

3. Андрущенко, А.И. Возможности повышения надежности, экономичности и экологичности систем теплофикации городов / А. И. Андрущенко, Ю.Е. Николаев // Научно-технический калейдоскоп. – 2001. – № 4. – С. 78-81.
4. Коротких А.Г. Деаэраторы: <http://portal.tpu.ru>
5. Кутепов А.М. Общая химическая технология / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. М.: ИКЦ «Академкнига» - 2003. - 528с.
6. Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: Процессы и аппараты. М: Энергоатомиздат. - 1990. - 272с.
7. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, - 1981. - 811 с.
8. Витман Л.А., Кацнельсон Б.Д., Палеев И.И. Распыливание жидкости форсунками. - М.: ГЭИ, - 1962. - 264 с.
9. Кутателадзе С.С., Старикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. - М.: Энергия, - 1976. - 296 с.
10. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. - М.: Химия, - 1984. - 255 с.
11. Орлов М.Е. Экспериментальное исследование и математическое моделирование процессов десорбции коррозионно-активных газов в водоподготовительных установках теплофикационных систем / М. Е. Орлов, В. И. Шараров // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 1. – С. 3-8.

УДК 628.316

Ульянов Борис Александрович,

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Химическая технология топлива»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Фереферов Михаил Юрьевич,

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Химическая технология топлива»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

тел. 89500767440, e-mail: fmi@agta.ru

Раскулова Татьяна Валентиновна,

д.х.н., доцент, заведующая кафедрой «Химическая технология топлива»  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

тел. 8(3955)51-29-03, e-mail: raskulova@list.ru

### АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЕННОГО АППАРАТА ОЧИСТКИ ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ

Ulyanov B.A., Fereferov M.Y., Raskulova T.V.

### THE ANALYSIS OF OPERATION OF THE FOAMING APPARATUS OPERATION FOR CHEMICALLY CONTAMINATED WATER TREATMENT

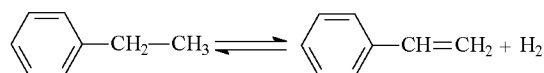
**Аннотация.** Определена степень очистки химически загрязненной воды производства стирола в пенном аппарате, снабженном ситчатой тарелкой. Определена область устойчивой работы аппарата. Установлена зависимость эффективности очистки ХЗВ от молярной массы компонентов примеси.

**Ключевые слова:** пенный аппарат, вода, органические вещества, очистка.

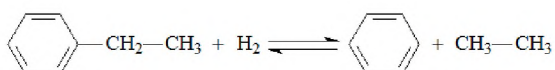
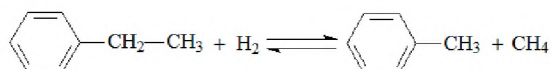
**Abstract.** Extent of purification of chemically contaminated water of production of styrene in the foaming apparatus supplied with a mesh plate is defined. The field of steady operation of the apparatus is defined. The dependence of efficiency of treatment of chemically contaminated water on the molar mass of components of impurity is established.

**Keywords:** foaming apparatus, water, organic substances, cleaning.

В основе работы установки производства стирола лежит процесс каталитического дегидрирования этилбензола по реакции:



Реакция дегидрирования представляет собой обратимый эндотермический процесс ( $\Delta H_{298}^0 \approx 110-118$  кДж/моль), протекающий с увеличением объема (за счет выделения водорода). Наряду с основной реакцией протекают побочные, связанные с расщеплением алкилароматических углеводородов и их дегидроконденсацией. В результате расщепления в системе происходит образование простых ароматических углеводородов (бензола или толуола), а также углеводородного газа, содержащего метан, этан, этилен и так далее:



Для повышения степени конверсии сырья и, следовательно, выхода стирола, процесс проводят в присутствии водяного пара. На установке производства стирола АО «АЗП» используется примерно двукратный избыток пара по отношению к углеводородному сырью.

Контактный газ, выходящий из реактора дегидрирования, подвергается охлаждению, в результате чего происходит конденсация как ароматических углеводородов, так и водяного пара. Поэтому перед ректификацией углеводородный конденсат отделяется от водного конденсата. Разделение проводят путем отстаивания, вследствие чего в состав водного конденсата частично переходят ароматические углеводороды. Поэтому возникает задача очистки химически загрязненной воды от органических примесей.

Удаление органических примесей из химически загрязненной воды (ХЗВ) осуществляется путем отдувки их контактным газом в пенном аппарате (рисунок 1).

