

УДК 662.74

Лаврова И.О., Лавров О.И.

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СЫРОГО БЕНЗОЛА ИЗ КОКСОВОГО ГАЗА

Бензолные углеводороды находятся в коксовом газе в виде паров, их извлечение может быть проведено различными методами [1,2].

Однако, из их числа во всем мире преимущественно применяют абсорбцию поглотительными маслами при давлении, близком к атмосферному.

Десорбция бензолных углеводородов из насыщенного масла производится продувкой большим или меньшим количеством острого пара из предварительно нагретого масла.

Абсорбция бензолных углеводородов поглотительным маслом является физическим процессом, при котором происходит взаимный массообмен между газовой и жидкой фазами в направлении достижения равновесия. Состояние равновесия определяется законами Генри-Дальтона и Рауля. Согласно этих законов, при постоянной температуре концентрация сырого бензола в поглотительном масле пропорциональна парциальному давлению бензола в газовой фазе. Так как в аппаратуре, используемой для проведения процесса абсорбции, равновесные концентрации никогда не достигаются, их принято рассматривать как тот предел, к которому стремится процесс в конкретных технологических условиях (температура, давление, качественные характеристики поглотительного масла и пр.).

На рис. 1 представлены диаграммы равновесных концентраций бензолных углеводородов в коксовом газе и каменноугольном поглотительном масле при различных температурах контакта (заимствованные нами из литературных источников) [3,4].

Эти диаграммы рассчитаны для каменноугольного масла с молекулярной массой $M = 150$. Согласно приведенным диаграммам следует, что если в поглотительном масле, подаваемом на орошение скрубберов, содержится всего 1 % бензолных углеводородов, то равновесная концентрация последних в коксовом газе составит: при 25 °С – 9 г/м³; при 35 °С – 12 г/м³; при 40 °С – 16 г/м³. Если же на орошение скрубберов подавать масло, в котором содержится 2 г/м³ бензолных углеводородов, то равновесная концентрация при 40 °С составит ~ 32 г/м³. Такое поглотительное масло практически ничего не извлечет из коксового газа с обычным содержанием бензолных углеводородов 33 – 36 г/м³. Для того, чтобы обеспечить степень извлечения бензолных углеводородов до остаточного содержания в очищенном газе до 3 г/м³, Правилами технической эксплуатации коксохимических предприятий (ПТЭ)[5] закладываются следующие параметры:

– в поглотительном масле, идущем на извлечение, должно содержаться не более 0,3 % бензолных углеводородов (в практике стран – лидеров коксохимического производства эти величины составляют 0,1–0,2 %);

– средняя температура коксового газа не должна превышать 30 °С (в зарубежной практике чаще указывается величина 25–28 °С);

