

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.2.07

УДК 665.637.8

С.Х. Загидуллин, В.Л. Долганов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ КОЛОННАХ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА

В производстве нефтяных битумов в качестве реакторов для окисления сырья в настоящее время широко используются барботажные колонны. Основным конструктивным элементом таких аппаратов является узел диспергирования окислителя, в качестве которого служит сжатый воздух.

Опыт промышленной эксплуатации выявил серьезные недостатки существующих конструкций этих узлов, которые не обеспечивают высокую степень диспергирования пузырьков воздуха и подвержены быстрому закоксуыванию в процессе эксплуатации. Это в значительной степени снижает газосодержание и, как следствие, уменьшает поверхность контакта фаз между воздухом и жидкостью.

Анализ последних публикаций показал, что разработки и исследования в этой области были направлены в основном на изучение отдельных вопросов гидродинамики двухфазного потока в этих аппаратах, а также на совершенствование их конструктивных элементов. Вместе с тем в этой области имеется еще много нерешенных задач.

Для изучения гидродинамики окислительных колонн нами была разработана укрупненная плоская модель аппарата высотой 3,5 м, шириной 1,0 м и толщиной 0,2 м. Стенки колонны были изготовлены из прозрачного поликарбоната, что позволяло визуально оценивать структуру газожидкостного потока. Опыты проводилось в двух режимах работы колонны: барботажном и комбинированном газлифтно-барботажном.

Показано, что в обычном барботажном режиме в объеме аппарата формируется большое количество крупных, так называемых «транспортных» пузырей размером 70–100 мм, которые вызывают интенсивное продольное перемешивание жидкости по высоте аппарата, увлекают за собой более мелкие пузырьки и сокращают их время пребывания в реакционной зоне.

Результаты изучения работы модели колонны в газлифтно-барботажном режиме показано, что при удельных расходах воздуха, близких к промышленным значениям, заметно улучшается качество аэрации жидкой фазы, резко сокращается количество образующихся крупных пузырей и снижается интенсивность продольного перемешивания.

Нами были выполнены расчеты предлагаемого газлифтного устройства, разработана конструкция и выданы рекомендации по его внедрению в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез».

Ключевые слова: нефтяной битум, окислительная колонна, газосодержание, поверхность контакта фаз, газлифтное устройство.

S.H. Zagidullin, V.L. Dolganov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

MODERNIZATION OF THE AIR DISPERSE UNIT IN OXIDATION COLUMNS OF BITUMEN PRODUCTION

Now in production of oil bitumens for oxidation of raw materials bubbling columns are widely used. The main structural element of such devices is the air dispersion unit.

Experience of industrial operation has revealed serious shortcomings of existing designs that do not provide sufficient dispersion of air bubbles, they are subject to rapid coking during operation. This reduces the gas content and reduces the contact surface of the phases between air and liquid.

Analysis of recent publications showed that the development and research in this area were aimed at studying the hydrodynamics of two-phase flow in these devices, and improvement of their design. At the same time in this area there are many unresolved tasks.

For the study of hydrodynamics in columns, a flat model 3.5 m high 1.0 m wide and 0.2 m thick was used.

Walls of the column were made of transparent polycarbonate that allowed to observe structure of the gas-liquid stream visually. Experiences it was carried out in two operating modes: bubbling and gas-lift and bubbling.

It is shown that in the bubbling mode in volume of the device a much number of large, "transport" bubbles of 70-100 mm in size are formed. These bubbles carry along smaller bubbles, that reduce time of stay in the reaction zone.

Results of studying work of a column in the gas-lift and bubbling mode showed that in this case, aeration of a liquid phase considerably improves, the quantity of the formed large bubbles is reduced and the intensity of longitudinal mixing decreases.

Calculations of the offered gas-lift device were executed, the design is developed and recommendations about its introduction in LLC LUKOIL-Permnefteorgsintez are issued.

