

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЕНЗОЛЬНО-СКРУББЕРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ НА ПАО "ЕВРАЗ ДНЕПРОДЗЕРЖИНСКИЙ КХЗ". ЗАМЕНА БЕНЗОЛЬНОЙ КОЛОННЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТАРЕЛЬЧАТЫХ УСТРОЙСТВ С НЕПОДВИЖНЫМИ КЛАПАНАМИ© Ю.А. Басий¹, П.Е. Максименко², С.И. Охрименко³

ПАО "ЕВРАЗ Днепродзержинский КХЗ", 51901, г. Днепродзержинск, ул. Колеусовская, 1, Украина

Л.П. Банников⁴

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина

¹Басий Юрий Александрович, главный инженер, e-mail: chiefeng@dkhz.com.ua²Максименко Петр Ефремович, нач. цеха улавливания химических продуктов коксования, e-mail: p.maximenko@dkhz.com.ua³Охрименко Сергей Иванович, нач. участка производства сырого бензола, e-mail: s.ohrimenko@dkhz.com.ua⁴Банников Леонид Петрович, к.т.н., заведующий химическим отделом, e-mail: ukhinbannikov@gmail.com

В статье рассмотрены преимущества технологической схемы дистилляции бензольных углеводородов с орошением колонны сырым бензолом, которая реализована на предприятии ПАО «ЕВРАЗ Днепродзержинский КХЗ». Приведены характеристика установки дистилляции и режимные показатели процесса. Установлены регрессионные взаимосвязи между определяющими параметрами технологического процесса дистилляции масла с содержанием бензольных углеводородов в масле дебензине и с содержанием отгона до 180 °С в сыром бензоле.

Ключевые слова: дистилляционная колонна, бензольные углеводороды, орошение, рефлюкс, флегма, обратное масло, тарелки, неподвижные клапаны.

Улавливание бензольных углеводородов (БУ) из коксового газа на предприятиях Украины должно производиться до остаточного содержания менее 3 г/м³ [1]. Основные недостатки существующей технологии связаны с применением малоэффективной тепло – массообменной аппаратуры, а также морально устаревших технологических приемов на отдельных участках технологической схемы. Причины недостижения нормативного уровня потерь БУ связаны с нестабильностью расходов газа и поглотительного масла, неудовлетворительным температурным режимом, низким качеством обратного поглотительного масла, неудовлетворительным состоянием технологического оборудования, низким обеспечением установок системами КИП и автоматики [2]. Кроме этого, нестабильность энергетических параметров пара, зачастую вызванная колебаниями давления коксового газа в сети предприятия, приводит к существенному осложнению ведения процесса дистилляции БУ, что особенно сказывается на установках с паровым подогревом масла.

Для улучшения процесса улавливания – дистилляции рекомендуется, в частности, схема дистилляции масла с орошением колонны рефлюксом [2], что, прежде всего, позволит стабилизировать качественный состав сырого бензола (снизить колебания содержания отгона до 180 °С до не более 1 % в интервале от 91 до 96 %). В комплексе с решением по подаче части неохлажденного масла дебензине на первую по ходу движения газа секцию абсорбции, предполагается снижение расхода пара в 2,0-2,5 раза [2].

Орошение флегмой имеет тот недостаток, что в подаваемой на орошение флегме иногда содержится значительное количество воды. Это нарушает требуемый технологический режим, поэтому укрепляющая часть колонны практически не участвует в технологическом процессе. Такое положение ухудшает отгон бензольных углеводородов из насыщенного бензолом поглотительного масла. Орошение бензольной колонны рефлюксом (легкой флегмой) предусматривалось для снижения содержания бензольных углеводородов в масле дебензине, наряду с увеличением расхода пара на бензольную колонну [3].

В литературе схема с орошением дистилляционной колонны рефлюксом носит название схемы Коперса с получением 98 %-ного сырого бензола. Пары из бензольной колонны конденсируются последовательно в теплообменнике и конденсаторе, конденсат поступает в сепаратор, откуда часть сырого бензола подается в виде рефлюкса насосом в верхнюю часть колонны. Расход пара в бензольном отделении, функционирующем по такой схеме, составляет 16 кг/м³ масла [4].

Схема дистилляции с орошением в качестве рефлюкса сырого бензола успешно функционирует на ПАО «АКХЗ». Подчеркивается, что применение данной схемы существенно сокращает капитальные затраты, так как исключается необходимость установки дефлегматора. По производственным данным затраты пара составляют 7 т/200 м³ масла (35 кг пара/м³ масла) [5].

