

**ВНЕДРЕНИЕ НОВОГО ТИПА  
МАССОБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ  
УЛАВЛИВАНИЯ БЕНЗОЛЬНЫХ  
УГЛЕВОДОРОДОВ**

**THE IMPLEMENTATION OF THE NEW  
TYPE OF MASS-TRANSFER APPARATUS  
FOR BENZENE HYDROCARBONS  
RECOVERY**

© 2013 Бирченко А.Н., Черновол П.А.,  
Федоров Н.В. (ПАО «ЯКХЗ»),  
Никифоров Б.Л.  
(SULZER CHEMTECH LTD)

Банников Л.П., к.т.н. (ГП «УХИИ»),

Birchenko A.N., Chernovol P.A.,  
Fedorov N.V.

(PJSC "Yasinovsky Coking Plant"),

Nikiforov B.L. (SULZER CHEMTECH LTD)

Bannikov L.P., PhD in technical sciences  
(SE "UKHIN"),

*В статье представлены прогнозные и фактические результаты процесса улавливания бензольных углеводородов на структурированной насадке фирмы «SULTZER CHEMTECH LTD». Основные преимущества связаны с низким гидравлическим сопротивлением аппарата и с высокой эффективностью улавливания бензола.*

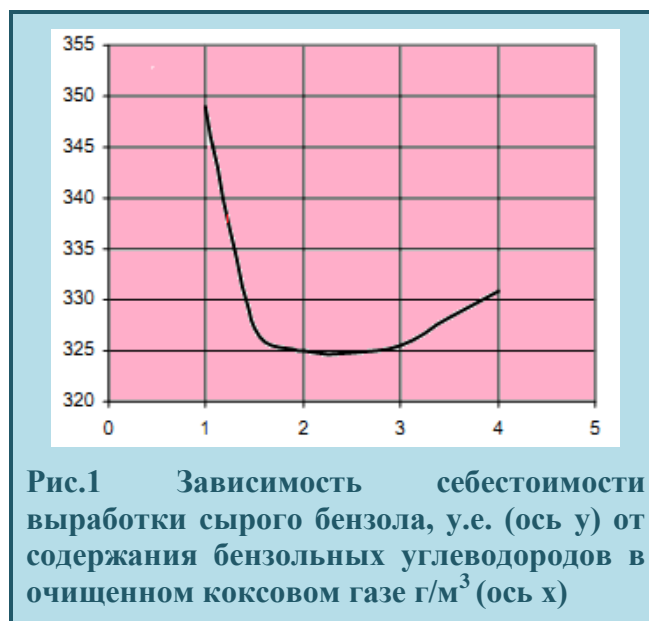
*The article presents theoretical and experimental results on the process of BTX recovery from coke oven gas with structural packing "SULTZER CHEMTECH LTD". The main technical advantages were connected with low hydraulic pressure drop and high efficiency.*

Ключевые слова: коксовый газ, бензольные углеводороды, абсорбция, структурированная насадка, гидравлическое сопротивление.

Keywords: coke oven gas, BTX, absorption, structural packing, hydraulic pressure drop.

\*\*\*\*\*

Одной из основных технологических операций по переработке сырого коксового газа является извлечение бензольных углеводородов с получением сырого бензола, имеющего устойчивый спрос на отечественном и зарубежных рынках. Однако при проектировании новых цехов улавливания вопрос о целесообразности извлечения бензольных углеводородов является дискуссионным. При модернизации работающего бензольного отделения предметом обсуждения является глубина извлечения бензола из коксового газа в зависимости от капитальных и эксплуатационных расходов. Так, в работе [1] проанализировано влияние основных технологических параметров на потери бензольных углеводородов с обратным газом. На рис. 1 представлена зависимость себестоимости производимого сырого бензола в зависимости от содержания бензольных углеводородов в очищенном газе, полученная для конкретного бензольного отделения. Зависимость имеет ярко выраженный экстремум: минимум затрат на производство тонны бензола достигается в интервале значений 2,0-2,8 г/м<sup>3</sup>. Ниже этого интервала, для принятых в расчете условий, рост затрат на производство сырого бензола будет превышать стоимость дополнительно уловленного продукта.



