

УДК 661.72

Демирский А.В., Хавин Г.Л.

### ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ В БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Одной из актуальных задач спиртового производства является снижение энергоемкости процессов перегонки и ректификации. Внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий в значительной мере способно решить проблемы увеличения товарного продукта с единицы сырья и улучшения экологической обстановки около спиртовых заводов. Решение этих задач невозможно без модернизации установленного оборудования, в том числе замены трубчатых дефлегматоров и конденсаторов на более производительные и компактные пластинчатые аппараты [1].

Опыт широкого внедрения пластинчатого теплообменного оборудования за рубежом показал не только их эффективность в работе, но и высокую надежность функционирования, и простоту обслуживания. В связи с этим существует достаточно серьезная научная и практическая проблема, связанная с правильным выбором марки, типа и компоновки пластинчатых аппаратов для условий отечественных спиртовых заводов, с учетом специфики технологической схемы перегонки и ректификации каждого предприятия, мощности производства, изношенности оборудования и других факторов.

На всех спиртовых заводах в той или иной мере внедрены мероприятия по рекуперативному энергосбережению. Наиболее часто в технологических схемах используют теплоту водноспиртовых паров бражной колоны для подогрева бражки в дефлегматоре, спиртовой и эшюрационной колонн прямого и непрямого действия, барды для нагрева бражки и т.д. Однако на практике применение мероприятий такого типа в большинстве случаев исчерпаны. Дальнейшее повышение энергоэффективности процессов перегонки и ректификации связано с внедрением технологий интенсивного энергосбережения. Разработки интенсивного энергосбережения для этих процессов в последние годы проводится по трем основным направлениям [2,3]:

- ступенчатое использование тепловой энергии в цепочке технологических аппаратов, которые связаны между собой технологическими потоками;
- утилизация низкопотенциальной теплоты выходных из технологической системы потоков при помощи теплового насоса замкнутого типа;
- повышение температурного потенциала вторичного пара путем рекомпрессии (тепловой насос открытого типа).

Как уже отмечалось, правильный подбор высокоэффективного теплообменного оборудования во многом определяет производительность и экономичность процесса в целом. Пластинчатые теплообменники различных типов с успехом применяются в винокуренной и дрожжевой промышленности за рубежом. Опыт их использования показал не только высокую эффективность экономии тепловой энергии, но и надежную, стабильную устойчивую к коррозии работу. При этом в производстве спирта нашли свое применение большинство типов теплообменных аппаратов: традиционные разборные и паяные, разборные ширококанальные, спиральные, пластинчатые испарители и конденсаторы [1].

Пластинчатые и спиральные теплообменники в противоположность исторически применяемым кожухотрубным или теплообменникам «труба в трубе» обладают целым рядом важнейших преимуществ:

- работа с минимальной разностью температур теплоносителей и более высокий коэффициент теплопередачи;
- высокая стойкость к образованию отложений и загрязнений, что позволяет работать без необходимости частых остановок на промывку и техническое обслуживание;
- требуют намного меньше производственных площадей для размещения, монтажа и обслуживания.

Последнее обстоятельство особенно важно в технологической цепочке производства спирта, так как позволяет устанавливать и монтировать теплообменники на уровне вершин дистилляционных колонн.

Непосредственное обследование работающих украинских спиртовых заводов показало, что существует актуальная задача реконструкции оборудования заводов, а именно замена трубчатых дефлегматоров и конденсаторов на пластинчатые аппараты. Этому есть следующие причины: повышение производительности работы имеющихся перегонных колонн; расширение производства, путем наращивания мощностей; снижение энергоемкости производства и т.д.

На эти позиции можно ставить традиционные разборные теплообменники производства фирмы «Альфа Лаваль» типа М3, М6М, М10М, М15М и т.п., сварные аппараты типа «Компаблок», которые могут разбираться для промывки или специально разработанные конденсаторы AlfaCond и выпарные аппараты AlfaVar (подогреватели). Схема установки перечисленных типов аппаратов приведена на рис. 1. Инсталляция аппаратов необязательно должна быть однотипной, вполне возможна установка традиционных разборных теплообменников и выпарного аппарата, другие комбинации или установка совместно с эксплуатирующимся трубчатым оборудованием.

