

УДК 66.048.3

Соколов М.В., Ульєв Л.М., Сулима А.Н.

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОН

**Введение.** Тепломассообменные аппараты в пищевой, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической и других отраслях промышленности – наиболее объемны и дорогостоящи. Их размеры при прочих равных условиях определяются контактными устройствами, обеспечивающими взаимодействие фаз в аппарате. Поэтому правильный выбор контактных элементов в тепломассообменных процессах – основное условие снижения стоимости оборудования [1].

Одним из путей интенсификации массообменных процессов в системе пар-жидкость является создание на внутренних устройствах развитой поверхности контакта фаз при высокой турбулизации газожидкостного слоя [2]. Многочисленные попытки улучшить на этой основе условия массообмена и движение потоков привели к созданию различных конструкций контактных устройств.

На практике наибольшее распространение получили насадочные и тарельчатые контактные элементы. Их располагают в аппаратах колонного типа с устройствами, распределяющими жидкость по сечению колонны [3].

Конструкция насадочных аппаратов более проста, она обладает малым гидравлическим сопротивлением и может быть изготовлена из неметаллических материалов, следовательно, применимы для работы в агрессивных средах. Насадочные колонные аппараты непригодны для работы с полимеризующимися и загрязненными твердыми примесями жидкостями из-за возможного засорения и «зарастания» насадки.

Тарельчатые аппараты позволяют получить хороший межфазовый контакт в значительно большем диапазоне изменения нагрузок по газу и жидкости. Они больше подходят для работы с загрязненными средами, в них удобней отводить тепло, выделяющееся в процессе поглощения газов. Однако конструктивно эти аппараты, как правило, сложнее, чем насадочные, и при большом числе тарелок могут обладать значительным сопротивлением.

От надежной работы колонных аппаратов зависит качество выпускаемой продукции и производительность предприятий.

Приступая к выбору и конструированию колонного аппарата для проведения конкретного массообменного процесса, необходимо всесторонне оценивать условия эксплуатации, требования с точки зрения изготовления, эффективности процесса, ремонтнопригодности, срока службы и др. В связи с этим любое неправильное конструктивное решение может привести к неустойчивой работе всего массообменного аппарата.

**Постановка задачи.** Высокоэффективное оборудование – одна из важнейших составляющих деятельности отраслевых научно-исследовательских институтов. Создание высокопроизводительных и эффективных колонных аппаратов для промышленных ректификационных установок связано с разработкой более совершенных конструкций контактных устройств и надежных методов их расчета. Для выполнения таких задач необходимы теоретические и научно-исследовательские работы, проведение которых невозможно без экспериментальных испытательных стендов и квалифицированных специалистов [4].

Контактные устройства колонных аппаратов должны удовлетворять ряду требований:

- обеспечить заданную пропускную способность по пару и жидкости;
- обеспечить высокую эффективность локального контакта фаз;
- обеспечить минимальное гидравлическое сопротивление;
- обеспечить необходимый диапазон устойчивой работы.

**Экспериментальная база.** В ПАО «УкрНИИхиммаш» для исследования гидродинамических и тепломассообменных процессов и оборудования создана научная база, которая включает стенды:

- 1) с царговой колонной Ø 230 мм;
- 2) с колонной Ø 600 мм или прямоугольным коробом размером 1500x400 мм;
- 3) с ректификационной колонной Ø 100/80 мм.

Целью работы на данных исследовательских установках является определение основных гидродинамических характеристик разрабатываемых контактных устройств, исследование их эффективности и получение надежных зависимостей для их расчета.

На рис. 1 приведена принципиальная технологическая схема стенда для исследования гидродинамических и массообменных характеристик тарельчатых и насадочных контактных устройств различных

типов на системе вода-воздух и в условиях десорбции аммиака из водных растворов воздухом с царговой колонной Ø 230 мм. При исследовании гидродинамики стенды работают по циркуляционной схеме подачи воды и воздуха, а при исследовании массопередачи – по открытой схеме.