При модернизации бензольного отделения на ПАО «ЯКХЗ» необходимо было учитывать следующие особенности:

- наличие цеха ректификации, имеющего свободные производственные мощности по переработке сырого бензола и испытывающего нехватку в сырье;
- ограниченное гидравлическое сопротивление для вновь устанавливаемого скруббера;
- ограниченная свободная площадь для нового оборудования;
- экономические потери от нереализации чистых продуктов ректификации при остановке имеющихся бензольных скрубберов;
- невозможность использования корпусов имеющихся скрубберов для установки новой насадки, так как реконструкцию надо было произвести без остановки действующего производства.

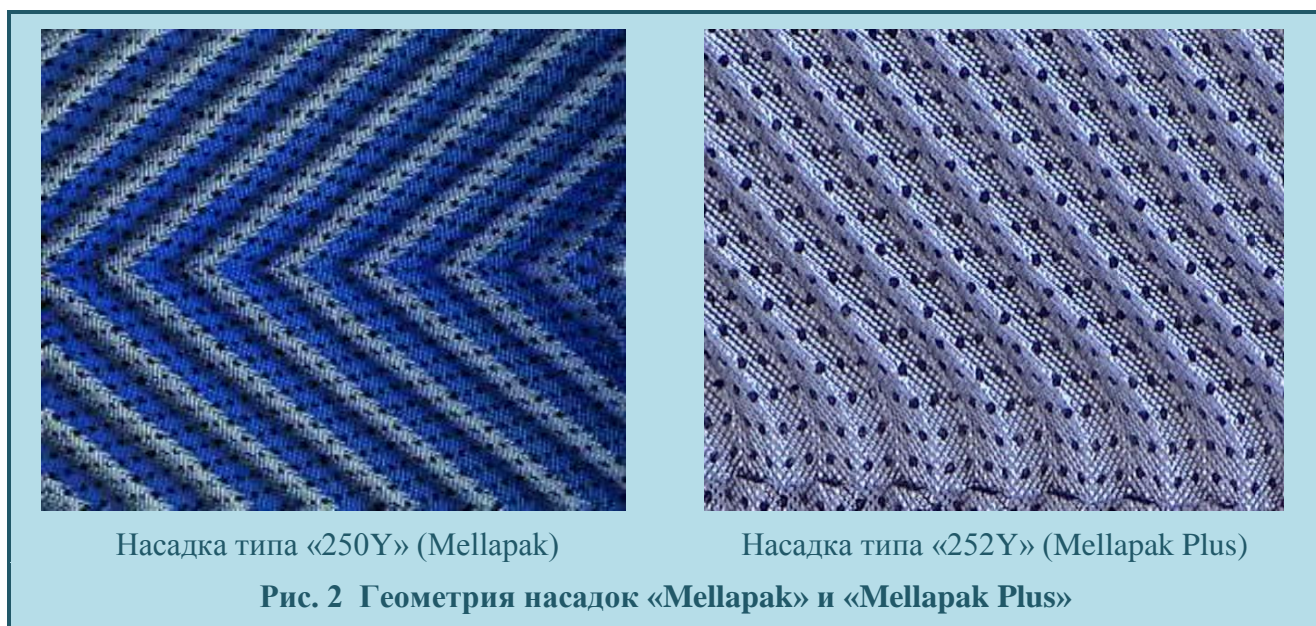
Поэтому для реконструкции скрубберного отделения необходимо было построить отдельно стоящий, компактный, высокоинтенсивный аппарат, обеспечивающий высокую степень улавливания бензольных углеводородов из коксового газа.

