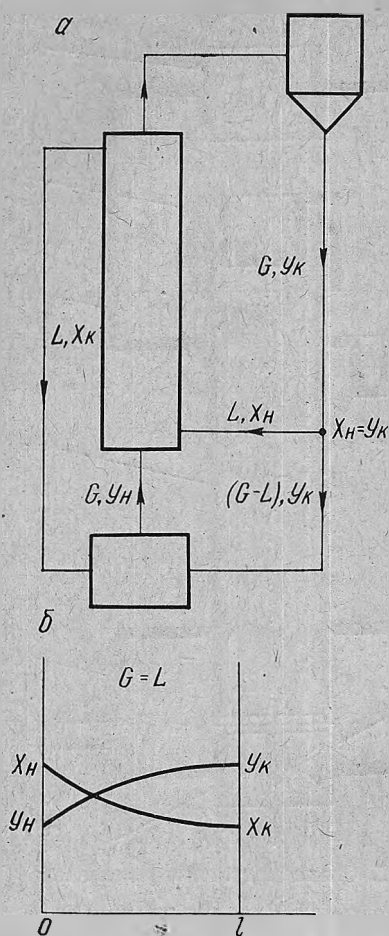


Рис. 3. Схема материальных потоков (а) и график процесса (б).

В ходе работы изучалось влияние угла подъема винтовой линии статических закручивателей. За определяющий геометрический параметр выбрано отношение шага статического закручивателя к его диаметру. Шаг статического закручивателя определяет интенсивность вращения жидкости. С уменьшением угла подъема винтовой линии закручивателя в поле центробежных сил увеличивается тангенциальная составляющая скорости, что ведет к уменьшению толщины пограничного слоя [7].

Так как значительная доля общего диффузионного сопротивления сосредоточена в диффузионном пограничном слое, то влияние крутки на уменьшение его толщины способствует интенсификации процесса переноса массы (рис. 4). Из графиков видно, что минимальная высота единицы переноса в наших опытах соответствует $\Gamma = t : d = 0,86$. С уменьшением шага статического закручивателя растет гидравлическое сопротивление (рис. 6).

С целью обеспечения наиболее экономичной работы скоростных аппаратов к установке в контактные патрубки следует принимать стати-

3) на основании метода половинного деления нахождение значений, равных половине площади интеграла, и соответствующей ей координаты $Y_{\text{ср}}$. Программа записана на языке АЛГОЛ-60.

Высота единиц переноса рассчитывалась по уравнению

$$\text{ВЭП} = \frac{H}{\text{ЧЭП}},$$

где H — высота зоны контакта, м.

На основании результатов (рис. 4) сравнительной серии опытов установлено, что ВЭП в осевом прямооточном движении значительно больше, чем при взаимодействии фаз в закрученном потоке. Следовательно, механизм переноса массы в осевом и закрученном потоках носит неодинаковый характер, так как при крутке перераспределяются поля скоростей и структура двухфазного потока.

Основная серия опытов посвящена взаимодействию фаз при ректификации в восходящем закрученном потоке. Исследование влияния флегмового числа на эффективность работы контактного устройства показало, что с увеличением флегмового числа ВЭП заметно падает (рис. 5). Но при R , равном 2—3, ВЭП, а следовательно, и эффективность остаются постоянными. Это послужило основанием для проведения дальнейших исследований при полной флегме.

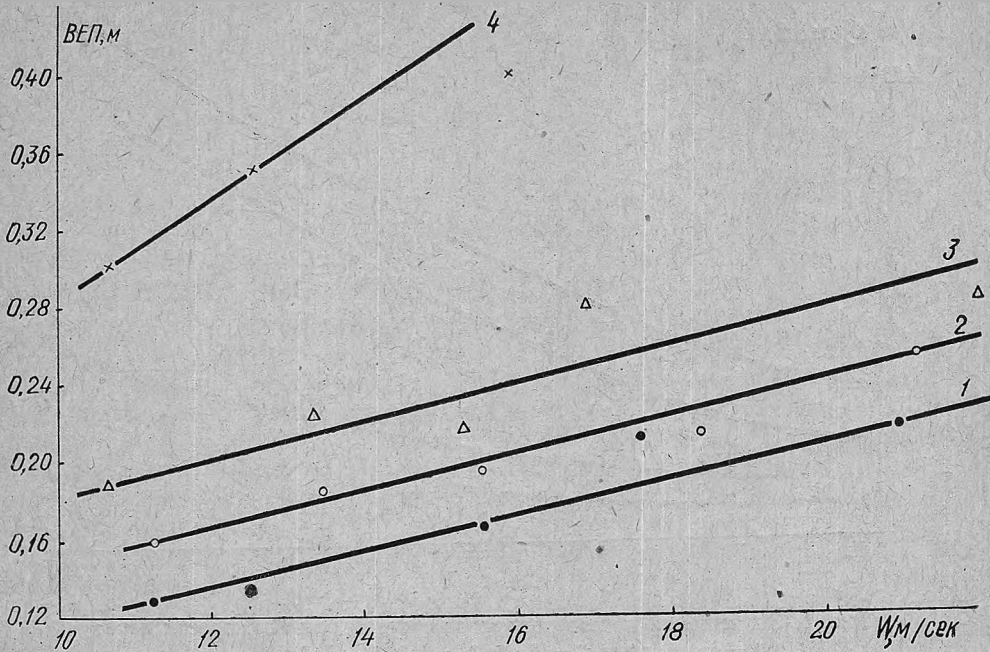


Рис. 4. Зависимость ВЕП от средней осевой скорости пара:
 1 — $\Gamma_1=0,86$; 2 — $\Gamma_2=1$; 3 — $\Gamma_3=1,8$; 4 — осевой поток. Во всех случаях $I_1=12,3$ л/час.