Keywords: *petroleum bitumen, oxidation column, gas content, interfacial surface, gas-lift device.*

В последние годы в качестве реакторов для окисления битума широко используются барботажные колонны, оборудованные устройствами для подвода сырья и диспергирования воздуха. Такие аппараты характеризуются высокой производительностью, простым конструкторским оформлением и возможностью стабилизации теплового режима работы.

В настоящее время в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» для подвода воздуха в колонну окисления битума используют барботажные устройства. Однако они имеют серьезные недостатки. Имеющаяся конструкция барботажных устройств не обеспечивает высокую степень диспергирования пузырьков воздуха. Крупные пузыри воздуха, в свою очередь, не обеспечивают достаточного газосодержания, что в значительной степени снижает межфазную поверхность в системе газ – жидкость.

В связи с этим последние разработки в этой области были направлены на совершенствование аппаратного оформления процесса окисления, а также на изучение гидродинамики двухфазного газожидкостного потока [1–11].

Разработка более эффективных и одновременно простых и надежных конструкций диспергаторов воздуха для окислительных колонн является достаточно сложной инженерной задачей. Это связано с высокой коксующей способностью реакционной среды, непостоянством технологического режима работы окислительных колонн и рядом других факторов.

Для дополнительного изучения гидродинамики двухфазного потока в окислительной колонне на кафедре ОАХП была разработана укрупненная плоская модель такой колонны. Общая высота колонны – 3,5 м; ширина – 1,0 м; толщина – 0,2 м. Для визуального изучения гидродинамических режимов стенки колонны были изготовлены из высокопрочного прозрачного поликарбоната. Подачу воздуха осуществляли через распределительный коллектор, снабженный регулирующими вентилями. Измерение расхода воздуха осуществляли с помощью диафрагмы, снабженной U-образным дифференциальным манометром.

На первом этапе исследования были изучены основные гидродинамические закономерности работы колонны с барботажными устройствами. При работе колонны в таком режиме образуются восходящие газовые потоки, состоящие преимущественно из крупных газовых пузырей. Кроме того, было замечено, что интенсивное продольное перемешивание сокращает время пребывания «свежих» пузырьков воздуха в рабочем объеме аппарата. В конечном итоге это влечет за собой повышенный расход сжатого воздуха и, как следствие, повышение температуры окисления сырья.

Взамен существующих и морально устаревших барботеров нами предложено использовать современное и достаточно простое устройство газлифтного типа. Оно представляет собой ряд газлифтных вертикальных труб, равномерно размещенных в нижней части колонны.

Верхняя часть каждой трубы снабжена перфорированным отбойником, предназначенным для гашения скорости восходящего газожидкостного потока и вторичного диспергирования пузырьков воздуха. На рисунке показан пример работы колонны с газлифтным устройством.



Рис. Укрупненная плоская модель окислительной колонны, работающая в комбинированном газлифтно-барботажном режиме

Результаты исследования показали, что газлифтное устройство по сравнению с используемым в настоящее время барботерами обеспечивает более эффективное диспергирование пузырьков воздуха. Одновременно с этим возрастает равномерность аэрации всего реакционного объема, а также снижается продольное перемешивание жидкости.

С использованием полученных экспериментальных данных были выполнены технологические расчеты промышленного воздухораспределительного устройства для газлифтных труб различного диаметра.

Показано, что оптимальные скорости воздуха и жидкости достигаются для труб диаметром 200 мм. Приведенная скорость воздуха в газлифтной трубе составляет 5,88 м/с, жидкости – 1,19 м/с. Расчет газлифтного устройства с трубами диаметром 200 мм в среде Mathcad представлен ниже [12–14].