На ПАО «ЯКХЗ» в настоящее время осуществляется поэтапная реконструкция бензольного отделения (ТЛЗ ГП «УХИН», проектная документация ЧАО «КОКСОХИМПРОЕКТ») при активном участии технического отдела предприятия. Особенностью принятых технических решений является привлечение разработок компании «SULTZER CHEMTECH LTD» [2] в части использования контактных устройств для скруббера и дистилляционной колонны, а также использование разработок фирмы «TRANTER» [3] для процессов теплообмена. В результате осуществления реконструкции скрубберного отделения на предприятии пущен в эксплуатацию и успешно функционирует первый на территории постсоветского пространства бензольный скруббер с насадкой «Sultzer», технические характеристики которого полностью соответствуют объективно сложившимся условиям реконструкции.

Разработанные компанией «SULTZER CHEMTECH LTD» насадочные устройства за рубежом успешно применяются для очистки коксового газа, в том числе и для улавливания бензола. Учитывая особенности данных процессов (загрязненность коксового газа смолистыми веществами и нафталином, необходимость низкого гидравлического сопротивления и достаточно высокая удельная поверхность абсорбции) широкое распространение нашли структурированные насадки типа «Mellapak».

На ПАО «ЯКХЗ» применена насадка Sultzer Mellapak Plus (тип 252Y-6). Данная насадка является высокоинтенсивной структурированной гофрированной, «252» обозначает удельную поверхность насадки, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, «Y» отображает величину угла наклона листов насадки при формировании пакетов (45°).

Ранее фирма ThyssenKrupp Uhde проводила исследования абсорбции бензола каменноугольным поглотительным маслом на насадке типа Mellapak 350Y [4, 5]. В отличие от насадки типа «250Y» (ранее применялись для процессов абсорбции-дистилляции) насадка «252Y» является примером дальнейшей модернизации насадочных элементов. На рис. 2 изображены геометрические отличия насадок типа «250Y» и «252Y».



Основные достоинства модернизированной насадки (Mellapak Plus):

- газовый поток плавно меняет направление между двумя элементами насадки;
- газовый поток ориентирован практически вертикально на участке изменения направления, и поэтому скорость газа снижается на 25 %;
- вследствие этих двух факторов снижается гидравлическое сопротивление элемента насадки.

В табл. 1 и на рис. 3 приведены основные сравнительные характеристики различных насадок. Таблица 1

**Техническая характеристика насадок**

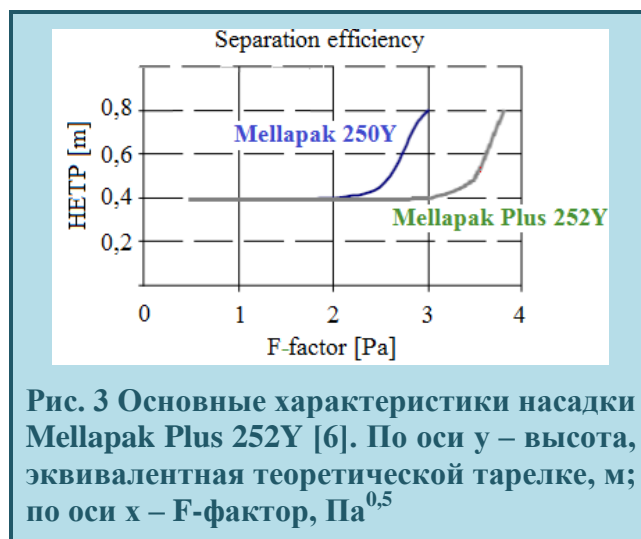
Модель	Угол наклона листов насадки при формировании пакетов, °	Число теоретических тарелок на 1 м высоты насадки	Площадь поверхности, (м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> )
250Y	45	2,0-2,5	250
350Y	45	3,5-4,0	350
252Y	45	2,5-5,9	252

Известно, что скоростной характеристикой работы скруббера является значение F-фактора, определяемого по формуле:

$$F = \omega \sqrt{\rho}, \text{ Па}^{0,5} \quad (1),$$

где  $\omega$  – скорость газа, м/сек;  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

При оптимальном значении F-фактора обеспечивается достаточно интенсивная массопередача, умеренный брызгоунос и умеренное сопротивление контактных устройств.