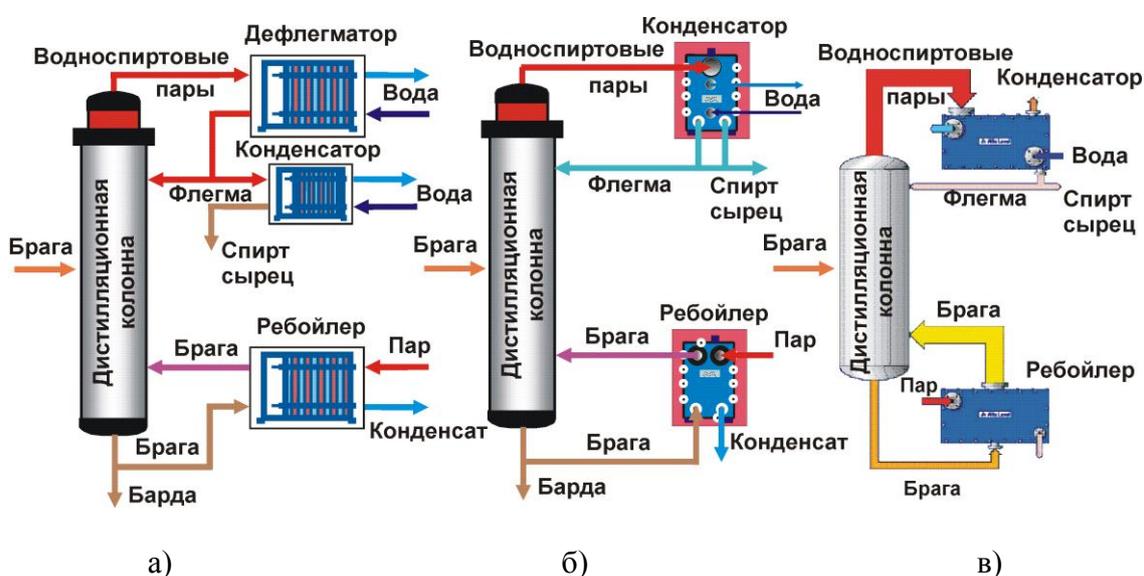


Рисунок 1 – Установка различных типов пластинчатых теплообменных аппаратов как оборудования процесса дистилляции в качестве конденсаторов и ребойлеров:  
 а) – разборные теплообменники; б) – специальный конденсатор (AlfaCond) и испаритель (AlfaVar); в) – полностью сварные аппараты типа «Компаблок»

Главной целью настоящей статьи является анализ существующих схем применения пластинчатого оборудования в процессах перегонки и ректификации в спиртовой промышленности, в том числе использования их в схемах с тепловым насосом. Базируясь на собственном опыте работы и опыте зарубежных исследователей, выявить пре-

имущества и недостатки имеющихся решений и разработать рекомендации по установке такого оборудования на отечественных спиртовых заводах.

Если рассмотреть схемы, представленные на рис. 1, в частности схему а), то можно из имеющегося опыта сделать вывод, что применение разборных теплообменных аппаратов в качестве конденсаторов и дефлегматоров вполне оправдано. Однако среди специалистов отечественного спиртового производства, прежде всего работающих практически непосредственно на заводе и научных работников, существовало мнение, что установка традиционных теплообменников с резиновыми (полимерными) прокладками повлияет на качество спирта, а именно на его органолептические свойства. Объяснялось это тем, что в процессе работы аппарата с резиновыми прокладками происходит механический захват спиртом микрочастиц резины (полимера). Вторым аргументом против установки разборных аппаратов состоит в том, что очень трудно подобрать аппараты такого класса для работы с неполной конденсацией и утверждение, что в процессе эксплуатации эти аппараты весьма неустойчиво работают при малых колебаниях в подаче теплоносителей. Основываясь на этих аргументах, большинство специалистов склонялось к установке компаблоков или других аппаратов.