Пенный аппарат представляет собой цилиндрический сосуд внутренним диаметром  $D = 2,8$  м с коническим днищем, снабженный люками Л<sub>1</sub>-Л<sub>3</sub>. В нижнюю часть аппарата поступает контактный газ через штуцер А, а сверху двумя потоками через штуцеры Б<sub>1</sub> и Б<sub>2</sub> подается химически загрязненная вода.

Частично охлажденный и очищенный от механических примесей газ проходит каплеотделитель К и через штуцер В направляется

в систему поверхностных теплообменных аппаратов для дополнительного охлаждения.

Отработанная вода через сливное устройство У и отводящую трубу С поступает в коническое днище аппарата и через штуцер Г направляется в систему канализации.

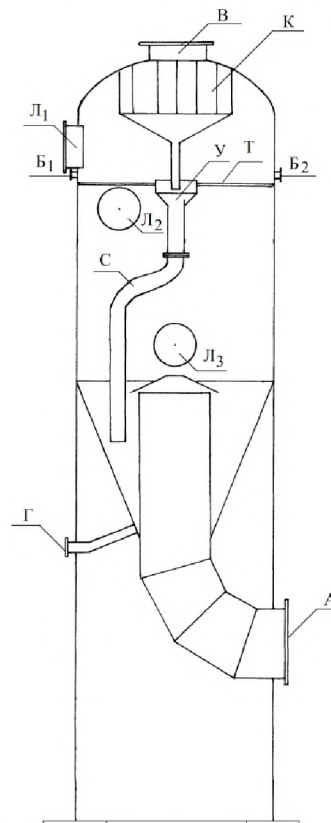


Рисунок 1 – Схема пенного аппарата

Взаимодействие газа и жидкости осуществляется на контактной тарелке Т. Тарелка собрана из перфорированных листов нержавеющей стали с отверстиями диаметром 3,7 мм. Доля свободного сечения тарелки составляет 7,9 %.

С целью оценки эффективности работы пенного аппарата был выполнен анализ режимных листов и определены нагрузки аппарата по газу и жидкости. Кроме того, были выполнены систематические анализы содержания примесей в ХЗВ на входе и выходе из пенного аппарата.

Основными гидравлическими параметрами работы ситчатой тарелки является скорость газа в сечении аппарата ( $w_K$ , м/с) и в отверстиях тарелки ( $w_O$ , м/с); гидравлическое сопротивление тарелки ( $\Delta P_T$ , Па) и брызгунос ( $e$ , кг жидкости/кг газа).

Минимальная скорость газа в аппарате соответствует прекращению провала жидко-

сти через отверстия, который отрицательно сказывается на эффективности работы тарелки [1].

Максимально допустимая скорость газа определяется брызгоуносом, предельное значение которого составляет  $e_{max} = 0,1$  кг жидкости/кг газа [2].

Максимальная нагрузка аппарата по жидкости определяется пропускной способностью переливных устройств.

Значения конструктивных параметров аппарата, а также сведения о физико-химических свойствах газа и жидкости позволили рассчитать предельные скорости газа и допустимую скорость жидкости в переливном устройстве (рисунок 2).

Данные, полученные из анализа режимных листов, позволили определить действительные скорости газа и жидкости. Характерные значения их показаны точками на рисунке 2.

Можно сделать вывод, что контактное устройство аппарата эксплуатируется в области устойчивой работы, допускающей увеличение и уменьшение нагрузки по газу и жидкости.

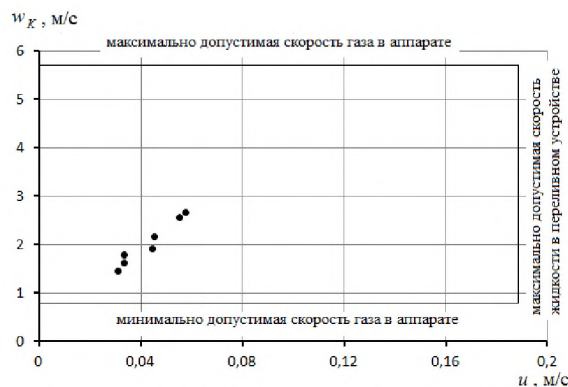


Рисунок 2 – Область устойчивой работы тарелки

Эффективность очистки ХЗВ по отдельным компонентам  $E_i$  можно выразить как отношение изменения их концентраций в аппарате на входе и выходе к концентрации на входе:

$$E_i = \frac{c_{BXi} - c_{ВЫXi}}{c_{BXi}} \cdot 100 \%$$

В таблице представлены результаты хроматографического анализа органических веществ на входе и выходе аппарата и значения эффективности очистки ХЗВ по отдельным компонентам смеси.