Экспериментальная установка предназначена для исследования контактных устройств – тарелок и насадок различных типов.

Производительность м<sup>3</sup>/ч, не более: по воде – 30; по воздуху – 620. Мощность установленная (суммарная) – 5 кВт/ч.

Экспериментальная установка состоит из сварной рамы, выполненной из профильного металла, на которой смонтирована кубовая часть колонны К. На кубовую часть Ø 600 мм и высотой 650 мм устанавливаются царги Ø 230 мм, состоящие из металлического каркаса и прозрачной обечайки из органического стекла.

При работе на воде из емкости E2 жидкость подается насосом Н на распределительное устройство, закрепленное в верхней части колонны К. Замер количества подаваемого раствора производится ротаметром.

Далее жидкость стекает на испытываемую конструкцию контактного устройства, пройдя которое, попадает в кубовую часть, а затем в сборник С, имеющий прямоугольную форму, емкостью 300 л, который так же соединен с насосом Н.

При замкнутом цикле, жидкость подается из сборника С в верхнюю часть колонны. Избыток раствора через байпасную линию возвращается в емкость исходного сырья E2.

Работа установки с аммиачным раствором осуществляется следующим образом: 25 % аммиачная вода заливается в емкость E1, откуда в необходимом количестве подается в емкость E2, где разбавляется водой до рабочей концентрации ~ 6 г/л и далее насосом на распределительное устройство колонны.

Воздух из воздуходувки подается в нижнюю часть колонны, а оттуда поступает внутрь колонны на испытываемое контактное устройство. Количество поступающего воздуха регулируется заслонкой З и контролируется диафрагмой.

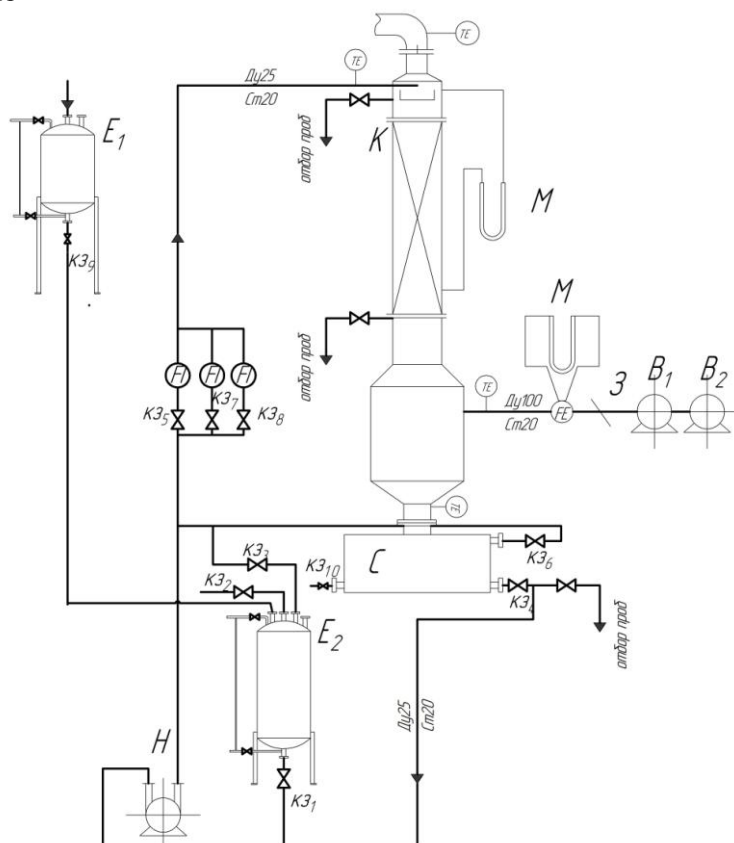


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема стенда для исследования гидродинамики с царговой колонной Ø 230 мм:

*K* – колонна; *E*<sub>1-2</sub> – емкости; *C* – сборник; *H* – насос; *FI* – ротаметры; *KZ*<sub>1-10</sub> – клапаны запорные; *B*<sub>1-2</sub> – воздуходувки; *Z* – заслонка; *FE* – диафрагма; *M* – манометр; *TE* – термометры

Расход раствора контролируется ротаметром.