По данным [7], применение насадки Mellapak Plus позволило поднять предельное значение F-фактора до 5,5 Па<sup>0,5</sup>. Из приведенных на рис. 2 данных видно, что до величины F-фактора = 3 Па<sup>0,5</sup> высота одной теоретической тарелки не превышает 0,4 м. С дальнейшим увеличением скорости газа эффективность абсорбции несколько снизится, так как высота теоретической тарелки вырастет до 0,8 м (F = 3,0-3,7 Па<sup>0,5</sup>). Для ранее применявшейся насадки Mellapak 250Y снижение эффективности произойдет ранее (F = 2-3 Па<sup>0,5</sup>).

Расчетные характеристики бензольного скруббера при различной производительности представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетные характеристики насадки «252Y» при максимальных значениях производительности скруббера**

Параметры	Производительность по газу, тыс. м <sup>3</sup> /ч	
	100	120
Скорость на полное сечение скруббера, м/сек	2,7	3,3
F-фактор, Па <sup>0,5</sup>	1,8	2,2
Перепад давления на 1 м насадки, мбар/м	0,7	1,05
То же, мм вод.ст.	7,2	10,7
Перепад давления на 12 м насадки, мм вод.ст.	86	128
Высота теоретической тарелки, м	0,38	0,39
Число теоретических тарелок (на высоту 12 м насадки), шт.	31	30
Требуемое число теоретических тарелок, шт.	7-9	
Удельная плотность орошения на сечение аппарата, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ×ч, при расходе масла 160 м <sup>3</sup> /ч	15,7	

Эффективность улавливания бензольных углеводородов из коксового газа в пусковой период (%) приведена на рис. 4. Из приведенных данных следует:

– в начальный период эксплуатации эффективность улавливания находилась на уровне показателей эксплуатации двух скрубберов с плоскопараллельной насадкой (91 % при среднем содержании бензольных углеводородов в очищенном газе 3,5 г/м<sup>3</sup>);

– с выходом на режим эффективность улавливания бензольных углеводородов существенно выросла и составила 94,9 % (при среднем содержании бензольных углеводородов в очищенном газе 2,0 г/м<sup>3</sup>).



Рис. 4 Эффективность улавливания бензольных углеводородов при эксплуатации нового скруббера с насадкой «Sultzer»

На рис. 5 представлена паспортная характеристика гидравлического сопротивления 1 м высоты насадки Sultzer Mellapak Plus 252Y при различных расходах жидкости на квадратный метр сечения скруббера [8].