Здесь необходимо сказать, что опыт установки таких аппаратов фирмой «Alfa Laval» по всему миру, в том числе и в Украине, показал, что качество спирта не только не ухудшилось, но и улучшилось за счет более эффективного удаления примесей. Более того, для украинских заводов в основном небольшой мощности (обычно 3000 дал), у которых расходы продукта и теплоносителя сравнительно невелики (мощность невелика) применение разборных теплообменников значительно выгоднее, чем аппаратов другого типа. В первую очередь из-за меньшей стоимости разборных аппаратов, их компактности, простоты обслуживания, в том числе чистки по стороне воды.

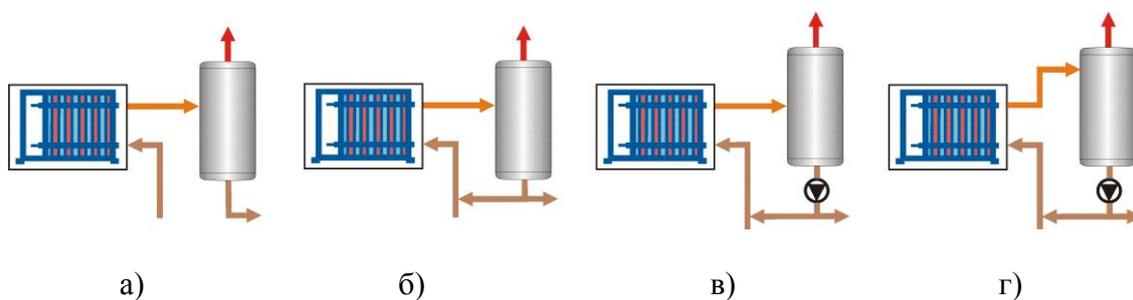


Рисунок 2 – Промышленная установка ребойлеров:  
 а) – однократная циркуляция; б) – термосифон;  
 в) – принудительная циркуляция с мгновенным вскипанием;  
 г) – принудительная циркуляция с испарением

Установка традиционных разборных пластинчатых теплообменников в качестве ребойлеров, по всей видимости, возможна в исключительных случаях. Прежде всего, потому что аппараты этого класса не предназначены для этого. За счет конденсации пара они могут нагревать продукт до высокой температуры, однако производить стабильное испарение по длине пластины практически невозможно. Это связано прежде всего с параметрами применяемых пластин, ограничением по температуре 150 °С, малым диаметром входных присоединений по стороне пара и на выходе продукта и т.д.

Возможная промышленная установка ребойлеров приведена на рис. 2. Наряду с традиционным способом однократной циркуляции (рис. 2,а) при дистилляции применяется способ термосифона (рис. 2,б), при котором используется естественная цирку-

ляция, когда выходящий вторичный пар обладает высокими тепловыми свойствами для однократной циркуляции. Установки с принудительной циркуляцией (рис. 2, в,г) обычно используются, если выпариваемый продукт имеет тенденцию к загрязнению пластин аппарата. Причем для циркуляции с испарением собственно выпаривание происходит в сепарационном сосуде. В дистилляционных установках малой мощности в принципе могут быть использованы разборные пластинчатые аппараты как ребойлеры с принудительной циркуляцией или термосифоны, однако, пока на отечественных спиртовых заводах примеры такой реализации нам не известны.

На спиртовых заводах компании Абсолют “Ahus Distillery” (Швеция) все колонны оборудованы конденсаторами AlfaCond и ребойлерами AlfaVar (рис. 1, б) и, кроме того, подобные инсталляции существуют на многих заводах США, Италии, Бразилии и т.д. Преимущество применения таких аппаратов заключается, прежде всего, в следующем. AlfaCond специально разработан как конденсатор. Он может работать под разрежением и имеет большое входное присоединение по пару, что позволяет работать с большими расходами. Структура аппарата обладает асимметричной конфигурацией, образуя большой канал по стороне пара и малый канал по стороне охлаждающего теплоносителя.