Замеряется температура воздуха на входе и выходе из колонны, а так же температура раствора на входе и выходе.

Управление стендом сосредоточено на приборном щите.

На рис. 2 приведена принципиальная технологическая схема стенда для исследования массообменных характеристик насадочных контактных устройств различных конструкций при ректификации смеси этанола и воды.

Экспериментальная установка состоит из сварной рамы, выполненной из профильного металла, на которой смонтирована кубовая часть колонны.

На кубовую часть колонны установлены металлические царги диаметром 80 и 100 мм.

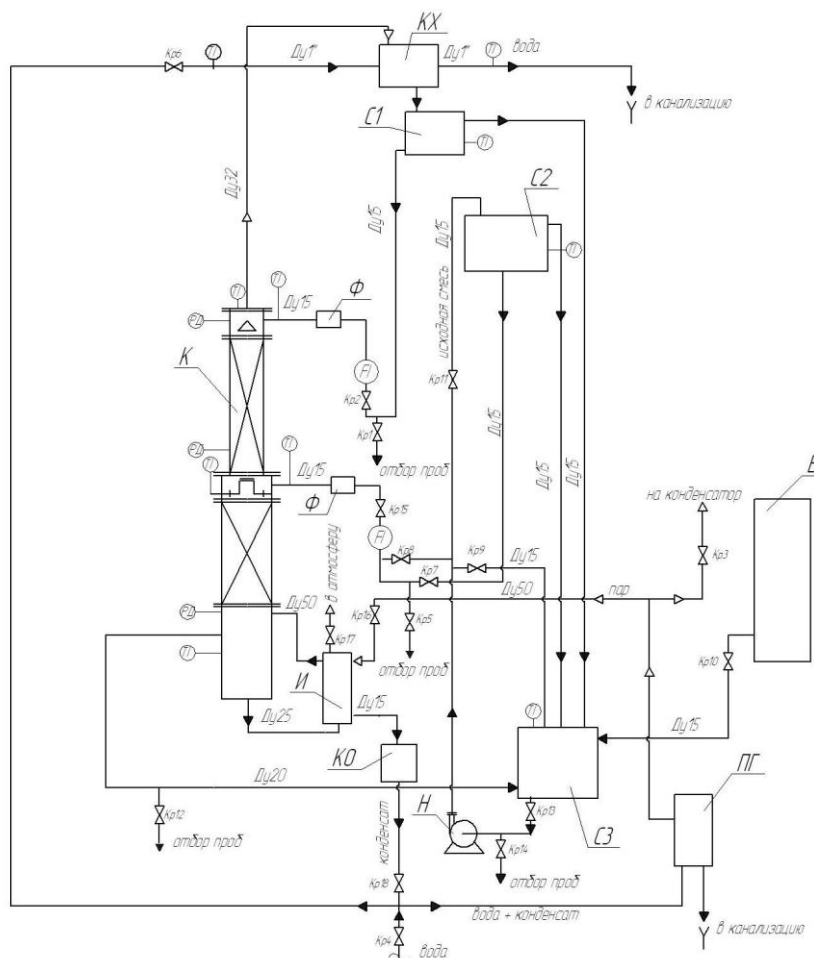


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема стенда для исследования массообменных характеристик:  
 К – колонна; КХ – конденсатор-холодильник; И – испаритель; КО – конденсатоотводчик; С<sub>1</sub> – емкость орошения;  
 С<sub>2</sub> – емкость смешения; С<sub>3</sub> – емкость кубовая;  
 Е – емкость исходной смеси; Н – насос; Ф – фильтр; Кр<sub>1-18</sub> – краны; ТИ – термометр;  
 FI – расходомер; АПГ – агрегат парообразующий; РД – манометр

Исходный раствор из емкости исходной смеси Е поступает в емкость С<sub>3</sub>, а оттуда насосом Н подается в колонну. Подвод тепла в колонну осуществляется с помощью агрегата парообразующего АПГ. Пары выводятся сверху колонны, и конденсируются в конденсаторе КХ.