– насыщение каменноугольного поглотительного масла не должно превышать 2–3 %

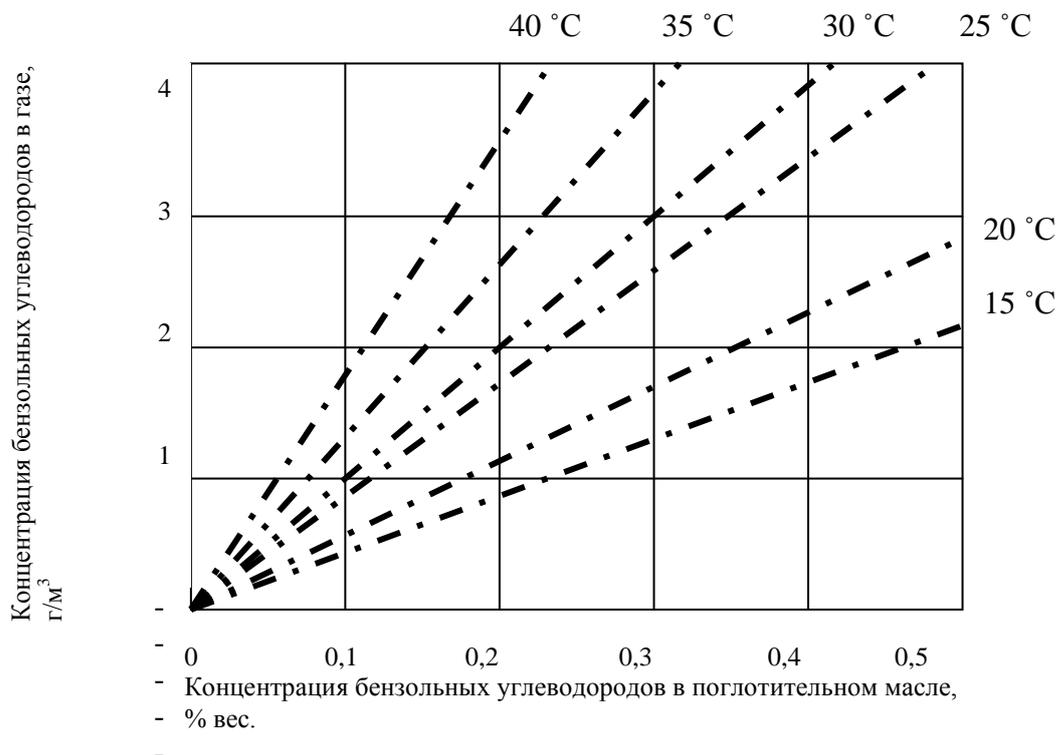
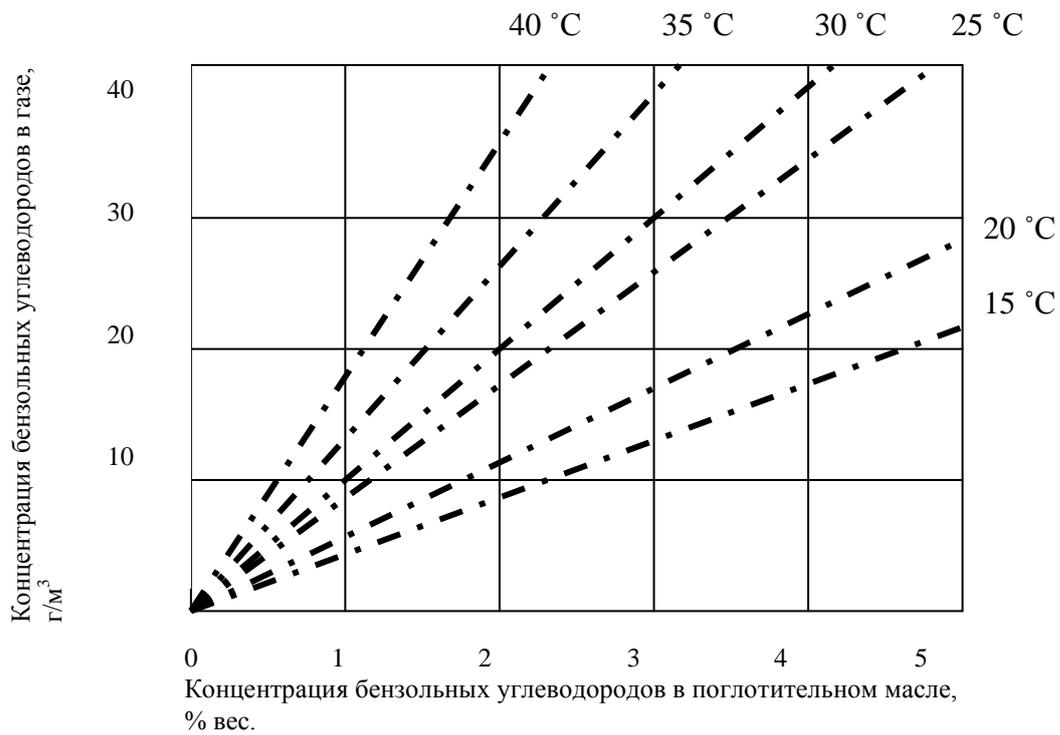


Рисунок 1 – Диаграммы равновесных концентраций бензольных углеводородов в коксовом газе и каменноугольном поглотительном масле при различных температурах контакта

Особо следует подчеркнуть, что соблюдение приведенных уровней технологических параметров обязательно для абсолютно всех аппаратов для абсорбции бензольных углеводородов (независимо от применяемых насадок, форсунок, тарелок и т.п.), т.к. эти параметры являются определяющими.