На ПАО «ЕВРАЗ ДнепроДзержинский КХЗ» по проекту ЧАО «Коксохимпроект» и при участии ГП «УХИН» запроектирована модернизированная схема дистилляции бензола с орошением колонны сырым бензолом (рис. 1). К настоящему времени установка построена и вышла на стабильный режим работы. Характеристика установки приведена в табл. 1

Особенностью установки является применение тарельчатых устройств фирмы «Зульцер Хемтех». Эти устройства обеспечивают высокую производительность эффективность в широком диапазоне нагрузок и работоспособность без проведения очистки в течение суще-

ственно более долгого времени, нежели колпачковые тарелки.

Из-за более низкой температуры нагрева масла перед колонной и более высокой температуры пара, чем, скажем, на предприятии ПАО «АКХЗ», расход пара составляет порядка 50 кг/м³ масла. В настоящее время осуществляется реконструкция трубчатой печи бензольного отделения. Качество вырабатываемого сырого бензола и обезбензоленного поглотительного масла приведено в табл. 2. Обратное масло находится в стадии обновления после эксплуатации старой установки.

В настоящее время совместно с ГП «УХИН» намечается выполнение ряда мероприятий по оптимизации нового бензольного отделения с целью достижения более высоких показателей по отгону БУ из насыщенного масла, более низкого содержания воды в масле дебензине и снижения давления верха колонны до проектных величин.

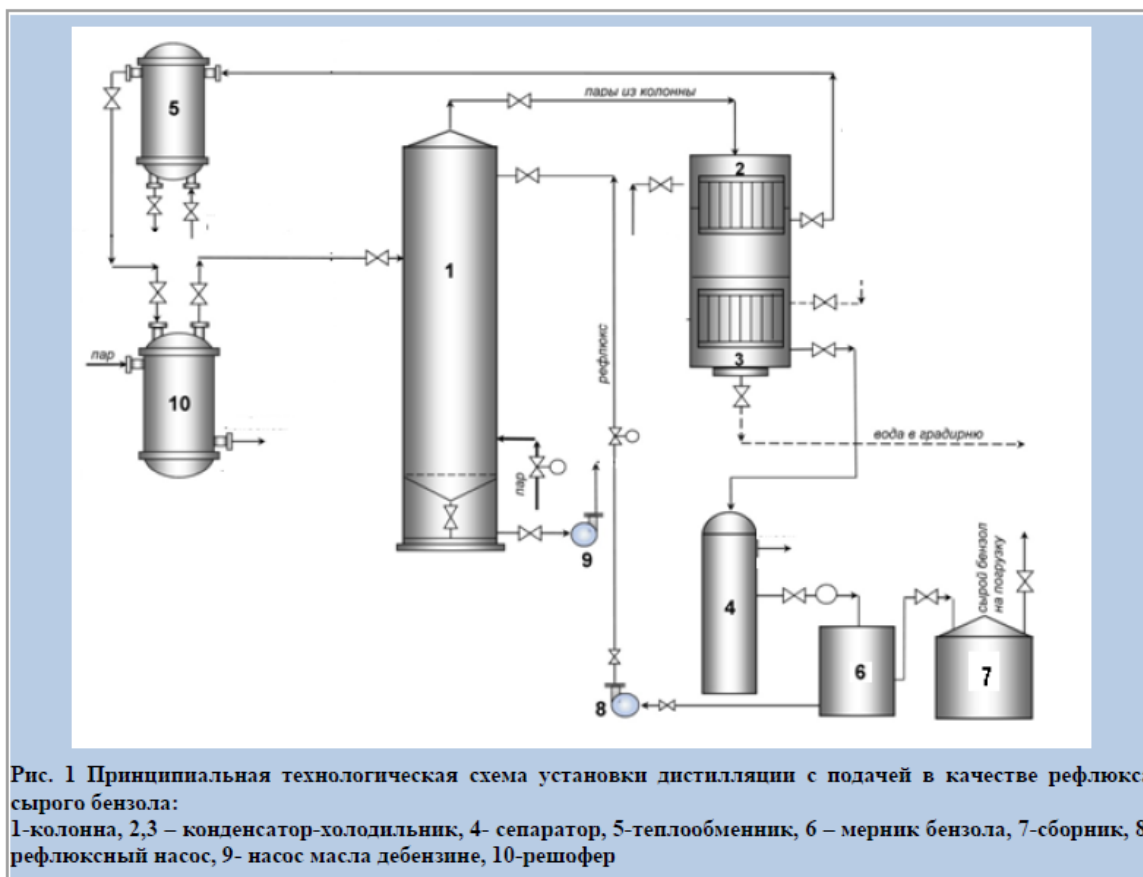


Таблица 1

Основные параметры отделения дистилляции бензола ПАО «ЕВРАЗ Днепродзержинский КХЗ»

