

УДК 66.045.53:66.074.1

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕГУЛЯРНОЙ СЕПАРАЦИОННОЙ НАСАДКИ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА

Афанасенко В.Г., Чурилов Д.А.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

E-mail: afanasenko-v-g@yandex.ru

Одним из основных процессов химической технологии является механическая сепарация газа. Она применяется в массообменных колонных аппаратах, градирнях, скрубберах для удаления жидких и твердых примесей из газа. В данной статье описана конструкция регулярной насадки инерционного типа для проведения процесса сепарации.

Ключевые слова: Каплеуловитель, градирня, водоуловитель, регулярная насадка, сепарация.

THE DESIGN OF THE STRUCTURED SEPARATION PACKING INERTIAL TYPE

Afanasenko V.G., Churilov D.A.

One of the main processes of chemical technology is a mechanical separation of the gas. It is used in mass transfer columns, cooling towers, scrubbers to remove liquid and solid impurities from the gas. This article describes the regular packing structure of the inertial type of separation process.

Keywords: Droplet separator, demister, cooling tower, water traps, structured packing, separation

Общие сведения о процессе сепарации в регулярных насадках

Разделение любых неоднородных (гетерогенных) газовых смесей можно производить с помощью мокрой очистки, фильтрования и различных видов осаждения. Из перечисленных видов очистки наиболее простой и экономичный способ, реализуемый в том числе с помощью сепарационных насадок – осаждение. Осаждение - это процесс разделения, при котором дисперсные твердые и жидкие частицы отделяются от сплошной газовой фазы, за счет большей плотности (по сравнению с газом), под действием гравитационных, инерционных или центробежных сил.

Сущность очистки неоднородной газовой смеси от капельной жидкости заключается в отделении гетерогенных примесей, укрупнении их на улавливающих поверхностях и вывода из сепарационного устройства [1-3].

Насадки, которые можно использовать в процессе сепарации, должны обеспечивать эффективное разделение неоднородных газовых смесей и обладать низким аэродинамическим

сопротивлением. К особенностям сепарации можно отнести также и то, что очищаемый газ, как правило, плоскопараллельным потоком движется снизу вверх, агрессивность жидкости и рабочие параметры существенно меняются в зависимости от проводимого процесса.

Повышение эффективности сепарации обеспечивается путем введения дополнительных сил, таких как гравитационная, инерционная или центробежная. Рассмотрим пути реализации подобных способов интенсификации разделения неоднородных смесей в процессе эксплуатации сепарационных насадок [4].

Гравитационная сила всегда направлена вертикально вниз и является постоянной величиной для любой произвольно взятой частицы. Так как поток очищаемого газа, как правило, движется вертикально вверх, а также из-за низкой производительности данного способа очистки, насадки в которых для удаления жидкости используется только гравитационная сила не нашли широкого применения в промышленности.

Инерционные силы возникают в потоке газа при изменении направления его движения. Изменение направления вектора скорости потока достигается различными конструктивными особенностями устройств очистки газов и приводит к росту аэродинамического сопротивления насадки, поэтому основной задачей при разработке подобных устройств является поиск оптимального соотношения эффективности очистки и аэродинамического сопротивления.

Центробежные силы возникают при закрученном движении потока и зависят от интенсивности закрутки парогазовой смеси, а также радиуса вращения рассматриваемой частицы. Такой способ сепарации наиболее эффективен, но устройства для его осуществления наиболее сложны и, соответственно, дороги [5,6].

Показатели эффективности сепарационных насадок

К основным характеристикам относятся - эффективность (степень) улавливания дисперсных частиц и аэродинамическое сопротивление, также в отдельную группу можно выделить экономические показатели насадки [7].

