

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ
ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ В ИНЕРЦИОННО-ФИЛЬТРУЮЩИХ
СЕПАРАТОРАХ**

В.И. Склабинский, д-р техн. наук, профессор;

А.А. Ляпощенко, канд. техн. наук, доцент;

А.В. Логвин, аспирант

Сумский государственный университет, г. Сумы

Статья посвящена проблеме разделения газожидкостных потоков. Решить проблему предлагается с помощью инерционно-фильтрующих элементов. Показаны элементы расчета эффективности работы устройств, а также приведены полученные графические зависимости, характеризующие параметры работы инерционно-фильтрующих сепараторов.

Стаття присвячена проблемі розділення двофазних потоків. Вирішити проблему пропонується за допомогою інерційно-фільтруючих елементів. Показані елементи розрахунку ефективності роботи пристроїв, а також наведені отримані графічні залежності, які характеризують параметри роботи інерційно-фільтруючих сепараторів.

В настоящее время применяются конструкции сепараторов, в конструкции которых используются два принципа разделения: за счет сил инерции и фильтрование. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

В разных отраслях промышленности применяются жалюзийные каплеуловительные устройства. Они имеют волнистую форму, чаще всего это синусоидальный профиль. Осаждение капель в них происходит за счет многократного изменения направления потока, а жидкость отводится в виде тонкой пленки [1]. Широкое применение нашли фильтрующие типы газосепараторов, в которых элементы работают в режиме самоочистки и не требуют периодической регенерации. Их подразделяют на низкоскоростные и высокоскоростные.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики инерционных и фильтрующих устройств [2, 3, 4, 5]

Параметр	Жалюзийные устройства	Фильтры
Эффективность, %	70-95	98-99,99
Скорость движения потока, м/с	3-5	0,05-2,5
Гидравлическое сопротивление, Па	100-500	до 2500

Таким образом, преимуществом инерционных уловителей является их малое гидравлическое сопротивление, скорость движения потока, а недостатком – малая эффективность.

Преимуществом же фильтрующих элементов является высокая степень очистки газов, а недостатком - их большое гидравлическое сопротивление и малая скорость фильтрации.

В последнее время было разработано инерционно-фильтрующее оборудование, объединяющее преимущества обоих механизмов разделения [6]. На основе запатентованного способа организации потоков

была изготовлена экспериментальная установка. Схема движения потоков в элементе показана на рисунке 1. Полученные показатели качества разделения газожидкостных смесей, а также характеристики работы устройства (коэффициент проскакивания и гидравлическое сопротивление) показаны на рисунках 2 и 4. Такой сепаратор имеет высокую степень разделения, малый брызгоунос и гидравлическое сопротивление, но характеристики таких элементов еще мало изучены и не существует математического аппарата для их прогнозирования.

На выходе из сепаратора остается незначительная часть влаги, ее содержание зависит от типа фильтрующего элемента. Исследование различных типов фильтрующих элементов в данном устройстве является первоочередной задачей для составления универсальной методики расчета всего элемента.

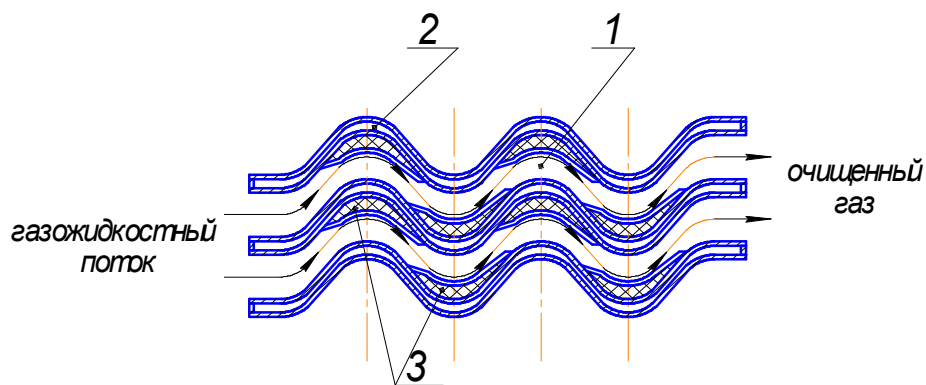


Рисунок 1 – Схема движения потоков в инерционно-фильтрующем оборудовании: 1 – газожидкостный поток; 2 – жалюзи; 3 – фильтрующие элементы