Применяемые технологические схемы, аппаратное оформление и ряд других факторов, являются вторичными, обеспечивающими, в конечном итоге, экономику процесса.

Для большинства коксохимических предприятий Украины характерны повышенные потери бензольных углеводородов с обратным газом, превышающие указанные выше предельно допустимые ПТЭ.

Подобное состояние является суммарным эффектом ряда отрицательных факторов, к которым, в первую очередь, должны быть отнесены:

- нестабильность расходов газа и поглотительного масла;
- неудовлетворительный температурный режим;
- низкое качество оборотного поглотительного масла;
- неудовлетворительное состояние основного технологического оборудования;
- низкая обеспеченность установок системами КИП.

Многие коксохимпроизводства ведут работы по модернизации установок и технологического оборудования, и адаптации их к работе в современных технологических условиях. Этим производствам в первую очередь адресована наша публикация, в которой систематизированы основные достижения рассматриваемого процесса.

При модернизации существующих и строительстве новых установок должны быть выдержаны приведенные выше технологические параметры и учтены мероприятия и технические решения, которые реализованы в промышленной практике как передовыми производствами дальнего и ближнего зарубежья, так и коксохимпроизводствами Украины. К основным усовершенствованиям могут быть отнесены нижеследующие [6–17].

1. Более качественная подготовка коксового газа, подаваемого на извлечение бензольных углеводородов от кислых компонентов (HCN, H₂S), нафталина, непредельных соединений и т.п. Одним из вариантов решения поставленной задачи является расположение скрубберов для извлечения бензольных углеводородов после сероочистки [6,7]. Это позволит значительно увеличить срок службы каменноугольного поглотительного масла с одновременным повышением глубины извлечения бензольных углеводородов.

2. Промывка работающего поглотительного масла водой с целью уменьшения его коррозионной активности за счет вымывания из него агрессивных компонентов. Установлено, что снижение содержания NH₄CNS, (NH₄)₂S, NH₄CN и др. на 60–70 % снижает коррозионную активность масла в 4–6 раз [8]. Промывке рекомендуется подвергать часть работающего масла, отбираемого из оборота. Экономия достигается, в первую очередь, за счет повышения сроков службы масла, и, естественно, сроков эксплуатации основного технологического оборудования.

3. Стабилизация качества работающего каменноугольного поглотительного масла путем регенерации его части с целью вывода образующихся полимеров и минимизации количества тяжелокипящих компонентов (антрацена, карбазола и др.), оставшихся в последнем.

4. Пополнение цикла свежим каменноугольным поглотительным маслом, отвечающим требованиям современных ТУУ для масла марки «А» или его импортными

аналогами, иногда встречающимися в практике коксохимических производств Украины.

5. Оптимизация интервала температур газа и масла путем дифференцированной подачи обезбензоленного поглотительного масла по ступеням абсорбции. Этот прием позволяет снизить содержание бензольных углеводородов в обратном газе за счет существенного понижения температуры масла, подаваемого на последнюю ступень абсорбции без его обводнения. Суть предложения заключается в компенсации теплопотерь масла путем добавки небольших количеств горячего обезбензоленного масла к основному потоку последнего [9]. Исследованиями в промышленных условиях показано, что предложенная технологическая схема позволяет снизить потери бензольных углеводородов с обратным газом в среднем на 2–5 г/м³ по сравнению с традиционной схемой. Температура масла, подаваемого на последнюю ступень (по ходу газа) уменьшена в среднем на 7–8 °С.