1) Эффективность сепарации

Эффективность (степень) сепарационной насадки - важнейшая характеристика уловителя, на которую ориентируются при выборе насадки.

$$\varepsilon = \frac{M_{ул}}{M_{ex}} \cdot 100 = \frac{M_{ex} - M_{вых}}{M_{ex}} \cdot 100 = \frac{M_{ул}}{M_{ул} + M_{вых}} \cdot 100$$

где $M_{вх}$, $M_{ул}$ и $M_{вых}$ - масса капель дисперсных примесей, содержащихся в газе соответственно на входе в уловитель (т.е. до очистки), уловленных в насадке и на выходе из нее после очистки.

2) Сопротивление сепарационных насадок

Величина сопротивления сепарационных насадок, также как и других сухих насадочных устройств, оценивается перепадом давления газа до и после уловителя:

$$\Delta P = \zeta \frac{h}{d} \cdot \frac{\rho_г \cdot \omega_2^2}{2},$$

где ΔP - потери напора, мм вод. ст;
 $\rho_г$ - плотность воды, кг/м³;
 ω_2 - скорость потока газа, м/с;

Разработка конструкций сепарационных насадок

На основе проведенного литературного анализа и патентного поиска в Уфимском государственном нефтяном техническом университете был разработан ряд конструкций сепарационных насадок, отделение дисперсной жидкой фазы в которых происходит под действием инерционных сил [8,9].

Как отмечалось ранее, сепарационные насадки центробежного типа не получили широкого распространения из-за высокой стоимости изготовления, а наибольшей эффективностью улавливания мелкодисперсной жидкости обладают инерционные насадки, в которых разделяемый поток по ходу движения меняет свое направление на угол 90° и более.

Недостатком рассмотренных насадок с разворотом потока является высокое аэродинамическое сопротивление уловителя, связанное, прежде всего, с существенными местными уменьшениями проходного сечения канала в насадке. На основе сделанных выводов была предложена конструкция жалюзийной сепарационной насадки инерционного типа, в которой газожидкостный поток отклоняется от первоначального направления на угол более 90°, но при этом без существенных изменений проходного сечения внутренних каналов.

Жалюзийная сепарационная насадка относится к конструкциям регулярных насадок предназначенных для очистки газов от гетерогенных примесей и может применяться в качестве каплеотбойников в технологических аппаратах химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также в качестве водоуловителей градирен.

Задачей полезной модели является снизить аэродинамическое сопротивление и упростить конструкцию регулярной насадки.

Указанная задача решается за счет того, что жалюзийная сепарационная насадка, содержащая пакеты наклонных элементов, закрепленных с торцов между двух вертикальных листов, согласно полезной модели, наклонные элементы зеркально чередуются в насадке, имеют зазор при стыковке в нижней части и представляют собой пакет одинаковых прямоугольных пластин, расположенных на равных между собой расстояниях так, что их соответствующие кромки параллельны между собой и лежат в одной плоскости (рисунок 1, 2).