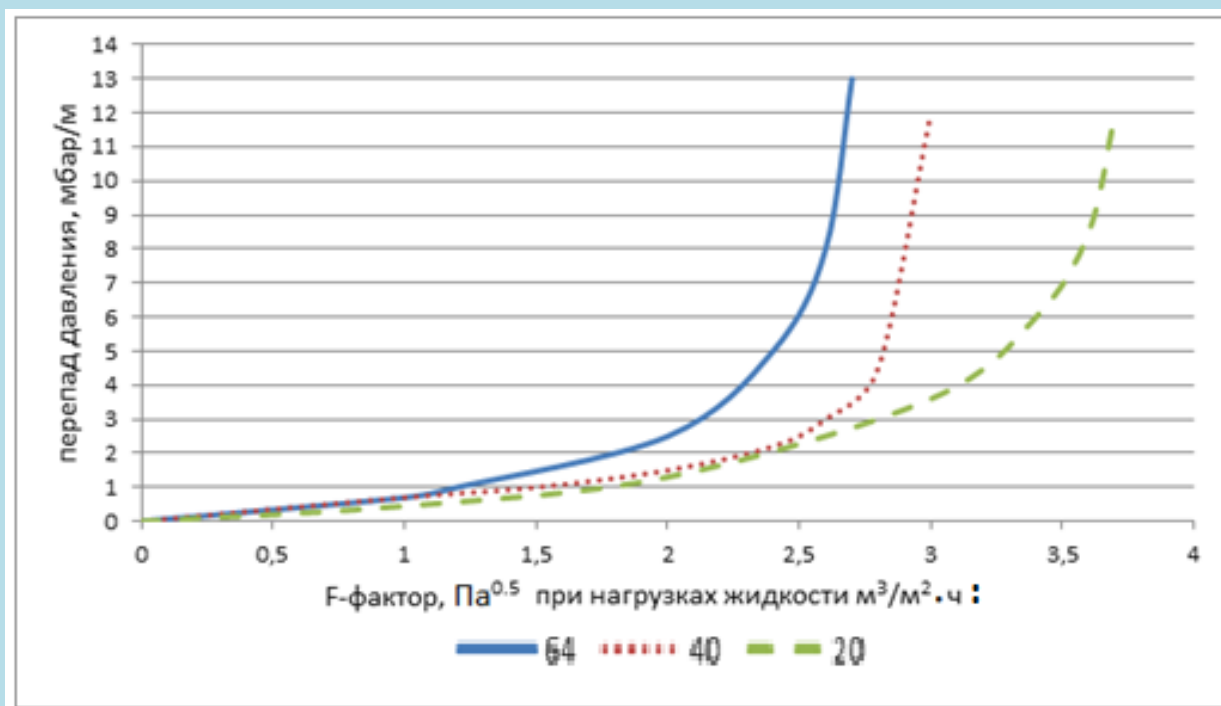
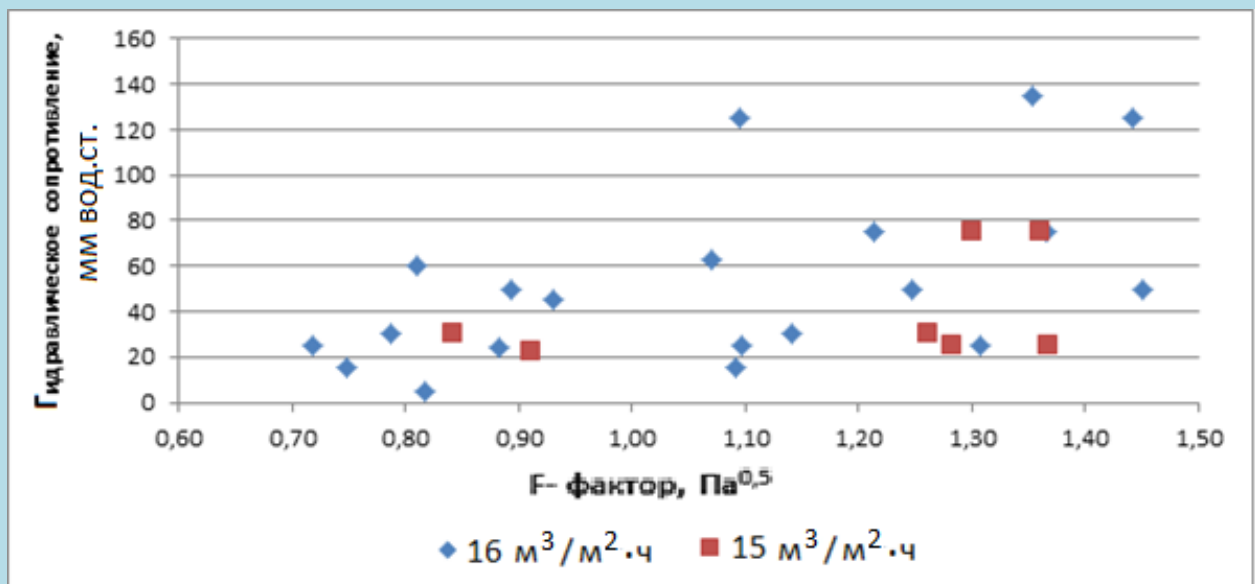


Рис. 5 Гидравлическая характеристика насадки Sultzer Mellapak Plus 252Y

За анализируемый период работы нагрузка по объему перерабатываемого газа изменялась в пределах 38-77 тыс. м<sup>3</sup>/ч, что соответствует диапазону изменения F-фактора 0,72-1,45 Па<sup>0.5</sup>. Нагрузка на бензольный скруббер по поглотельному маслу составляла 111-162,7 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует плотности орошения на квадратный метр сечения аппарата 10,9-16,0 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×ч. По данным рис. 5 сопротивление насадки аппарата не должно превышать ≈0,9 мбар/м насадки или 9,17 мм вод.ст./м (110 мм вод.ст. на 12 м насадки).

