

**РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РАЗРАБОТОК  
ПО РЕГУЛЯРНЫМ ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНЫМ НАСАДКАМ  
УЧЕНЫМИ УФИМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
НЕФТЯНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Марешова Л.А., Богатых К.Ф., Рольник Л.З., Ягафарова Г.Г.

*В статье рассматривается проблема интенсификации работы ректификационных колонн. В последние годы при реконструкции тарельчатых ректификационных колонн чаще всего тарельчатые контактные устройства заменяются на насадочные контактные устройства. Насадочная колонна обеспечивает меньший перепад давления по высоте аппарата, более широкий диапазон устойчивой работы, более высокий КПД, и, соответственно более высокую разделительную способность.*

Проблема интенсификации работы ректификационных колонн существовала всегда: меняется сырьё, производительность установок и поставленные задачи. В последние годы при реконструкции тарельчатых ректификационных колонн чаще всего тарельчатые контактные устройства заменяются на более совершенные насадочные контактные устройства. Насадочная колонна обеспечивает меньший перепад давления по высоте аппарата, более широкий диапазон устойчивой работы, более высокий КПД, и, соответственно более высокую разделительную способность. Колонны с такими характеристиками позволяют решать вопросы углубления переработки нефти и нефтепродуктов, энергосбережения и повышения гибкости как существующих, так и проектируемых технологий.

Насадочные колонны делятся на противоточные и перекрестноточные. Перекрестноточные насадочные колонны имеют ряд преимуществ перед противоточными колоннами. В 1992 году была реконструирована первая масляная вакуумная колонна установки АВТ-2 «Орскнефтеоргсинтез» [1]. До реконструкции в колонне были смонтированы колпачковые тарелки, их разделительная способность в укрепляющей части колонны составляла лишь 5,6 теоретических тарелок (т.т) со всеми вытекающими из этого последствиями. В результате реконструкции тарелки были заменены на 20 перекрестнонасадочных блоков, 17 из которых были расположены в укрепляющей части колонны.

Разделительная способность укрепляющей части колонны была повышена до 10,8 т.т, что позволило в 1,5-2,0 раза снизить степень налегания смежных масляных дистиллятов и получить более узкие 100-110°С масляные фракции вместо 140-150°С. Отбор масляных дистиллятов был повышен с 18,5 до 22,5% масс. на нефть. В результате промышленного обследования и последующего моделирования работы реконструированной вакуумной колонны установки АВТ-2 удалось также оценить паровые и жидкостные нагрузки и КПД на всех блоках насадки. Тепломассообменные КПД по высоте колонны оказались: 0,9 в конденсационной зоне, 0,94 в секции укрепления вакуумного соляра, 0,65 в секции укрепления веретенного дистиллята, 0,6 в секции укрепления машинного дистиллята и 0,4 в отгонной части колонны. Расход водяного пара был сокращен в два раза, температура нагрева сырья снижена на 10-15°С. Кроме того, при реконструкции данной колонны группе ученых Уфимского нефтяного института (УНИ) впервые удалось реализовать в промышленности и тем самым доказать возможность многоуровневого отбора масляных дистиллятов в насадочных колоннах. [1, 2].

Первой основной атмосферной колонной установки АВТ, реконструированной в перекрестноточный насадочный аппарат, была колонна К-2 установки АТ-5 ОАО «Орскнефтеоргсинтез». В результате реконструкции ученые УНИ получили значительное повышение производительности, четкости выделения получаемых дистиллятов, а также повышение стабильности и надежности работы колонны на различных режимах. В последующем легкость управления при изменении режимов работы и смене типов перерабатываемых нефтей привело ученых к решению о полной замене устаревших тарелок в колоннах К-2 на двух более крупных установках АВТ ОАО «Орскнефтеоргсинтез»: ЭЛОУ-АВТ и ЭЛОУ АВТ-3.

В 1993-1994 годах колонны К-2 ЭЛОУ-АВТ-3 и ЭЛОУ-АВТ были реконструированы на насадочные перекрестноточные аппараты [3,4]. Подробный анализ результатов реконструкции с обследованием работы колонны был проведен в 1994 году на примере колонны К-2 установки ЭЛОУ АВТ при ее работе на легких казахстанских нефтях. Данные обследования подтвердили перспективность модернизации атмосферных колонн с заменой тарельчатых контактных устройств на перекрестноточные насадки. Разделительная

способность колонны возросла примерно на 30%, тепломассообменный КПД был оценен на уровне 0,5-0,85. Среднее значение КПД в укрепляющей части колонны составило 0,66 [3].