Исходные данные для расчета:

$V_0 := 6000$ – объемный расход сжатого воздуха, считая на нормальные условия, м³/ч;

$t := 260$ – рабочая температура в колонне, °С;

$T := (t+273)$ – рабочая температура в колонне, К;

$P_0 := 101325$ – атмосферное давление, Па;

$\rho_0 := 1,293$ – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³;

$\sigma := 22 \cdot 10^{-3}$ – поверхностное натяжение жидкой фазы в колонне, Н/м;

$\rho_1 := 920$ – плотность жидкой фазы в колонне, кг/м³;

$D := 3,0$ – диаметр колонны, м;

$d := 0,2$ – внутренний диаметр газлифтной трубы, м;

$d_g := 0,15$ – диаметр газоподводящей трубы, м;

$d_0 := 0,075$ – диаметр отверстий для выхода газа, м;

$H := 2,0$ – высота газлифтных труб, м;

$n := 7$ – число газлифтных труб;

$h_2 := 15,0$ – высота светлого слоя жидкости над поверхностью газлифтных труб, м;

$K := 0,7$ – коэффициент заполнения колонны жидкостью;

$L := 22,5$ – высота обечайки колонны, м;

$h_d := 0,9$ – высота днища, м;

$E := 0,2 \cdot 10^{-3}$ – абсолютная шероховатость трубы, имеющей незначительную коррозию, м.

Общая высота колонны с учетом днищ

$$H_k := L + 2 h_d, \quad H_k = 24,3 \text{ м.}$$

Уровень жидкости в колонне

$$h_k := K \cdot H_k, \quad h_k = 17,01 \text{ м.}$$

Абсолютное давление воздуха в барботере колонны

$$P := P_0 + \rho_1 \cdot g \cdot h_k, \quad P = 2,548 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Объемный расход воздуха в рабочих условиях

$$V_g := V_0 \frac{T \cdot P_0}{T_0 \cdot P}, \quad V_g = 4,659 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Секундный расход воздуха

$$V_{gc} := \frac{V_g}{3600}, \quad V_{gc} = 1,294 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Плотность воздуха в рабочих условиях при температуре жидкости в колонне

$$\rho_g := \rho_0 \frac{T_0 \cdot P}{T \cdot P_0}, \quad \rho_g = 1,655 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость воздуха в газоподводящей трубе

$$W := \frac{V_{gc}}{F}, \quad W = 73,26 \text{ м/с.}$$

С учетом того, что воздух не успеет прогреться в газоподводящей трубе до температуры жидкости, фактическая его скорость будет значительно меньше расчетной.

Приведенная скорость воздуха в газлифтной трубе

$$W_g := \frac{4 \cdot V_{gc}}{\pi \cdot d^2 \cdot n}, \quad W_g = 5,88 \text{ м/с.}$$

Скорость всплывания одиночного пузырька

$$U_p := 1,5 \left(\sigma \cdot g \frac{\Delta \rho}{\rho_1^2} \right)^{0,25}, \quad U_p = 0,186 \text{ м/с,}$$

где $\Delta \rho = \rho_1 - \rho_g$.

Коэффициент дрейфа скорости

$$k := 1,4 \left(\frac{\rho_1}{\rho_g} \right)^{0,2}.$$

Расчет газосодержания в газлифтной трубе и приведенной скорости жидкости производим методом последовательных приближений.

Начальное приближение:

$$\varphi := 0,5 \quad W_1 := 1,0 \quad \beta := 20 \quad RE := 10000 \quad \lambda := 0,02$$

Given

Газосодержание в газлифтной трубе

$$\varphi = \left(\frac{W_g}{W_g + W_1 + k \cdot U_p} \right).$$

Коэффициент гидравлического трения

$$\Lambda = 0,11 \left(1,16 \frac{E}{d} + \frac{10}{RE} \right)^{0,25}$$

Критерий Рейнольдса

$$RE = W_1 \cdot d \frac{\rho_1}{\mu}$$

Коэффициент сопротивления циркуляционного контура

$$\beta = \left(1,5 + \lambda \cdot \frac{H}{d} \right) + 2 + \frac{1}{(1-\varphi)^2} + \lambda \cdot \frac{H}{(1-\varphi)^{1,75} \cdot d}$$