Часть сконденсированной жидкости подается на верх колонны в качестве острого орошения, а другая часть смешивается с жидкостью, отбираемой снизу колонны и снова поступает в емкость С<sub>3</sub>. При этом фиксируются ротаметрами количество исходной смеси, подаваемой в колонну в качестве питания и количество жидкости, возвращающейся в колонну в виде флегмы, а с помощью термометров контролируется их температура. Контролируется также температура воды на входе и выходе из конденсатора-холодильника КХ; раствора в емкости С<sub>3</sub>; кубового остатка в колонне.

При разработке всех испытательных стендов и проведении исследований на них большое внимание уделялось методике измерения основных режимных параметров. Была проведена тщательная тарировка расходомеров с многократной проверкой каждого измеряемого параметра с помощью различных методов измерения.

Расход потоков на этапе отработки методики измеряли с помощью объемных счетчиков, диафрагм, ротаметров, перепад давления – с помощью спиртовых наклонных дифманометров, температуру – с помощью высокоточных датчиков, показания которых для удобства выводили на единый пульт. В дальнейшем, при проведении испытаний, это позволило получать хорошо воспроизводимые зависимости рабочих характеристик с минимальным разбросом экспериментальных данных.

На рис. 3 приведена принципиальная технологическая схема стенда для исследования гидродинамических и массообменных характеристик тарельчатых и насадочных контактных устройств различных типов на системе вода-воздух и в условиях десорбции аммиака из водных растворов воздухом с колонной Ø 600 мм. При исследовании гидродинамики стенды работают по циркуляционной схеме подачи воды и воздуха, а при исследовании массопередачи – по открытой схеме.

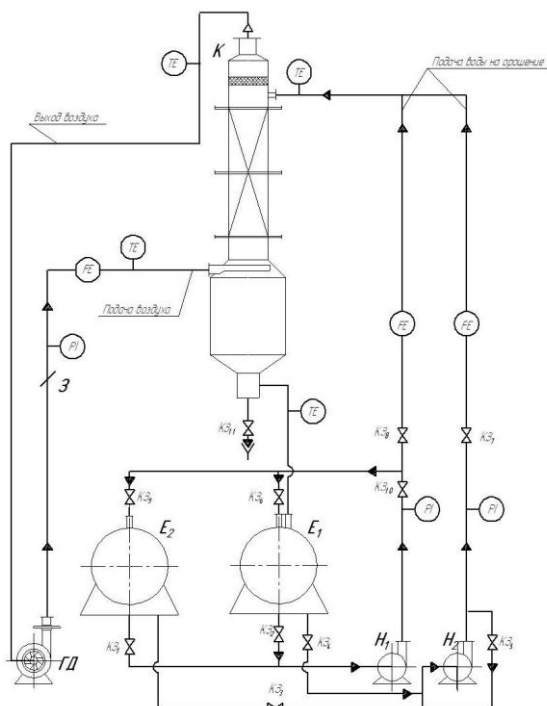


Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема стенда для исследования гидродинамики с царговой колонной Ø 600 мм:

*K* – колонна; *E*<sub>1</sub> – емкость отработанной смеси; *E*<sub>2</sub> – емкость исходной смеси;  
*PI* – диафрагма; *ГД* – турбогазодувка; *H*<sub>1,2</sub> – насосы; *K3*<sub>1-11</sub> – клапаны запорные;  
*TI*<sub>1-4</sub> – термометры; *PI*<sub>1-3</sub> – манометры; *З* – заслонка

Экспериментальная установка предназначена для исследования контактных устройств – тарелок и насадок различных типов.

Производительность м<sup>3</sup>/ч, не более: по воде – 50; по воздуху – 9000. Мощность установленная (суммарная) – 105 кВт/ч.