Работа основной атмосферной колонны К-2 на установках АВТ весьма значительно зависит от эффективности работы первой по ходу переработки нефти колонны К-1- отбензинивающей колонны. Она выполняет роль стабилизатора состава сырья для основной атмосферной колонны. Анализ, проектирование, управление и совершенствование работы колонн К-1 и К-2 установок АВТ надо рассматривать вместе, взаимосвязано [5]. Поэтому реконструкция колонны К-1 ЭЛОУ АВТ «Орскнефтеоргсинтез», проводимая учеными УНИ в 1994 году, сводилась к анализу различных вариантов технологии и затем к замене тарелок на перекрестноточную насадку [4].

Реализация технологии отбензинивания нефти в перекрестноточной насадочной колонне с двойным питанием по сырью и подачей водяного пара в низ колонны показала перспективность такой технологии с точки зрения повышения производительности по нефти, увеличения отбора бензина и повышения его качества. Обследование реконструированной колонны при работе ее на легких казахстанских нефтях дало возможность оценить КПД контактных устройств. КПД насадочных блоков, расположенных в верхней части колонны, оказался на уровне 0,75, а КПД в средней части на уровне 0,7 [5]. Эти значения КПД для таких типов колонн достаточно высокие.

Реконструкция крупнотоннажных ректификационных колонн требует значительных капитальных и временных затрат. Поэтому часто на заводах проводится поэтапная реконструкция, с частичной заменой тарелок на насадку. В этом случае от одного капитального ремонта до другого колонна эксплуатируется с различным типом контактирующих устройств и возникает задача согласования паровых и жидкостных нагрузок при переходе от тарелок к насадкам и наоборот. В таких случаях должна соблюдаться следующая очередность реконструкции: зона питания, зона конденсации (верхнего циркуляционного орошения), зона ректификации укрепляющей и отгонной частей колонны.

Колонна К-2 установки ЭЛОУ АВТ-2 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» была реконструирована поэтапно. После первого этапа реконструкции с заменой

тарелок в нижней и частично в верхней части колонны на перекрестноточную насадку в 1992 году колонна работала неустойчиво. Это объяснялось тем, что в тот момент на установке перерабатывалась смесь очень легких нефтей. Колонна была перегружена по парам, и оставшиеся желобчатые и S-образные тарелки в колонне в этих условиях имели очень низкие КПД – от 0,3 до 0,5. Поэтому на втором заключительном этапе реконструкции все оставшиеся тарелки были заменены на насадку. Всего в укрепляющей части колонны было смонтировано 19 перекрестноточных насадочных блоков вместо 26 тарелок. Под выводом дизельного топлива было организовано дополнительное циркуляционное орошение. Впервые, по требованию заказчика насадочные блоки были изготовлены разборными с учетом возможной замены элементов насадки, с учетом обеспечения доступа к очистке низконапорных распределителей жидкости и полному осмотру тела колонны. При обследовании колонны К-2 после заключительного этапа реконструкции производительность колонны составляла лишь половину от проектной. Тем не менее, КПД блоков насадки оказался на уровне 0,55-0,75 [4]. По данным обслуживающего персонала колонна работает устойчиво и при повышенной производительности после второго этапа реконструкции.

Проблемы стабилизации и разделения бензина на узкие фракции для выработки сырья риформинга всегда актуальны для любого НПЗ. На ОАО «Орскнефтеоргсинтез» эта задача на сегодня частично решена путем успешной реконструкции тарельчатой колонны К-5 на перекрестноточную секционированную насадочную колонну [6]. Впервые в мировой практике нефтепереработки была разработана перекрестноточная насадочная колонна, в которой при повышенных производительностях по сырью реализуется принцип секционирования по жидкости, что позволило ученым решить поставленные задачи. Замена тарелок К-5 на секционированную насадку была произведена в 2000 году. В настоящее время колонна успешно эксплуатируется на предприятии. В перспективе рассматривается вопрос о реконструкции остальных фракционирующих колонн установки 22-4 [7].