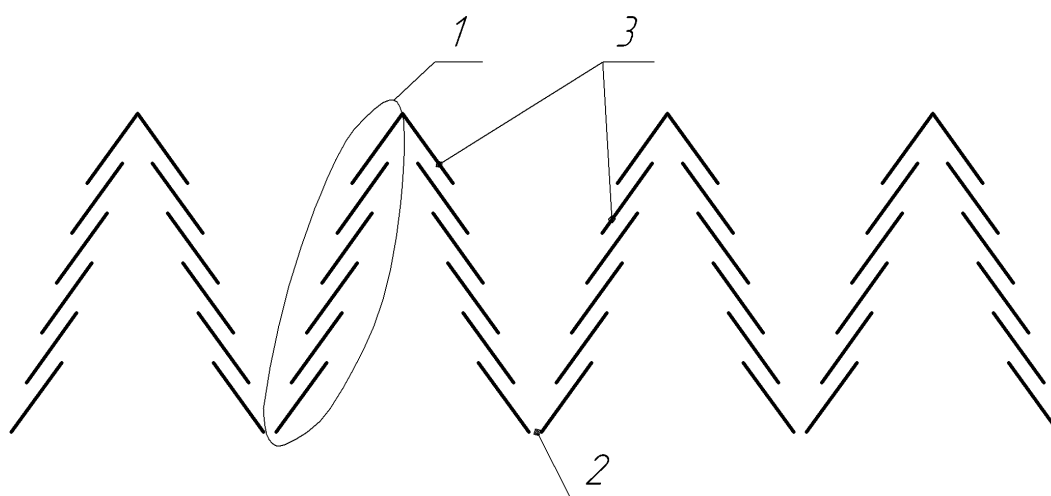


Рисунок 1 - Общий вид жалюзийной сепарационной насадки

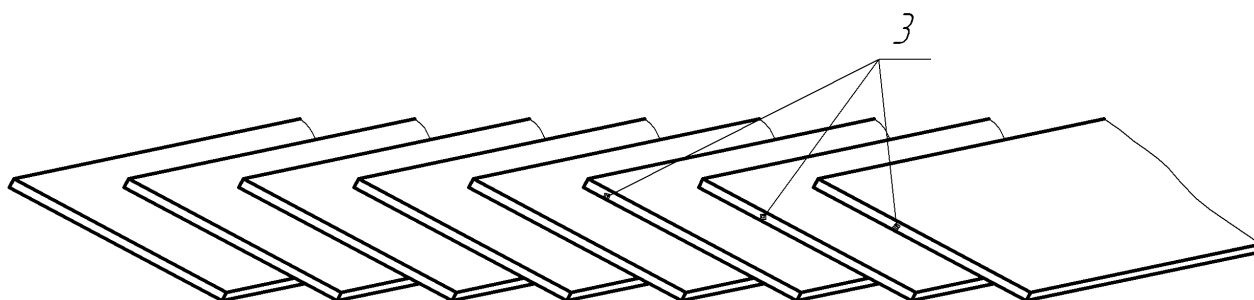


Рисунок 2 - Наклонный элемент насадки

Жалюзийная сепарационная насадка, содержащая пакеты наклонных элементов 1, закрепленных с торцов между двух вертикальных листов, согласно полезной модели, наклонные элементы зеркально чередуются в насадке, имеют зазор при стыковке в нижней части 2 и представляют собой пакет одинаковых прямоугольных пластин 3, расположенных на равных между собой расстояниях так, что их соответствующие кромки параллельны между собой и лежат в одной плоскости.

Сепарационная насадка работает следующим образом.

Поток газа, содержащий частицы жидкой и твердой фазы, двигаясь снизу вверх, поступает в пакет наклонных элементов 1, в котором благодаря наклонным пластинам 3 отклоняется от первоначального направления движения и разбивается на отдельные струи. Частицы гетерогенных примесей, стремясь сохранить первоначальную траекторию движения, под действием инерционных сил осаждаются на наклонные поверхности пластин 3, где примеси укрупняются и под действием гравитационных сил вертикальным потоком спускаются вниз, через зазор в нижней части насадки 2. Очищенный поток газа выводится с верхней части насадки.

Таким образом, снижение аэродинамического сопротивления и упрощение конструкции регулярной насадки происходит за счет использования при изготовлении наклонных элементов плоских и гладких пластин.

Моделирование движения потока воздуха через слой жалюзийной насадки

Рассмотрим движение потока воздуха в элементе сепарационной насадки. Для этого обозначим следующие базовые геометрические размеры:

- L – длина пластины, м;
- α – угол наклона элемента;
- β – угол наклона пластины в элементе;
- h – шаг пластин, м;
- b – толщина пластин, м.