Скорость жидкости в газлифтной трубе

$$W_1 = \left(2 \cdot g \cdot h \cdot \Delta p \cdot \frac{\varphi}{\beta \cdot \rho_1} \right)^{0,5};$$

$$X := \text{Find}(\varphi, W_1, \beta, RE, \lambda);$$

$$X = \begin{pmatrix} 0,7359 \\ 1,1931 \\ 20,2429 \\ 4,0654 \cdot 10^4 \\ 0,0213 \end{pmatrix}$$

$$\varphi := X_0 \quad W_1 := X_1 \quad \beta := X_2 \quad RE := X_3 \quad \lambda := X_4$$

$$\varphi = 0,736, \quad W_1 = 1,193, \quad \beta = 20,243, \quad RE = 4,065 \cdot 10^4, \quad \lambda = 0,021.$$

Величину гидрозатвора принимаем равной 350 мм [13].

Скорость газа в отверстиях газоподводящей трубы

$$W_{от} := 4 \frac{V_{gc}}{\pi \cdot d_0^2 \cdot n}, \quad W_{от} = 41,844 \text{ м/с.}$$

Расход транспортируемой жидкости через газлифтное устройство

$$V_{1c} := W_1 \cdot \pi \cdot \frac{d^2 \cdot n}{4}, \quad V_{1c} = 0,262 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_1 := 3600 \cdot V_{1c}, \quad V_1 = 943,20 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Фактический расход жидкости через газлифтные трубы будет несколько меньше расчетной величины из-за наличия отбойных устройств. Высота газлифтных труб была принята из конструкционных соображений и составляет 2 м.

Заключение.

1. На пилотной модели окислительной колонны проведены экспериментальные исследования гидродинамики газожидкостного потока в барботажном и газлифтно-барботажном режимах.

2. Показана целесообразность использования газлифтных устройств для подвода и диспергирования воздуха в колонне.

3. Выполнены технологические расчеты газлифтного устройства и разработаны рекомендации по внедрению таких устройств на установке окисления битума ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез».

Список литературы

1. Современные устройства совмещения сырья и воздуха на установках получения окисленного битума / Н.Ю. Белоконь [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000. – № 5. – С. 41–46.

2. Окислительная колонна битумной установки / Л.Г. Груцкий [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2000. – № 6. – С. 11.

3. Опыт реконструкции битумной установки / А.А. Касьянов [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 1999. – № 4. – С. 25–26.

4. Ипполитов Е.В., Грудников И.Б. Технология производства битумов. Недавняя история и давние проблемы // Химия и технология топлив и масел. – 2000. – № 4. – С. 18.

5. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. – М.: Химия, 1983. – 192 с.

6. Пат. 2246522 РФ, МПК С 10 С 3/04. Способ получения битума / Грудников И.Б. – № 2003136708/04; заявл. 22.12.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5.

7. Пат. 2182922 РФ, МПК С 10 С 3/04. Способ получения нефтяного битума и установка для его осуществления / Лобанов В.В., Ануфриев Ю.В. – № 2001118004/04; заявл. 03.07.2001; опубл. 27.05.2002, Бюл. № 12.

8. Пат. 2281155 РФ, МПК В 01 J 10/00. Газожидкостной реактор / Хафизов Ф.Ш. и др. – № 2005109442/15; заявл. 01.04.2005; опубл. 10.08.2006, Бюл. № 22.

9. Пат. 2095134 РФ, МПК В 01 J 10/00. Газожидкостной реактор / Комаров С.М. и др. – № 96104431/25; заявл. 05.03.1996; опубл. 10.11.1997, Бюл. № 26.

10. Построение математической модели процесса непрерывного производства битумов окислением / А.С. Ширкунов [и др.] // Вестник Пермского

государственного технического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2008. – № 8. – С. 129–135.