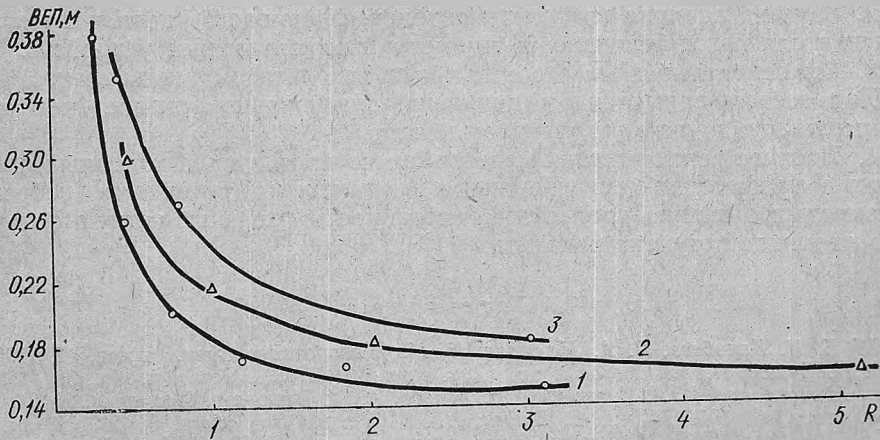


Рис. 5. Зависимость ВЕП от флегмы:
 $VEP = f(R)$; 1 — $W = 15,6$ м/сек; 2 — $W = 21$ м/сек; 3 — $W = 24$ м/сек.

ческие закручиватели с определенным углом подъема винтовой линии, а именно с характеристикой $1,5 < \Gamma < 2,5$. Статические закручиватели с большим углом подъема при низких скоростях могут не обеспечить достаточное отделение жидкости от пара между ступенями контакта. Применение закручивателей с $\Gamma < 1,5$ приводит к сравнительно небольшому увеличению интенсивности процесса при значительном возрастании гидравлического сопротивления.

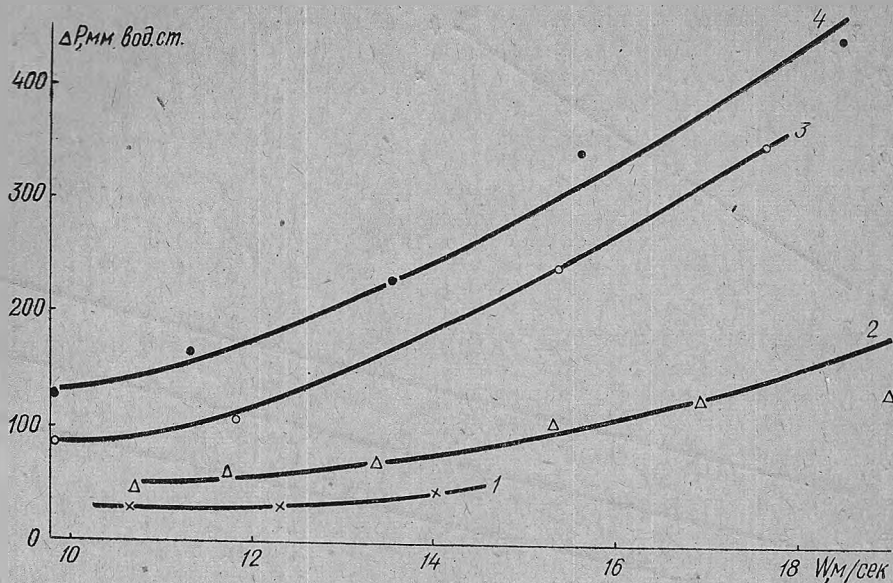


Рис. 6. Зависимость потери напора от средней осевой скорости пара:
1 — осевой поток; 2 — $\Gamma=18$; 3 — $\Gamma=1$; 4 — $\Gamma=0,86$.

Выводы

1. Исследован процесс ректификации в условиях однонаправленного закрученного потока.
2. Изучено влияние структуры потоков, флегмового числа и шага закручивателя на эффективность прямоточных контактных устройств.
3. На основании экспериментальных результатов установлено, что ВЕП в осевом прямоточном движении значительно больше, чем при взаимодействии фаз в закрученном потоке.
4. Процесс ректификации целесообразно проводить в колонных аппаратах с прямоточно-центробежными контактными тарелками, обеспечивающими высокую пропускную способность фаз и их четкую сепарацию на каждой ступени контакта.

Литература

- [1] Б. И. Конобеев, В. А. Малюсов, Н. М. Жаворонков. Хим. пром., 7 (1961).
 [2] А. И. Ершов, И. М. Плехов и др. Авт. свид. № 257439. Бюлл. изобр., 36 (1969).
 [3] Н. А. Николаев, В. А. Булкин, Б. М. Азизов, А. М. Николаев. Авт. свид. № 210085. Бюлл. изобр., 6 (1968). [4] А. Е. Ершов, И. М. Плехов. Авт. свид. № 182108. Бюлл. изобр., 11 (1966). [5] Л. М. Гухман. Канд. дисс. Волгоград, 1969. [6] Н. А. Николаев. Тр. Каз. хим.-техн. ин-та, 35 (1965). [7] Л. М. Гухман, А. И. Ершов. Общая и прикладная химия, 3 (1970).