Фактические данные гидравлического сопротивления аппарата подтверждают паспортные характеристики насадки M252Y. На рис. 6 приведены значения величины сопротивления аппарата, сгруппированные для наиболее частых нагрузок по маслу 160 и 140 м<sup>3</sup>/ч (или 15,7 и 13,8 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×ч).

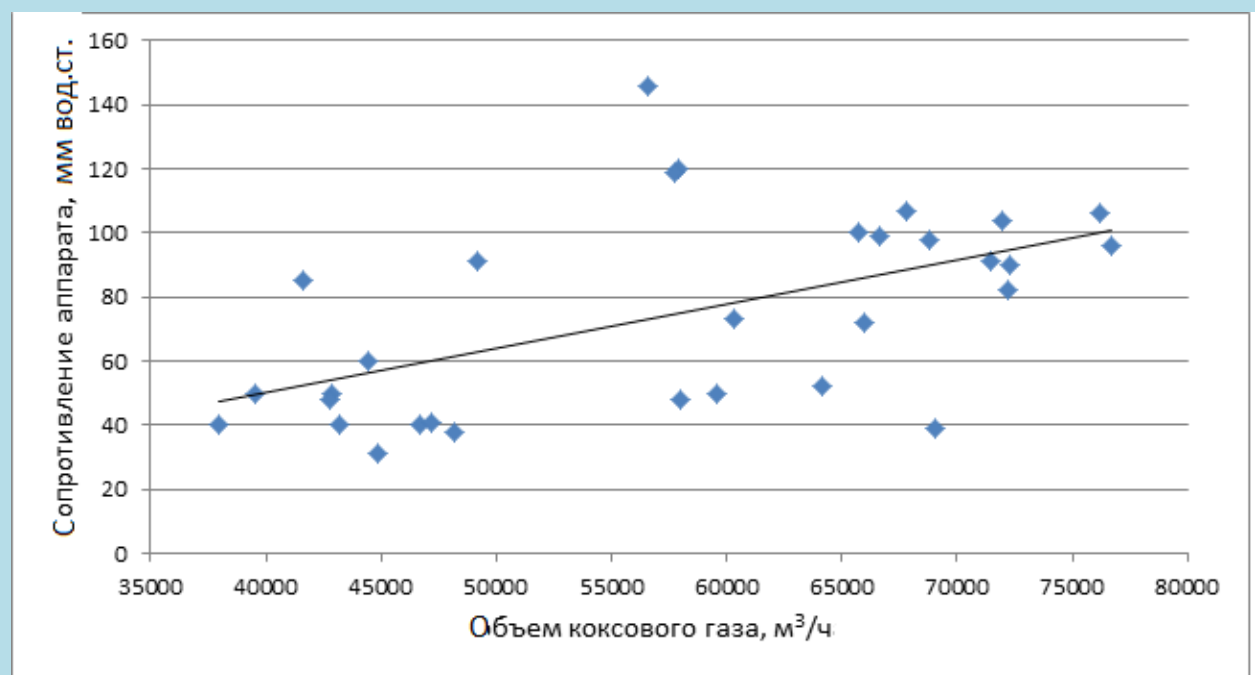


**Рис. 6** Гидравлическое сопротивление аппарата в зависимости от F-фактора при различных нагрузках поглотительного масла на сечение аппарата

Таким образом, гидравлическое сопротивление скруббера с насадкой «Sultzer Mellapak Plus 252Y» при очистке коксового газа с объемной скоростью до 76700 м<sup>3</sup>/ч не превышало 110 мм вод.ст., что соответствует паспортным характеристикам данного типа насадки. Зависимость сопротивления аппарата от нагрузки по коксовому газу приведена на рис. 7.