Параметры	Единицы измерения	Значение
Диаметр колонны	мм	1600
Расход поглотительного масла на колонну	м ³ /ч	95-105
Температура масла после решофера	°С	135-150
Температура верха колонны	°С	94-98
Количество пара подаваемого в колонну	т/ч	5-7
Температура пара	°С	220-230
Количество рефлюкса	м ³ /ч	4,0-7,5
Температура рефлюкса	°С	25-33
Давление верха колонны	Н/см ²	0,5-0,6
Расход охлаждающей воды	м ³ /ч	130-140
Количество тарелок в укрепляющей части	шт.	5
Тип тарелок в укрепляющей части		MVG, клапанные, однопоточные
Количество тарелок в исчерпывающей части		20
Тип тарелок в исчерпывающей части		SVG, с неподвижными клапанами, двухпоточные
Межтарельчатое расстояние	мм	400
Материал тарелок		12X18Н10Т

Таблица 2

Характеристика вырабатываемого сырого бензола и качества масла дебензине

Параметры	Значение	
	регламент	факт
<i>Сырой бензол</i>		
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,886-0,889	0,884-0,886
Массовая доля отгона до 180 °С, %	>91	91,3-93,7
<i>Масло дебензине</i>		
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,060-1,065	1,083-1,094
Содержание отгона до 180 °С, %	<0,3	<0,6
Содержание воды, %	0,01-0,3	0,2-0,4

На первом этапе работы выполнены расчеты на основе материального и теплового балансов потоков для получения математической модели процесса дистилляции с применением рефлюкса (сырого бензола) по алгоритму [6]. Результаты расчетов обработаны методом множественной регрессии с применением электронных таблиц Excel функции «ЛИНЕЙН». При оценке корреляции рассчитанных и обработанных функцией «ЛИНЕЙН» данных наблюдались повышения коэффициента детерминации при учете взаимодействия выбранных факторов, а также при возведении в степень одного из аргументов.

Для получения регрессионных уравнений, описывающих основные параметры процесса дистилляции с

подачей рефлюкса, целевыми функциями отклика являлись:

- содержание бензольных углеводородов (БУ) в обезбензоленном масле, (ДБ), % по массе;
- содержание в сыром бензоле отгона до 180 °С, %.

В табл. 3 приведены интервалы варьирования переменных, определяющих содержание бензольных углеводородов в обезбензоленном масле. Интересно отметить, что по сравнению со схемой дистилляции с орошением флегмой, качество масла (содержание отгона до 270 °С, %) не оказывает значимого влияния на процесс. Видимо, более высокие градиенты температур и состава жидкой фазы в верхней части колонны нивелируют показатели фракционного состава масла.

Таблица 3

Параметры регрессионного уравнения для содержания БУ в масле ДБ

Содержание БУ в масле ДБ, %	Удельный расход острого пара, кг/т масла	Содержание БУ в масле Б, %	Рефлюксное число (массовое отношение рефлюкса к выработанному бензолу)	Температура после решофера, °С	Температура после конденсатора холодильника, °С
Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Интервалы варьирования переменных:					
мин	33	0,78	1,3	125	30
макс	82	2,54	3,0	160	30

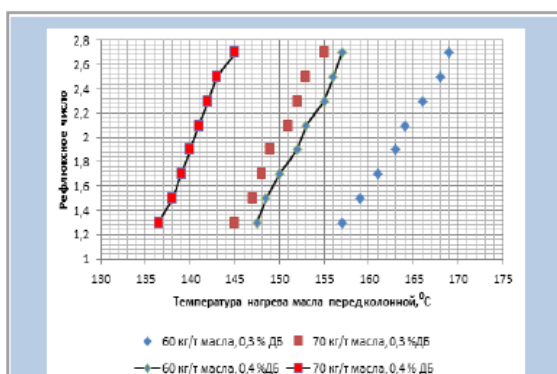


Рис. 2 Зависимость рефлюксного числа от температуры нагрева масла перед колонной при различном расходе острого пара (кг/т масла) для фиксированных условий: содержание БУ в масле дебензине 0,3 и 0,4%, содержание БУ в масле бензине 2,594%, температура после конденсатора холодильника 30 °С (построено по уравнению (1)).