Таблица – Концентрации компонентов в ХЗВ на входе и выходе пенного аппарата и эффективность очистки

№ п/п	Концентрации компонентов в ХЗВ на входе, $c_{BXi}$ , мг/л				Концентрации компонентов в ХЗВ на выходе, $c_{ВЫXi}$ , мг/л				Эффективность очистки, $E_i$			
	бензол	толуол	этилбензол	стирол	бензол	толуол	этилбензол	стирол	бензол	толуол	этилбензол	стирол
1	13,9	4,9	26,1	40,7	0,4	0,2	1,90	3,6	97	96	93	91
2	26,9	28,1	78,5	135,0	0,2	0,6	8,88	23,5	99	98	89	82
3	5,5	9,5	50,0	121,0	0,1	3,6	0,02	9,9	98	97	95	92
4	30,2	9,9	41,9	52,8	0,7	0,4	3,55	8,1	97	96	92	85
5	82,0	33,8	196,2	262,0	1,4	1,3	25,40	39,5	98	96	87	85
6	78,0	27,4	166,8	162,7	2,1	1,4	26,00	35,3	97	95	84	78
7	132,2	83,5	398,8	506,0	5,7	49,5	270,30	353,7	96	41	35	30
8	57,2	28,6	124,0	136,2	12,4	11,4	66,00	84,8	78	60	47	38
9	57,8	23,5	86,0	87,3	5,0	3,4	35,70	40,5	91	86	58	54
10	75,6	27,3	98,5	105,7	4,7	3,1	36,40	51,8	94	89	63	51
11	60,4	32,6	192,3	297,6	0,9	0,9	12,20	13,9	98	97	94	95
12	87,7	37,9	189,1	211,6	21,1	18,6	111,80	140,7	75	51	41	33
13	75,2	29,4	170,5	215,9	8,0	2,4	55,90	67,0	89	92	67	69
14	75,7	25,7	119,4	149,8	6,0	7,2	66,00	89,4	92	72	44	40
15	46,7	17,7	79,0	127,0	1,0	0,7	9,70	14,1	98	96	88	89
16	30,1	20,6	112,2	138,2	1,3	1,1	16,20	25,0	96	95	86	82



Окончание таблицы

17	41,5	17,3	84,6	132,1	0,8	0,7	9,70	18,4	98	96	88	86
Среднее	57,4	26,9	130,2	169,5	4,2	6,3	44,5	59,9	94	85	73	69

Как следует из таблицы, наибольшая эффективность наблюдается для легколетучего компонента бензола (молярная масса  $M = 78$ ). Для менее летучих компонентов, имеющих большую молярную массу, эффек-

тивность очистки ниже. На рисунке 3 представлена зависимость среднего значения эффективности очистки от молярной массы компонентов.

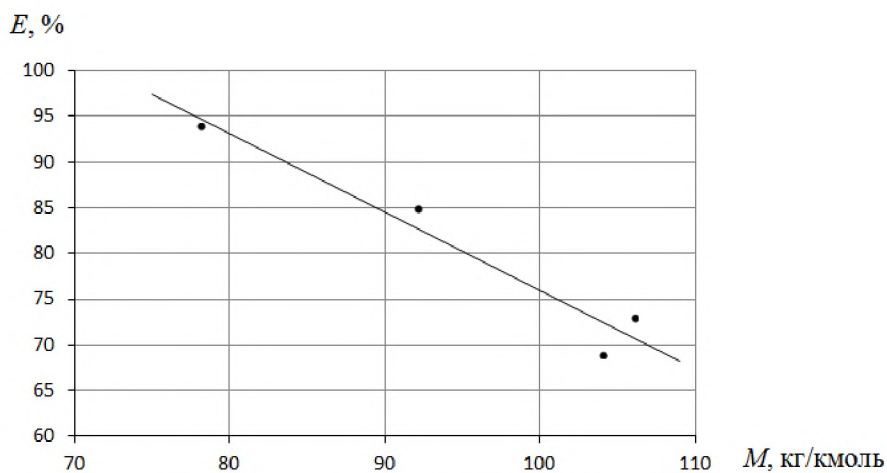


Рисунок 3 – Зависимость среднего значения эффективности очистки ХЗВ от молярной массы компонентов

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучев В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. – Ангарск: Изд. АГТА, 2006. – 741 с.

2. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по курсовому проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 724 с.