6. Использование на стадии абсорбции бензольных углеводородов из коксового газа скрубберов с регулярными насадочными элементами, сочетающими высокую пропускную способность с повышенной эффективностью [10–13].

7. При проектировании новых аппаратов использование новых высокоэффективных элементов внутренней структуры (насадок, распределителей и перераспределителей газа и масла), позволяющих обеспечивать необходимую эффективность в одном технологическом аппарате [13–15].

8. Более четкое разделение сырого бензола и каменноугольного масла в дистилляционной колонне рекомендуется достигать путем увеличения количества тарелок и осуществлением дефлегмации с помощью рефлюкса. При этом должна быть предусмотрена возможность вывода из оборотного масла нафталина.

9. Увеличение числа тарелок в дистилляционной колонне целесообразно не только с точки зрения стабилизации качества поглотительного масла, но и вследствие возможности уменьшения при этом его расхода, а также значительного снижения расхода острого пара на десорбцию. Уменьшение подачи пара в колонну приводит к уменьшению необходимой поверхности дефлегмации, сокращению расхода технической воды на охлаждение паров и снижению количества сточных вод.

10. Для окончательного нагрева (до 170–180 °С) насыщенного каменноугольного масла перед подачей в дистилляционную колонну рекомендуется применение трубчатых печей с беспламенными панельными горелками.

11. Применение теплообменного оборудования повышенной эффективности, позволяющего проводить процесс теплообмена, дефлегмации и конденсации целевого продукта с минимальными энергетическими потерями. Так, в частности, применение спиральных теплообменников, способных эффективно работать в средах, содержащих твердые включения, способно значительно повысить коэффициенты теплопередачи. Имеются примеры успешного использования этих аппаратов на ряде коксохимических заводов стран СНГ.

12. Разработка и внедрение автоматизированных систем управления процессом абсорбции бензольных углеводородов из коксового газа и десорбции сырого бензола из поглотительного масла. Несмотря на весьма значительные затраты на использование контрольно-измерительной аппаратуры, работающей в реальном масштабе времени, это экономически выгодно. Оценочные показатели снижения затрат энергии и материалов могут достигать 12–15 % [16]; имеют место сокращение объемов свежей воды, подаваемой на градирни, а также уменьшение объемов сточных вод.

13. Применение частотного регулирования электроприводов для энергосбережения и более точного регулирования технологических параметров [17–18].

Все указанные усовершенствования не всегда могут быть применены одновременно, так как они частично исключают друг друга. Но при рациональном их комбинировании возможно значительное снижение производственных и энергетических затрат на выработку сырого бензола. В качестве варианта подобного решения может быть рассмотрена технологическая схема абсорбции бензольных углеводородов и получения сырого бензола, представленная на рис. 2.

Рекомендуемая технологическая схема работает следующим образом: поток коксового газа I с температурой 25–28 °С поступает в нижнюю часть скруббера 1, распределяется по его сечению и взаимодействует на поверхности насадки с обезбензоленным поглотительным маслом, распределяемым в верхней части и покидает аппарат.

В свою очередь, насыщенное поглотительное масло насосом подается через теплообменники 8, 10 в трубчатую печь 2, где нагревается до температуры 170–180 °С. Пары и тяжелокипящие фракции последнего поступают далее на питающую тарелку исчерпывающей части бензольной колонны 4. Стекая вниз по тарелкам исчерпывающей части бензольной колонны, масло контактирует с поднимающейся вверх паровой фазой, состоящей из водяных паров, паров бензольных углеводородов и масла.