Как и AlfaCond выпарной аппарат AlfaVar состоит из попарно сваренных пластин по стороне пара и каналов с прокладками (разборный) по нагреваемой стороне. Применительно к процессам перегонки и ректификации такие аппараты имеет смысл ставить на заводах большой мощности, с характерными большими расходами сред. Параметры работы этих аппаратов находятся в пределах: давление – до 6 бар, температура – до 160 °С. Аппараты такого класса обладают большой перспективой с точки зрения разработки интенсивного энергосбережения. Во-первых, их можно применить в ступенчатом использовании тепловой энергии в цепочке технологических аппаратов, которые связаны между собой технологическими потоками, во-вторых, они используются в системах повышения температурного потенциала вторичного пара путем рекомпрессии. Последнее обстоятельство уже нашло широкое применение в линиях по концентрации продуктов путем выпаривания, а именно в сахарной промышленности, при упаривании фугата барды на спиртовых заводах, по утилизации обезжиренного рыбного бульона (клеевой воды) и т.д.

Третьим вариантом применения пластинчатого оборудования при перегонке и ректификации является установка аппаратов типа «Компаблок». Эти аппараты перекрестного тока полностью сварные, хотя имеют разборный корпус и доступны для внешней мойки [1]. Максимальные рабочие параметры их следующие: давление – до 32 бар, температура – до 350 °С. С успехом применяются как нагреватели (ребойлеры) и конденсаторы во многих отраслях промышленности. Однако, на практике, при детальном рассмотрении их использования в колоннах перегонки возникает ряд вопросов следующего плана: если они сварные, то существует ли гарантированный срок их работы с сохранением расчетных параметров? Каким образом разбирать и промывать эти аппараты для обеспечения их надежной работы при их установке на колонне? Какова цена их по сравнению с отечественными трубчатými аппаратами?

Что касается периодической промывки и чистки компаблоков, то в качестве дополнительного оборудования для этого необходимы емкости, насосный блок и т.п., которые поставляются в стандартной комплектации или могут быть легко изготовлены на месте. В наличии стационарных емкостей для обслуживания нет необходимости, что высвобождает производственные площади за счет уменьшения габаритов дефлегматора

или конденсатора, к тому же можно использовать уже имеющиеся системы для промывки трубчатых аппаратов.

Одной из наиболее привлекательных перспектив применения теплообменного пластинчатого оборудования является его использование в тепловых насосах схем брагоректификационных установок (БРУ), рис. 3. Обычная БРУ работает с ребойлером и конденсатором. Конденсатор охлаждается водой или иногда охлажденным продуктом перед подачей в колонну. Главная задача – обеспечить необходимую температуру конденсации выполняется регулированием расхода охлаждающей жидкости. Ребойлер работает за счет подогрева водяным паром.