Снижение гидравлического сопротивления бензольно-скрубберного отделения произошло с 950 мм вод.ст. до 350 мм вод.ст., с учетом сопротивления КГХ и газопроводов, что существенно облегчило эксплуатацию газового тракта химического крыла и машинного зала.

Для предотвращения загрязнения насадки по рекомендациям «SULTZER CHEMTECH LTD» техническим отделом ПАО «ЯКХЗ» была разработана и внедрена система механической фильтрации оборотного поглотительного масла. Установка фильтрации представляет собой два механических фильтра, установленных параллельно с запорной арматурой. Промывка фильтров осуществляется автоматически, со сбросом осадка через четыре грязевика в сборник.



**Рис. 7** Влияние объема очищаемого газа на гидравлическое сопротивление скруббера с насадкой «Sultzer»

## Выводы

1. Сочетание высокоинтенсивной структурированной насадки «Sultzer Mellapak Plus 252Y» и распределительных контактных устройств фирмы «SULTZER CHEMTECH LTD» в скруббере № 3 ПАО «ЯКХЗ» позволило достигнуть более высоких эксплуатационных показателей, чем два существующих скруббера с плоскопараллельной насадкой.

2. Степень улавливания бензольных углеводородов увеличилась с 79-91 до 95 %, содержание бензольных углеводородов в очищенном газе снизилось до 1,5-2,0 г/нм<sup>3</sup>.

3. Гидравлическое сопротивление скруббера № 3 при очистке коксового газа с объемной скоростью до 76700 м<sup>3</sup>/ч не превышало 110 мм вод.ст., что соответствует паспортным характеристикам данного типа насадки. По сравнению с эксплуатацией имеющихся скрубберов № 1 и № 2 сопротивление бензольного отделения существенно снизилось.

4. Эффективность очистки механических примесей масла самопромывными фильтрами составляет 70-80 %, что благоприятно сказывается на качестве оборотного поглотительного масла.

## Библиографический список

1. **Яценко О.А., Саранчук В.И.** Оптимизация затрат в бензольном отделении / **О.А.Яценко, В.И.Саранчук** / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [masters.donntu.edu.ua/publ2002/feht/yatsenko.pdf](http://masters.donntu.edu.ua/publ2002/feht/yatsenko.pdf).

4. **Richter D.** Rate-Based and Equilibrium Model Approach for Absorption of Aromatic Hydrocarbons in Multicomponent Mixtures: Simulation and Experiment / **D.Richter, J.-U.Repke, M.Kohrt, H.Thieler, G.Wozny** / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www3.aiche.org/Proceedings/Abstract.aspx](http://www3.aiche.org/Proceedings/Abstract.aspx).

5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570794608801393](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570794608801393).

6. **Kenese H.** Retrofit design of energy integrated distillation system / **Hajnalka Kenese** // *Chemical Engineering*. – 2007. – 51(1). – P. 11-16 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pp.bme.hu/ch/2007\\_1/pdf/ch2007\\_1\\_03.pdf](http://www.pp.bme.hu/ch/2007_1/pdf/ch2007_1_03.pdf).

7. **Шендеров Л.З.** Опыт фирмы Sultzer в области подготовки природного газа / **Л.З.Шендеров, Д.А.Симонов** / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.sulzercorp.ru/files/.../113\\_ct\\_experience\\_in\\_ng\\_treatment\\_ru.pdf/](http://www.sulzercorp.ru/files/.../113_ct_experience_in_ng_treatment_ru.pdf/)

8. **Brunazzi E.** Hydrodynamics of a gas-liquid column equipped with mellapakplus packing / **E.Brunazzi, A.Paglianti, L.Spiegel, F.Tolaini** // *SULTZERCHEMTECH LTD, CH-8404 Winterthur, Switzerland* / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.documbase.com/Gempak-Packing.pdf](http://www.documbase.com/Gempak-Packing.pdf).

Рукопись поступила в редакцию 26.07.2013