Уравнение регрессии, характеризующее зависимость содержания БУ в масле ДБ от технологических параметров процесса, записывается в виде:

$$Y = -19.990929 + 0.24415 \times X_1^{0.4} + 1.151689 \times X_2 - 0.167291 \times X_3^{0.4} + 0.01173 \times X_4 - 0.000789 \times X_5 + 34.151394 \times (X_1^{0.4} \times X_4)^{-0.1} - 0.000000629 \times (X_1^{0.4} \times X_2)^5 + 0.008818 \times (X_2 \times X_3^{0.4})^2 + 0.001785 \times X_3^{0.4} \times X_4 - 0.086543 \times (X_2 \times X_4)^{0.6}; (R^2=0.988) \quad (1)$$

Уравнение (1), например, показывает, что при увеличении рефлюксного орошения, при прочих равных условиях, содержание БУ в масле дебензине увеличивается; для сохранения заданной степени дебензинации необходимо увеличивать нагрев масла перед колонной. На рис. 2 иллюстрируется соотношение температур нагрева масла и рефлюксных чисел для двух уровней дебензинации – 0,4 и 0,3 %.

В табл. 4 приведены интервалы варьирования переменных, определяющих содержание в сыром бензоле отгона до 180 °С, %.

Уравнение регрессии, характеризующее зависимость содержания в сыром бензоле отгона до 180 °С от технологических параметров процесса, записывается в виде:

$$Y = 1007.22153 - 32916.5 \times X_1^{-2} + 1.14626 \times 10^{-7} \times X_2^{20} - 213.7021 \times X_3^{-1} - 6.26441 \times 10^{-8} \times X_4^4 - 1598.144781 \times X_5^{-0.5} + 4.68627 \times 10^{-20} \times (X_1 \times X_2)^9 + 4702.0208 \times (X_2 \times X_3 \times X_4)^{-1} - 980.47527 \times (X_2 \times X_4)^{-0.1} - 0.006882299 \times X_1 \times X_5 + 4514.359264 \times (X_3 \times X_5)^{-1} - 1.9461597 \times 10^{-44} \times (X_4 \times X_5)^{11} - 0.2039 \times X_1 \times X_2 \times X_3; (R^2=0.931) \quad (2)$$

Таблица 4

Параметры регрессионного уравнения для оценки содержания в сыром бензоле отгона до 180 °С, %

Содержание в сыром бензоле отгона до 180 °С, %	Удельный расход острого пара, кг/т масла	Содержание БУ в масле Б, %	Рефлюксное число (массовое отношение рефлюкса к выработанному бензолу)	Температура после решофера, °С	Содержание в рабочем масле отгона до 270 °С, %
Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Интервалы варьирования переменных:					
мин	33	0.80	1.3	125	35
макс	81	2.50	3.0	160	75

Для условий расчета (рис. 2) вычислено содержание в сыром бензоле отгона до 180 °С по уравнению (2). Результаты приведены на рис. 3.

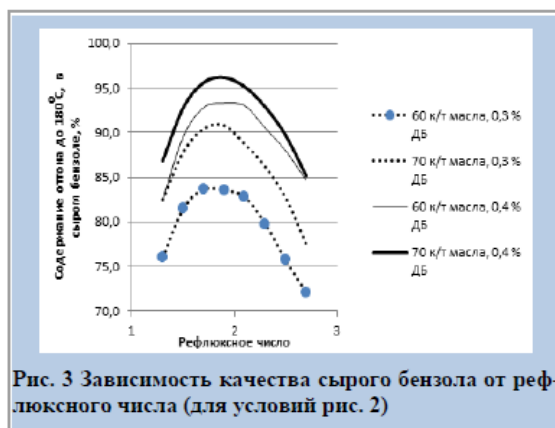


Рис. 3 Зависимость качества сырого бензола от рефлюксного числа (для условий рис. 2)

Как следует из проведенных вычислений, рефлюксное число имеет оптимум, близкий к 1,7, который при увеличении расхода острого пара и снижении уровня обезбензоливания масла слегка повышается до 1,9 единиц.