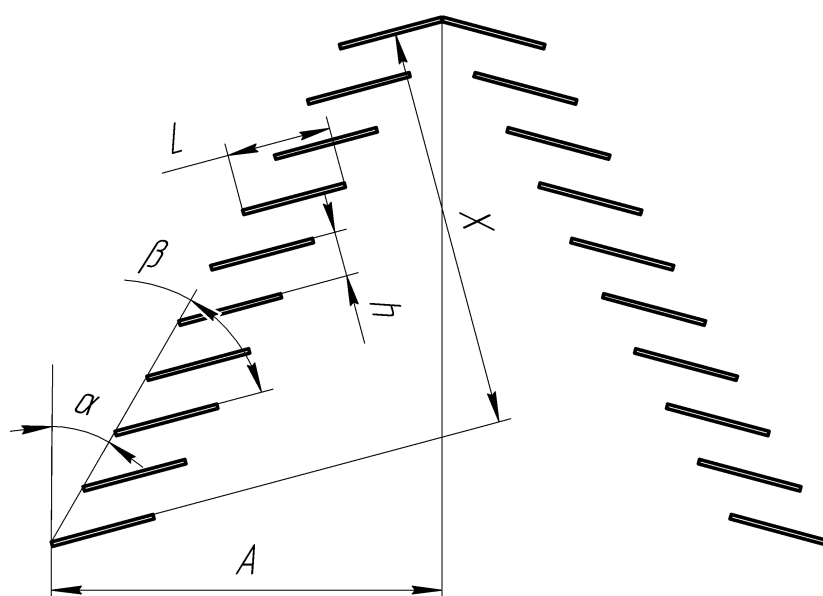


Рисунок 3 – Основные геометрические размеры жалюзийной сепарационной насадки

В качестве расчетной модели взяли вертикальную трубу прямоугольного сечения с размерами 250×100 мм, в которую снизу поступает поток очищаемого газа [10].

В расчетах использовалась наиболее соответствующая рассматриваемой задачи модель несжимаемой жидкости, которая включает в себя уравнения Новье-Стокса (закон сохранения импульса), закон сохранения неразрывности (закон сохранения массы жидкости) и уравнения k - ε модели турбулентного движения.

В FlowVision численное интегрирование уравнений по пространственным координатам проводилось с использованием прямоугольной адаптивной локально измельченной сетки. В качестве рабочей среды выбран «Воздух», физические свойства которого имеются в интегрированной базе данных.

В результате моделирования определяется сила сопротивления элемента оросителя градирни, отношение которой к площади проходного сечения расчетной модели определяет перепад давлений в потоке воздуха. Аэродинамическое сопротивление определяется из уравнения Вейсбаха. Результаты моделирования процесса движения потока газа через насадку с длиной пластины равной 70 мм представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 - Сопротивление уловителя при $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $L = 70$ мм

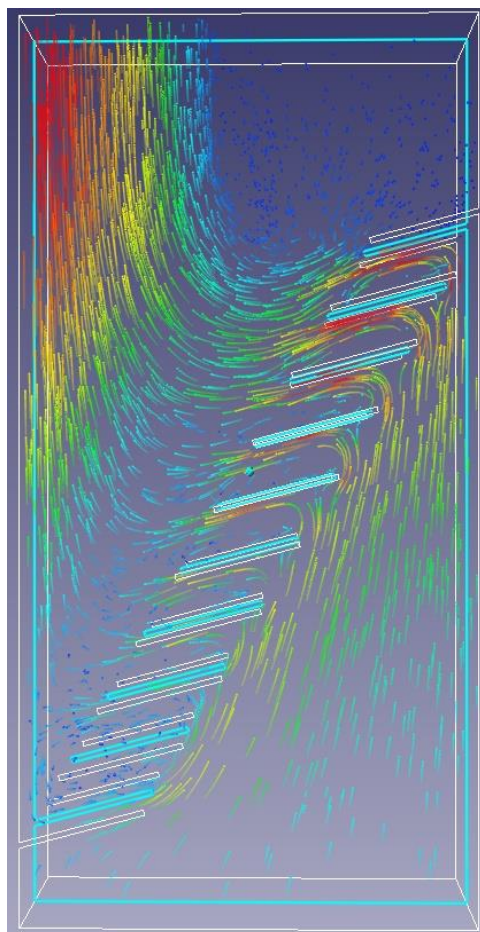
Скорость, ω , м/с	h=30		h=60		h=90	
	ΔP , Па	ζ	ΔP , Па	ζ	ΔP , Па	ζ
1	7,81	12,20	6,26	9,78	5,37	8,38
2	27,84	10,88	25,74	10,05	21,12	8,25
3	60,69	10,54	55,32	9,60	45,65	7,92
4	100,27	9,79	98,60	9,63	87,47	8,54
5	158,77	9,92	153,63	9,60	136,00	8,50