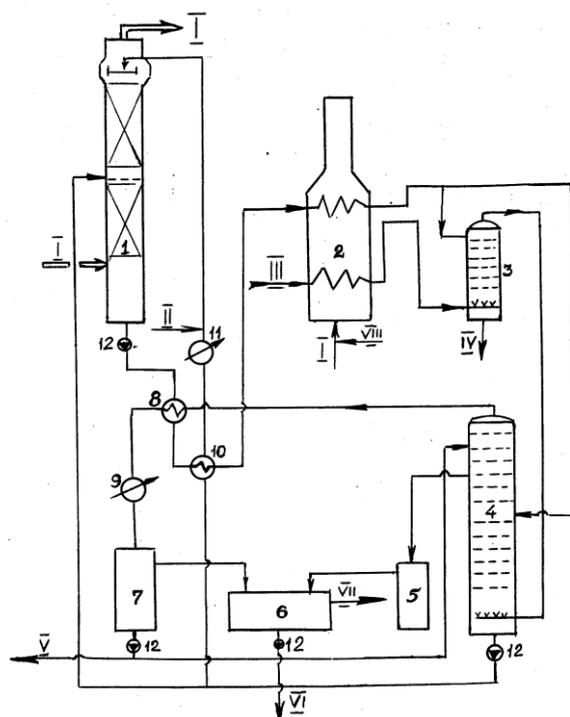


Рисунок 2 – Рекомендуемая схема абсорбции бензольных углеводородов из коксового газа и получения сырого бензола

1 – скруббер; 2 – трубчатая печь; 3 – колонка регенерации; 4 – дистилляционная колонна;
5 – сепаратор; 6 – отстойник нафталина; 7 – сепаратор; 8 – теплообменник; 9 – конденсатор;
10 – теплообменник "масло-масло"; 11 – холодильник

Материальные потоки: I – коксовый газ, II – свежее масло, III – пар, IV – полимеры,
V – сырой бензол, VI – сепараторные воды, VII – нафталин

В результате, поднимающаяся вверх паровая фаза обогащается летучими компонентами, а спускающаяся вниз жидкая фаза – компонентами поглотительного масла.

Для создания восходящего потока паровой фазы в исчерпывающей части дистилляционной колонны часть масла после трубчатой печи подается в верхнюю часть регенерационной колонны 3, а в нижнюю часть этой же колонны подается пар III, перегретый в трубчатой печи 2. В результате имеет место отгон легких погонов масла в дистилляционную колонну 4 и последующий вывод кубового остатка («полимеров») IV.

Пары масла, содержащие бензолные углеводороды, а также водяные пары из исчерпывающей части поступают в укрепляющую часть дистилляционной колонны 4, на верхнюю тарелку которой подают сырой бензол в виде рефлюкса. Стекая вниз навстречу потоку паров масла, рефлюкс полностью испаряется за счет тепла восходящего потока сырого бензола и воды, а также тепла конденсации паров масла, которые практически полностью возвращаются в исчерпывающую часть колонны.

В свою очередь пары бензолных углеводородов выводятся с верха укрепляющей части в конденсатор 8 и холодильник 9 для полной конденсации.

Конденсат паров воды и бензолных углеводородов направляется в сепаратор 7 для отделения сырого бензола от воды. Часть сырого бензола из сборника сепаратора 7 насосом подается в виде рефлюкса в дистилляционную колонну, а вторая часть выводится из цикла в виде готового продукта (сырого бензола) V.

В укрепляющей части колонны имеет место определенный градиент температур и состава жидкой фазы по высоте колонны. На верхних тарелках укрепляющей части в жидкой фазе преобладают более низкокипящие компоненты (сырой бензол). На нижних тарелках жидкая фаза состоит преимущественно из наиболее высококипящих компонентов (поглотительное масло).

Из средней части осуществляется отбор промежуточной фракции, обогащенной нафталином, в сепаратор 5. Благодаря этому, реально снижение содержания нафталина в оборотном масле.

К числу основных достоинств предложенной технологической схемы, снабженной современными технологическими аппаратами, в первую очередь должны быть отнесены:

- стабилизация количественного состава полученного сырого бензола (с колебаниями отгона до 180 °С не более ± 1 % в интервале значений от 91 до 96 %);
- снижение потерь напора газа при абсорбции в рекомендуемом скруббере может составлять 30–50 % по сравнению с применяемыми в настоящее время;
- снижение расхода пара на дистилляцию поглотительного масла в 2–2,5 раза по сравнению с применяемым;
- уменьшение количества сточных вод бензольного отделения, подлежащих утилизации.