До реконструкции рассматриваемая колонна К-5 была оборудована сорока однопоточными клапанно-прямоточными тарелками, разделительная способность

которых по результатам обследования оценена в одиннадцать теоретических тарелок [8]. В результате реконструкции в укрепляющей части колонны смонтировано одиннадцать блоков насадки, а в отгонной – двадцать секционированных по жидкости блоков насадки, снабженных специальными низконапорными распределителями жидкости с высокой производительностью [8]. Промышленное обследование работы колонны К-5 после реконструкции показало, что распределительная способность колонны возросла в 1,5 раза, КПД в укрепляющей части колонны составил 0,65-0,7 [9].

В нефтехимии, в отличие от нефтепереработки требование к чистоте продуктов разделения значительно выше. Загрязнения довольно часто должны достигать не более сотых процента или еще ниже. В этой связи представляют интерес результаты реконструкции тарельчатых колонн на насадочные в таких нефтехимических процессах. Примером такой реконструкции в 1998 году является колонна К-90/1 производства фенол-ацетон ОАО «Уфаоргсинтез». Тарелки провального типа имеют очень низкий диапазон устойчивой работы и их замена на насадку с широким диапазоном устойчивой работы и более высоким КПД дала положительные результаты. Производительность колонны увеличилась почти в два раза, что позволяет в случае необходимости отключать другую параллельно работающую колонну. Качество разделяемых продуктов стало стабильным. Экономия энергозатрат составила 20% [10].

На НПЗ, имеющих в своем составе масляные производства, в качестве растворителей применяется пропан высокой концентрации (96% масс. и выше). Такая фракция пропана либо поставляется смежниками, либо организуется ее производство на самих НПЗ из сжиженных газов нефтепереработки. Руководство ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» предложило группе ученых из Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ) решить задачу получения пропана высокой чистоты в существующей пропановой колонне. Проанализировав известные и новые технологии с заменой S-образных тарелок на перекрестноточную насадку исследовательской группе стало очевидно, что наиболее целесообразной и перспективной технологией получения пропана высокой чистоты является технология получения пропана из сжиженных газов НПЗ в сложной ректификационной насадочной колонне с боковым отбором

целевой фракции. Предложенная технология была одобрена. Реконструкция была проведена в марте 2002 года. Проведенные в мае того же года гарантийные испытания показали обоснованность принятых решений. Боковым погоном была получена пропановая фракция с содержанием пропана 97,6% масс. и выше. Ее отбор от потенциала составил 80%, вместо 30%, которые получали на данном заводе при двукратном разгазировании дистиллята. Энергозатраты на тонну получаемого пропана снизились с 4500 Мкал до 1000 Мкал. Средний КПД секционированных перекрестноточных насадочных модулей оказался на уровне 0,70-0,77, а производительность колонны при гарантийных испытаниях увеличилась в два раза от 20 до 40 т/ч [11].

Хорошие результаты были получены в результате реконструкции вакуумной колонны К-4 установки ЭЛОУ-АВТ-3 ОАО «Орскнефтеоргсинтез». Особенность данной реконструкции заключается в том, что она была растянута во времени, т.е. была поэтапной с 1989 по 2000годы. За это время наработки по перекрестноточным насадочным колоннам и опыт их промышленной реализации получили существенное развитие, что позволило перейти на более высокий уровень принятия конструкторско-технических решений. В итоге последней реконструкции колонны К-4 смонтированы по зонам 4 типа перекрестноточных насадочных модулей в соответствии с паровыми и жидкостными нагрузками, реализован многоуровневый отбор боковых погонов и более совершенная конструкция зоны питания, организован дополнительный смещающийся по высоте колонны съем тепла [12]. Разделительная способность колонны увеличена до 18 теоретических тарелок. Теплообменный КПД модулей перекрестноточной насадки находится на уровне 0,8-0,9.

Как отмечалось выше, в ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» на установке ГФУ проведена реконструкция колонны К-1 на насадочный вариант работы с целью получения из нефтяных газов пропановой фракции высокой чистоты и с высоким отбором от потенциала. При значительном колебании состава сырья и в два раза меняющейся производительности, был получен КПД насадок на уровне 0,7-0,77. Так случилось, что руководство завода не отнеслось с должным вниманием к состоянию корпуса колонны, и через 1,5 года Госгортехнадзор выдал предписание о запрете эксплуатации этой колонны. Пришлось, вместе с

работниками завода, все повторить, начиная с нового корпуса колонны, новой конструкции разборных перекрестноточных насадочных блоков и т.д. В апреле 2006 года колонна запущена в эксплуатацию. После пуска обеспечивается получение пропановой фракции требуемой чистоты [13].