Таблица 2 - Сопротивление уловителя при $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $L = 70$ мм

Скорость, ω , м/с	h=30		h=60		h=90	
	ΔP , Па	ζ	ΔP , Па	ζ	ΔP , Па	ζ
1	12,07	18,86	9,46	14,78	4,83	7,54
2	46,47	18,15	37,31	14,58	23,89	9,33
3	100,18	17,39	80,09	13,90	50,09	8,70
4	175,16	17,11	140,33	13,70	86,80	8,48
5	263,49	16,47	203,00	12,69	135,63	8,48

В результате моделирования численными методами с применением программного комплекса FlowVision получено визуальное распределение скорости и давлений потока воздуха при прохождении через насадку (рисунок 4).

а)



б)

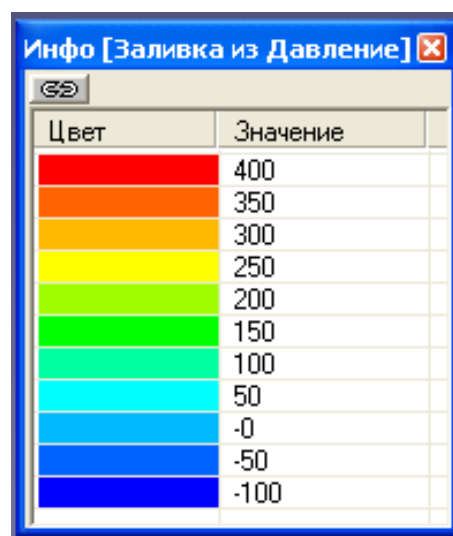
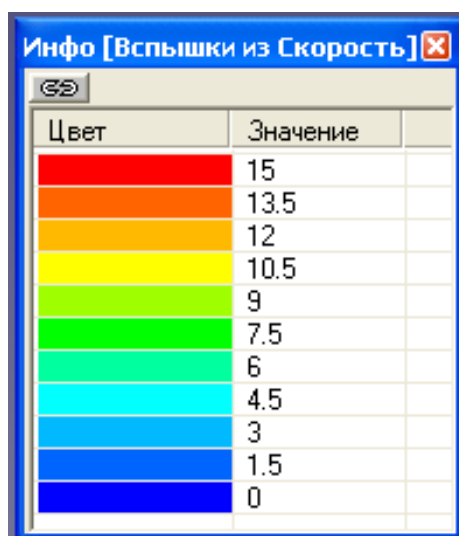
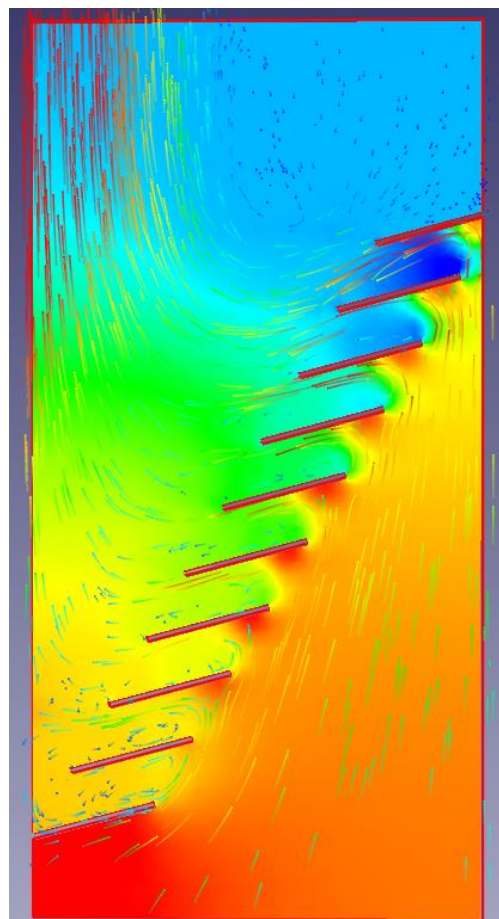