11. Абишев А.А., Загидуллин С.Х. Современные отечественные способы улучшения работы окислительных колонн производства нефтебитумов // Вестник Пермского государственного технического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2008. – № 8. – С. 123–130.

12. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.

13. Пороло Л.В. Воздушно-газовые подъемники жидкости. – М.: Машиностроение, 1969. – 160 с.

14. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи / И.В. Доманский [и др.]; под ред. В.Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.

References

1. Belokon' N.Iu. et al. Sovremennye ustroistva sovmeshcheniia syr'ia i vozdukha na ustanovkakh polucheniia okislennogo bituma [Modern devices for combining raw materials and air in oxidized bitumen production plants]. *Neftepererabotka i neftekhimiia*, 2000, no 5, pp. 41-46.

2. Grutskii L.G. et al. Okislitel'naia kolonna bitumnoi ustanovki [Oxidation column of bitumen plant]. *Khimiia i tekhnologiia topliv i masel*, 2000, no 6, p. 11.

3. Kas'ianov A.A. et al. Opyt rekonstruktsii bitumnoi ustanovki [Experience of reconstruction of bitumen plant]. *Khimiia i tekhnologiia topliv i masel*, 1999, no 4, pp.25-26.

4. Ippolitov E.V., Grudnikov I.B. Tekhnologiia proizvodstva bitumov. Nedavniaia istoriia i davnii problema [Bitumen production technology. Recent history and long-standing challenges]. *Khimiia i tekhnologiia topliv i masel*, 2000, no 4, p. 18.

5 Grudnikov I.B. Proizvodstvo nef'tianykh bitumov [Oil Bitumen Production]. Moscow, Khimiia, 1983, 192 p.

6. Grudnikov I.B et al. Sposob polucheniia bituma [Bitumen production method]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no 2246522 (2005).

7. Lobanov V.V., Anufriev Iu.V. Sposob polucheniia nef'tianogo bituma i ustanovka dlia ego osushchestvleniia [The method of obtaining petroleum bitumen and installation for its implementation]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no 218922 (2002).

8. Khafizov F.Sh. et al. Gazozhidkostnoi reaktor [Gas-liquid reactor]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no 2281155 (2006).

9. Komarov S.M. et al. Gazozhidkostnoi reaktor [Gas-liquid reactor]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no 2095134 (1997).

10. Shirkunov A.S. et al. Postroenie matematicheskoi modeli protsessa nepreryvnogo proizvodstva bitumov okisleniem [Creation of mathematical model continuous process production of bitumen by oxidation]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2008, no 8, pp. 129-135.

11. Abishev A.A., Zagidullin S.Kh. Sovremennye otechestvennye sposoby uluchsheniia raboty okislitel'nykh kolonn proizvodstva nef'tebitumov [Modern domestic ways to improve oxidative columns of petroleum bitumen production]. *Vestnik Permskogo*

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia, 2008, no 8, pp. 123-130.

12. Sokolov V.N., Domanskii I.V. *Gazozhidkostnye reaktory* [Gas-liquid reactors]. Leningrad, Mashinostroenie, 1976, 216 p.

13. Porolo L.V. *Vozdushno-gazovye pod"emniki zhidkosti* [Air-gas liquid lifts]. Moscow, Mashinostroenie, 1969, 160 p.

14. Domanskii I.V. et al. *Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv: Primery i zadachi* [Machines and apparatus of chemical production. Examples and tasks]. Ed. V.N. Sokolova et al. Leningrad, Mashinostroenie, 1982, 384 p.

Получено 09.04.2019

Об авторах

Загидуллин Сафар Хабибуллович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: zsh@cpl.pstu.ru).

Долганов Владислав Леонидович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: dolganov@pstu.ru).

About the authors

Safar Kh. Zagidullin (Perm, Russian Federation) – Doctor in Technical Sciences, Professor, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: zsh@cpl.pstu.ru).

Vladislav L. Dolganov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: dolganov@pstu.ru).