В 2003 г ОАО «Орскнефтеоргсинтез» приняло решение о строительстве промышленного стенда для получения (уточнения) технических характеристик насадок на реальных углеводородных смесях. В настоящее время стенд построен, запущен в эксплуатацию, получены первые результаты. Стенд представляет собой ректификационную колонну со всей необходимой атрибутикой с 12-ю различными по геометрическим размерам и конфигурации насадочными блоками.

На основе использования конструктивно-технологического подхода, предполагающего одновременную оптимизацию технологических и конструктивных параметров, разработана и на установке каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 ОАО «Орскнефтеоргсинтез» в 2003 г. внедрена ресурсо-и энергосберегающая технология стабилизации гидроочищенного бензина, базирующаяся на применении в колонне перекрестноточной насадки. Экономический эффект от внедрения данной разработки в ценах 2004 года составил 2,2 млн. рублей в год [14].

Промышленным обследованием и последующим технико-экономическим анализом результатов внедрения колонн стабилизации гидроочищенного бензина на установках риформинга показано, что по сравнению с клапанными тарелками фирмы «КОСН-GLITCH», высокая эффективность и стабильность работы перекрестноточной насадочной колонны обеспечивается при меньших удельных затратах тепла (на 16,5%).

В июле 2004 г. в ОАО «Саратовский НПЗ» запущена в эксплуатацию секция висбрекинга гудрона на установке ЭЛОУ-АВТ-6. Секция висбрекинга работает стабильно, с производительностью по сырью 105 % от проектной, достигнут 11-ти месячный межремонтный пробег. В составе технологической схемы секции висбрекинга гудрона эксплуатируются три перекрестноточные насадочные колонны, конструкция которых разработана нашими сотрудниками: К-102 - отпарная колонна легкого газойля

висбрекинга для обеспечения требуемой температуры вспышки газойля, К-103 — колонна физической стабилизации бензиновой фракции висбрекинга, К-104 - абсорбер очистки углеводородного газа процесса висбрекинга от сероводорода водным раствором моноэтаноламина [15].

В ООО «Ставролен», г. Буденновск в 2004 году внедрен орошаемый каплеуловитель из перекрестноточной насадки в колонне щелочной очистки пирогаза установки пиролиза ЭП-250. Эта установка поставлена немецкой фирмой «LINDE AG». Установленный в колонне сетчатый каплеуловитель не обеспечивал требуемую степень улавливания капель щелочного раствора из потока пирогаза, поэтому руководством завода было принято решение об его замене. Вся работа от получения заказа до монтажа и пуска нового каплеуловителя выполнена за два месяца [16].

В своей деятельности руководство ОАО «Орскнефтеоргсинтез» исходит из очевидной в условиях рыночной экономики аксиомы - только на базе передовой техники и технологии переработки нефти можно сохранить конкурентоспособность предприятия и увеличить прибыль акционеров. Одним из путей повышения эффективности переработки нефти является реконструкция установок первичной переработки нефти, большинство из которых введены в эксплуатацию более 50 лет назад. По разработкам специалистов УГНТУ на установке ЭЛОУ-АВТ в 2005 году была успешно реконструирована схема теплообмена, что позволило завершить очередной этап модернизации установки, в ходе реализации которого ее производительность по сырью была доведена до 3 млн. т нефти в год. За счет более полной рекуперации тепла горячих потоков для подогрева нефти и ее отбензинивания в перекрестноточной колонне К-1, расход условного топлива сократился на 3,5 кг на т переработанной нефти.

В 2006 году осуществлен очередной этап реализации программы технического перевооружения ОАО «Орскнефтеоргсинтез» - на установке ЭЛОУ-АВТ-3 по рекомендациям специалистов УГНТУ усовершенствована схема теплообмена для подогрева потоков сырой и обессоленной нефти. За счет повышения температуры предварительного подогрева нефти в теплообменниках и оптимизации стадии частичного отбензинивания нефти в колонне К-1 удалось

сократить расход топлива на нагрев потока частично отбензиненной нефти в трубчатых змеевиках печей П-1 и П-2. Выполненная учеными университета расчетная оценка показала, что после реконструкции схемы теплообмена, удельный расход топлива на установке ЭЛОУ-АВТ-3 сократился на 1,8 кг условного топлива на 1 т переработанной нефти [17].