Рисунок 4 – Распределение скоростей (а) и давлений (б) потока воздуха при прохождении через жалюзийную насадку

Анализируя полученные данные можно заметить зону локального повышения давления перед нижней пластиной насадки (относительное давление достигает 400 Па) и зону разряжения за верхней пластиной (разряжение достигает 50 Па) это объясняется завихрениями, возникающими при обтекании пластин большой длины. Аналогичная неравномерность наблюдается и при распределении скоростей. Для снижения данного явления, как отмечалось ранее, необходимо проектировать жалюзийные сепарационные насадки с пластинами малой длины (L), располагающиеся в элементе с небольшим шагом (h), а также делать насадки по возможности большой высоты, такие меры позволят сократить негативное влияние завихрений неминуемо возникающих за пластиной при обтекании ее плоскопараллельным потоком газа.

Таким образом разработанная конструкция жалюзийной сепарационной насадки имеет равномерное распределение скорости потока очищаемого газа, что свидетельствует о эффективном использовании объема всего регулярной насадки.

Список литературы

1. Афанасенко В.Г., Боев Е.В., Николаев Е.А. Особенность сепарации и конструктивного оформления каплеотбойных устройств градирен// Вода: химия и экология. 2013. № 7 (61). С. 99-108.
2. Чурилов Д.А. Процесс сепарации в системе испарительного охлаждения оборотной воды// сб.трудов международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле – 2016» –Уфа: Аркаим, 2016. с 419-423
3. Афанасенко В.Г. Особенности процесса сепарации в системах испарительного охлаждения оборотной воды// В сборнике: НЕФТЬ И ГАЗ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2009. С. 335-336.
4. Афанасенко В.Г., Боев Е.В., Николаев Е.А. Классифицирование сепарационных насадок градирен// Химическая техника. 2010. № 7. С. 10-11.
5. Патент на ПМ №66218 Устройство для очистки газа / Хафизов Ф.Ш., Хайбрахманов А.Ш., Афанасенко В.Г., Аликин М.А., Хафизов Н.Ф.; заявл.02.05.2007
6. Афанасенко В.Г., Иванов С.П., Боев Е.В., Николаев Е.А. Использование сил центробежной сепарации в процессе улавливания мелкодисперсной капельной жидкости в градириях// Химическая промышленность сегодня. 2008. № 2. С. 38-41.
7. Афанасенко В.Г. Оценка затрат энергии на проведение гидромеханических процессов в прямоточных статических аппаратах //Научные труды SWorld. 2010. Т. 7. № 4. С. 93-94.

8. Боев Е.В., Афанасенко В.Г. Разработка сепарационных насадок промышленных градирен / Сборник научных трудов SWorld. 2015. Т. 2. № 1. С. 76-79.
9. Патент на ПМ №102777 Жалюзийная сепарационная насадка / Афанасенко В.Г., Боев Е.В., Николаев Е.А., Иванов С.П. заявл. 24.08.2010
10. Афанасенко В.Г., Боев Е.В., Николаев Е.А. Моделирование процесса охлаждения оборотной воды в градирнях/ Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 29. № 2. С. 122-127.