Следует отметить, что полученное уравнение регрессии не всегда дает точное количественное содержание отгона до 180 °С в сыром бензоле, но помогает оценить влияние факторов на качество продукта. Качественный анализ уравнения (2) показывает, что низкое содержание в сыром бензоле отгона до 180 °С обуславливается высоким расходом острого пара на единицу объема масла и его чрезмерным нагревом перед колонной в случае небольшого насыщения масла бензольными углеводородами при сниженном рефлюксном числе и высоком (выше 74 %) содержании отгона до 270 °С в оборотном масле. Такая комбинация условий на практике вряд ли встречается. Например, при низком насыщении масла бензине нет необходимости увеличивать расход острого пара при повышенном нагреве масла перед колонной.

Напротив, содержание отгона в оборотном масле до 270 °С на уровне 65-70 % и значение рефлюксного числа порядка 1,7 при насыщении масла выше 1,7 % способствуют высокому содержанию отгона до 180 °С в сыром бензоле при обеспечении соответствующего температурного режима бензольной колонны.

Выводы

Реализация одноступенчатой схемы конденсации паровой фазы, выводимой из дистилляционной колонны, с получением после декантации сырого бензола удешевляет модернизацию отделения дистилляции, облегчает сепарацию воды, обеспечивает высокое содержание отгона до 180 °С в получаемом продукте, сокращает потери масла с сырым бензолом.

Конденсация легких погонов масла непосредственно в дистилляционной колонне сохраняет их в основном абсорбционном цикле благодаря орошению колонны смесью углеводородов, температура кипения которых существенно ниже температуры кипения легких погонов масла.

Установлена корреляция с высокими коэффициентами детерминации основных параметров процесса дистилляции (при подаче рефлюкса вместо флегмы) с содержанием БУ в обезбензоленном масле и с содержанием отгона до 180 °С в сыром бензоле. Полученные уравнения могут быть использованы в целях оптимизации процесса, для выполнения упрощенных расчетов, создания программы-советчика, алгоритмов управления при автоматизации технологии и пр.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. – Харьков : Гипрококс, 2001. – 309 с.
2. Лаврова И.О. Резерви ресурсо- та енергозбереження у виробництві сырого бензолу з коксового газу / И.О. Лаврова, О.И. Лавров // УглеХимический журнал. – 2006. – № 5-6. – С. 39-42
3. Мушпа В.Х. Интенсификация процесса улавливания и дистилляции бензольных углеводородов / В.Х. Мушпа, В.Г. Дзюбак, С.Е. Селин, Е.Л. Волков // УглеХимический журнал. – 2007. – № 5. – С. 62-66.
4. Лазорин С.Н. Производство сырого бензола / С.Н. Лазорин, Е.И. Стеценко. – Киев: Техника, 1969. – 221 с.
5. Скрипченко Н.П. Опыт эксплуатации современного бензольного отделения ПАО «АКХЗ» / Н.П. Скрипченко, Ю.В. Еремеев, В.П. Казьмин, А.В. Костенко // Кокс и химия. – 2013. – № 11. – С. 40-44.
6. Банников Л.П. Регрессионный анализ параметров технологического процесса улавливания бензольных углеводородов из коксового газа / Л.П. Банников // Кокс и химия. – 2014. – № 11. – С. 30-33.

Рукопись поступила в редакцию 07.09.2015

MODERNIZATION OF BENZENE SCRUBBING UNIT OF PJSC "EVRAZ DNIPRODZERZHYNsky COKE-CHEMICAL PLANT". BENZENE COLUMN REPLACEMENT USING FIXED VALVES PLATES

© Basiy U.A., Maksimenko P.E., Okhrimenko S.I. (PJSC "EVRAZ Dniprodzerzhynsky Coke-Chemical Plant"), Bannikov L.P., PhD in technical sciences (SE «UKHIN»)

The article discusses the benefits of the technological scheme of the benzene distillation column with crude benzene reflux return, that was implemented in the enterprise PJSC "EVRAZ Dniprodzerzhynsky Coke-Chemical Plant". The characteristic of distillation unit and regime parameters of the process have been showed. Regressions correlation between the main parameters of the process of wash oil distillation with the content of benzene hydrocarbons in distilled wash oil and content of distillate up to 180 °C in raw benzene were established.

Keywords: distillation column, benzene hydrocarbons, crude benzene, reflux, phlegm, recycling wash oil, plates with fixed valves.