Обобщая результаты внедрения в промышленности разработок ученых УГНТУ по регулярным перекрестноточным насадкам за период с 1992 по 2006 годы, следует отметить, что во всех десяти рассмотренных объектах внедрения получены значительные положительные результаты, что подтверждает перспективность их применения в качестве контактных устройств в разработках новых современных энергосберегающих технологий и нефтепереработке и нефтехимии.

### Литература

1. Богатых К.Ф., Езунов И.С., Чуракова С.К., Романов В.П., Кузьмин В.Н. // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1995. - №9. – С. 10-13.
2. Соколовский А.В., Богатых К.Ф., Чуракова С.К. // Нефтедобыча, нефтепереработка, нефтехимия и катализ: Материалы I Съезда химиков, нефтехимиков, нефтепереработчиков и работников промышленности строительных материалов Республики Башкортостан. – Уфа, 1992. – С. 67-71.
3. Чуракова С.К., Езунов И.С., Богатых К.Ф., Боков А.Б. // Нефть и газ. Межвузовский сб. научн. статей. – Уфа.: УГНТУ, 1997. – Вып. 2. – С. 53-57.
4. Чуракова С.К., Богатых К.Ф., Боков А.Б., Нестеров И.Д., Жулин В.А. // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. - №11. – С. 5-10.
5. Боков А.Б., Пилюгин В.В., Богатых К.Ф., Костюченко В.П. // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. - №11. – С. 10-17.
6. Боков А.Б., Романов В.П., Кузьмин В.Н., Богатых К.Ф., Чуракова С.К. // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1995. - №9. – С. 5-9.

7. Боков А.Б., Романов В.П., Кузьмин В.Н., Богатых К.Ф., Чуракова С.К. // Нефть и газ. Межвузовский сб. научн. статей. – Уфа.: УГНТУ, 1997. – Вып. 2. – С. 16-20.

8. Езунов И.С., Чуракова С.К., Астахов А.Н., Периков Е.А., Богатых К.Ф. // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1995. - №9. – С. 16-20.

9. Чуракова С.К., Костюченко В.П., Богатых К.Ф., Нестеров И.Д., Боков А.Б. // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения): Материалы II Международной научн. конф. – Уфа, 2001. – С. 8-17.

10. Пилюгин В.В., Богатых К.Ф. // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения): Материалы II Международной научн. конф. – Уфа, 2001. С.83-84.

11. Астахов А.А., Богатых К.Ф., Нестеров И.Д., Чуракова С.К., Боков А.Б. // Нефть и газ Украины. Сб. научн. работ.: Материалы VI Международной научно-практ. конф. «Нефть и газ Украины» - 2000: - Ивано-Франковск, том 3, 2000. – С. 135-136.

12. Чуракова С.К., Костюченко В.П., Нестеров И.Д., Боков А.Б. // VI Международная конф. по интенсификации нефтехимических процессов «Нефтехимия – 2002». – Нижнекамск, 2002. – С. 62-64.

13. Боков В.П., Богатых К.Ф., Чуракова С.К., Нестеров И.Д. Промышленная реализация сложной ректификационной колонны с перекрестноточной насадкой в процессе газоразделения // Сборник научных трудов №6 «Интенсификация химических процессов переработки нефтяных компонентов», - Нижнекамск, - 2004, с.24-33.

14. Костюченко В.П. Результаты реконструкции колонны стабилизации гидроочищенного бензина на установке каталитического риформинга // Современное состояние процессов переработки нефти: материалы научно-практической конференции - Уфа: ГУП ИНХП, 2004.-с.148-149.

15. Богатых К.Ф., Чуракова С.К., Костюченко В.П. Конструктивно-технологический подход к выбору контактных устройств для реализации ресурсо-энергосберегающих технологий // Актуальные проблемы технических,

естественных и гуманитарных наук: материалы Международной научно-технической конференции.- Уфа: УГНТУ, 2005.-с.65-68.

16. Нестеров И.Д., Богатых К.Ф. Перекрестноточный каплеуловитель для колонны щелочной очистки пирогаза // Сборник материалов VII Международной конференции по интенсификации нефтехимических процессов «Нефтехимия - 2005», - Нижнекамск, 2005.- с. 162.