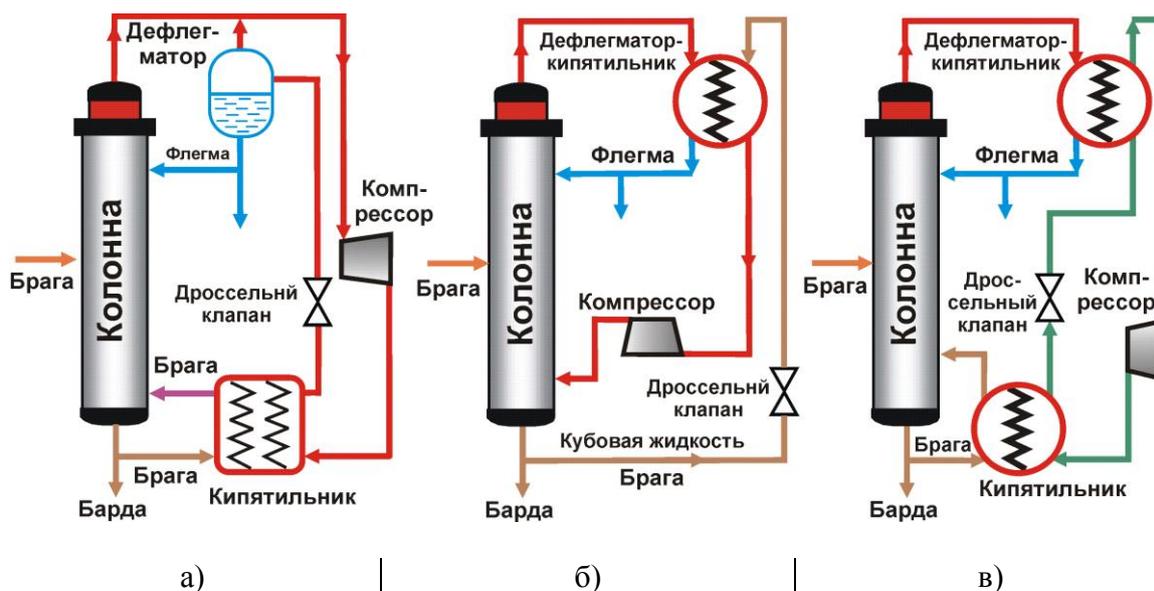


Рисунок 3 – Принципиальные схемы применение тепловых насосов в БРУ

Сложность применения тепловых насосов (ТН) в БРУ связана со значительной разницей температур кипения кубового (отгонного) продукта и верхнего продукта (водноспиртового раствора). На схеме рис. 3а поученный верхний продукт сжимается в компрессоре и далее используется как греющий агент в кипятильнике, где он конденсируется и после дросселирования в виде флегмы возвращается обратно в колонну или отводится от нее. Как указано в [3] данная схема, разработанная во французском национальном институте промышленной химии, использует как рабочее тело воду и отличается простотой, низкими дополнительными капиталовложениями и экономией энергии. В качестве недостатков отмечается, что разница температур при разделении смеси этиловый спирт-вода (порядка 27°), требует покрытия температурной депрессии дополнительным сжатием пара, что приводит к значительному перегреву смеси и потерям энергии в кипятильнике за счет увеличения температурного напора.

Другой вариант реализации схемы ТН, представленный на рис. 3б, основан на том, что часть кубового продукта (бражки) используется как хладагент в дефлегматоре-испарителе. Полученный в нем пар сжимается в компрессоре и подается на обогрев колонны. Использование кубовой жидкости, которая менее концентрирована, более рационально, так как она обладает более высокой теплотой парообразования в сравнении с дистиллятом. Последнее обстоятельство позволяет экономить энергию и количество рабочей жидкости в компрессоре [3]. Схема ТН с промежуточным теплоносителем закрытого типа представлена на рис. 3в.

Примеры использования ТН на действующих спиртовых заводах Франции, США представлены в [3].

Таким образом, главным резервом увеличения выпуска спирта, повышения его качества и выполнения задач энергосбережения, является внедрение новых технологических энергосберегающих схем и модернизация установленного оборудования. Выполнение этих задач на современном уровне предусматривает, прежде всего, использование высокоэффективного пластинчатого теплообменного оборудования, в том числе пластинчатых выпарных аппаратов и конденсаторов. Практика применения пластинчатого оборудования на спиртовых заводах Украины показала полное сохранение качества спирта, в том числе и его органолептических свойств, при существенной экономии энергетических ресурсов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта SHERHRA, контракт № COLL-СТ-2004-500229.

#### Литература

1. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2004.– 232 с
2. Разладин Ю.С., Сагань И.И., Стадников В.Н. Использование вторичных энергоресурсов в пищевой промышленности.– М.: Легкая промышленность, 1984.– 232 с.
3. Технологія спирту / Під ред. проф. В.О. Маринченка. – Вінниця: „Поділля-2000”, 2003.– 496 с. (укр.)

УДК 661.72

Демірський О.В., Хавін Г.Л.

#### **ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ У БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ**

Розглянуті питання модернізації підприємств спиртової промисловості з використання сучасного вискоєфективного пластинчастого теплообмінного обладнання. Наведені дані про можливість встановлення різних типів пластинчастих апаратів на брагоректифікаційних колонах. Увага приділена проблемі гарантування якості спирту при використанні розбірних теплообмінників з прокладками і очищення поверхні апаратів при їх експлуатації. Розглянути схеми брагоректифікаційних колон із застосуванням теплових насосів.