Установка состоит из следующего оборудования: колонна *K*, емкость отработанной смеси *E*<sub>1</sub>, емкость исходной смеси *E*<sub>2</sub>, турбогазодувка *ГД*, насос *H*<sub>1</sub> (*H*<sub>2</sub>), запорной и регулирующей арматуры.

Кубовая часть колонны, смонтирована на опорах, выполненных из профильного металла. На кубовую часть устанавливаются либо царги Ø 600 мм, состоящие из отдельных царг Ø 600 мм, выполненных из оргстекла, металлических фланцев, стянутых между собой металлическими шпильками, либо металлический короб с окнами закрытыми органическим стеклом. Верхняя часть колонны оснащена сепаратором, смонтированным либо на последней из царг, либо на коробе.

При исследовании гидродинамики из емкости *E*<sub>1</sub> жидкость насосом *H*<sub>1</sub> (*H*<sub>2</sub>) подается на распределительное устройство, расположенное в верхней части колонны. Затем она стекает на испытываемую конструкцию контактного устройства, пройдя которое, попадает в кубовую часть, а затем в *E*<sub>1</sub>, что обеспе-

чивает замкнутый цикл работы установки.

Замер количества подаваемой жидкости производится с помощью преобразователя перепада давления на диафрагме (сопле). Расход жидкости регулируется запорной арматурой.

Воздух из турбогазодувки ГД подается в нижнюю часть колонны, а оттуда поступает внутрь колонны на испытываемое контактное устройство. Количество поступающего воздуха регулируется заслонкой 3 и измеряется диафрагмой.

Замеряется температура воздуха и жидкости на входе и выходе из колонны.

Работа установки при исследовании массопередачи на примере десорбции аммиака осуществляется следующим образом: подготовленный аммиачный раствор с рабочей концентрацией ~ 6 г/л подается из емкости E2 насосом H1(H2) на распределительное устройство колонны. Раствор стекает на испытываемую конструкцию контактного устройства, пройдя которое попадает в кубовую часть, а затем в емкость E1.

Управление стендом сосредоточено на приборном щите.

### Заключение

Проведенные на стендах испытания позволили получить экспериментальные данные по гидродинамическим и массообменным характеристикам исследуемых конструкций тарельчатых и насадочных контактных устройств и на их основе разработать новые или уточнить существующие методики расчета массообменного оборудования, используемого при проектировании и строительстве новых технологических установок, а также при реконструкции действующих производств. Однако главная задача проводимых исследований – разработка нового конкурентоспособного оборудования, соответствующего по техническим характеристикам мировому уровню.

### Литература

1. Тютюнников А.Б., Контактные элементы массообменных колонн / Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. – К., 1993. – 440 с.
2. Кафаров В.В. Основы массопередачи / В.В. Кафаров – М., Высшая школа, 1972. – 496 с.
3. Стабников В.Н. Ректификационные аппараты / Стабников В.Н. – М., 1965. – 356 с.
4. Лебедев Ю.Н. Экспериментальная база – основа модернизации технологического оборудования / Лебедев Ю.Н., Сулима А.Н., Чекменев В.Г., Данилов Д.Ю. // Химия и технология топлив и масел. – 2007. – №7. – С. 15–21.

УДК 66.048.3

Соколов М.В., Ульєв Л.М., Суліма А.М.

### РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЇВ РЕКТИФІКАЦІЙНИХ КОЛОН

У статті розглянуто проблеми розробки ефективного устаткування для процесів масообміну. Виявлено основні напрямки вдосконалення контактних пристроїв колонних апаратів. Запропоновано конструкцію експериментальних стендів для вивчення і розробки методики розрахунку нових внутрішніх пристроїв для процесів ректифікації, абсорбції та дистиляції.

Sokolov M.V., Ulyev L.M., Sulima A.N.

### DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR CREATION OF EFFECTIVE CONTACT FACILITY FOR RECTIFICATION COLUMN

The problems of effective contact facility of distillation column are discussed in the paper. The base directions of improving for contact devices column apparatuses were defined. The construction of experimental facilities to study and developing new methods of calculation of internal devices for rectification, absorption and distillation were processed.