Литература

1. Руководство по коксованию / Под ред. Гроссинского О.: Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1971. – 606 с.
2. Коляндра Л.Я. Улавливание и переработка химических продуктов коксования. – Харьков.: Гос. научн.-техн. издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 468 с.
3. Справочник коксохимика / под ред. А.К. Шелкова. Т. III – М.: Металлургия, – 391 с.

4. Лазорин С.Н., Стеценко Е.И. Производство сырого бензола. – Киев: Техника, 1969. – 221 с.
5. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий / Министерство промышленной политики. – Харьков, 2001. – 309 с.
6. А.С. № 255903.СССР. Способ улавливания химических продуктов коксования/ Черниченко П.М., Горелова Л.З. и др., МПК С10 ГВ.
7. Чуищев В.М., Кононенко Е.Б., Никонюк Ф.П. О качестве каменноугольного поглотительного масла // Кокс и химия. – 1986. – №9. – С. 50–51.
8. А.С. № 342889. СССР. Способ очистки поглотительного масла / Е.И. Громов, И.С. Сидоренко и др.; Опубл. в 1972, БИ №20.
9. А.С. № 1063822. СССР. Способ очистки коксового газа от бензольных углеводородов / О.И. Лавров, Н.Ф. Михайлов и др., МК С 10 К1/08.
10. Лавров О.И., Михайлов Н.Ф., Бродович А.И. и др. Внедрение в промышленную практику технологической схемы извлечения бензольных углеводородов в абсорберах большой единичной мощности // Кокс и химия. – 1986. – №2. – С. 42–44.
11. Пинчугов В.Н., Котович А.А., Тянников Г.М. и др. Освоение скрубберов с плоскопараллельной насадкой // Кокс и химия. – 1985. – №7. – С. 40–41.
12. Чимаров В.А., Швед В.С., Сычев С.С. Опыт эксплуатации бензольно-скрубберного отделения // Кокс и химия. – 2004. – №2 – С. 36–38.
13. Тарасов Н.А., Мельников И.И., Крячук В.М. и др. Освоение усовершенствованной схемы бензольного отделения цеха улавливания химических продуктов коксования // Кокс и химия. – 2001. – №12. – С. 24–29.
14. Лаврова И.О., Шустиков В.И., Лавров О.И. Сравнительная оценка различных технологических установок для абсорбции бензольных углеводородов из коксового газа // Углекислотный журнал. – 2000. – № 3–4. – С. 36–40.
15. Ковалев Е.Т. Научные основы и технология переработки высококипящих фракций каменноугольной смолы с получением полициклических углеводородов. – Харьков: Контраст, 2001. – 216 с.
16. S. Matsumura, S. Ohashi, H. Taketoni. Systematization of B.U. Product plant// NKK Technical Review/ – 1989. – #57/ – P. 74–82.
17. Гиршин С.З., Соловьев В.Ю. О применении частотнорегулируемых приводов в электроустановках ОАО «Кокс»// Кокс и химия. – 2004. – №2. – С. 48–49.
18. Современные энергосберегающие технические решения в различных областях применения регулируемых асинхронных электроприводов / рекламные материалы MITSUBISHI ELECTRIC.

УДК 662. 74

Лаврова И.О., Лавров О.И.

РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ОТРИМАННІ СИРОГО БЕНЗОЛУ З КОКСОВОГО ГАЗУ

У статті розглянуті основні вимоги, що висуваються практикою проведення процесу абсорбції бензольних вуглеводнів з коксового газу і отримання сырого бензолу. Наведені останні досягнення у процесі, що розглядається, показано можливості значного підвищення економічних показників процесу та оптимальні шляхи їх реалізації.