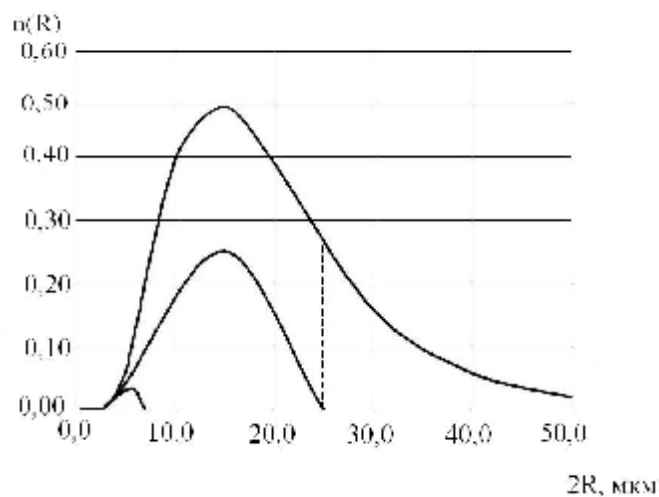


Рисунок 2 – Разделение капель по размерам капель конденсата и пароподобной влаги в потоке природного газа, которые улавливаются инерционно-фильтрующим туманоуловителем

На практике при расчете жалюзийных каплеуловителей рассчитывают минимальный радиус улавливаемых капель, таким образом, все капли большего размера будут уловлены [7], расчетная схема показана на рисунке 3:

$$r_{\min} = 3 \left(\frac{v_g \cdot \omega}{2g} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_{жк}} \right)^{1/2} \left(\frac{g \cdot h \cdot R \cdot S_{жк}}{\omega_c^2 \cdot l \cdot S_c} \sin \frac{\varphi}{2} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где v_g – вязкость газа; ω_c^2 – скорость капли в межжалюзийном канале, м/с; h – расстояние между жалюзийными насадками, м; l – длина жалюзийной насадки, м; φ – угол поворота криволинейного канала жалюзийной насадки; R – радиус искривления; $S_{жк}$ – поверхность площади входа жалюзийной насадки, м²; S_c – поверхность площади свободного сечения аппарата, м².

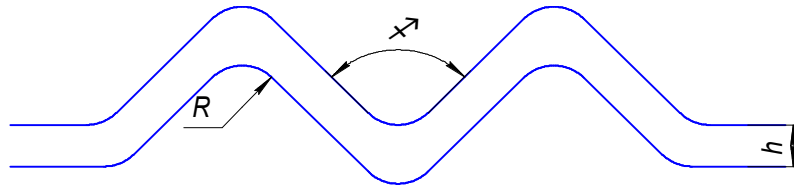


Рисунок 3 – Расчетная схема жалюзийного каплеуловителя

Недостатком этого расчета является отсутствие учета влияния количества гофр на эффективность работы устройства. Согласно [8] для того, чтобы в последующей гофре минимальный радиус улавливаемых капель уменьшался, необходимо уменьшение угла наклона жалюзей φ , иначе капли будут улавливаться только на первых двух гофрах.

По предложенной методике необходимо сначала определить минимальное число Стокса, а потом минимальный радиус улавливаемых капель:

$$S = \frac{2 \cdot R^2 \cdot \rho_L \cdot U}{9 \cdot L \cdot \mu_G}, \quad (2)$$

где R – радиус улавливаемых капель; ρ_L – плотность дисперсных частиц; U – скорость движения потока; μ_G – вязкость газа.

Данные методики расчета предоставляют возможность рассчитать необходимое количество гофр для улавливания частиц определенного размера, но при этом не учитывается наличие каких-либо элементов для удержания уловленных частиц.

На практике также уже известны методики расчета фильтрующих элементов для разделения газожидкостных систем. В промышленности используются фильтры, в которых поток проходит сквозь фильтрующую перегородку и на выходе из нее уже не смешивается с исходной смесью. При определении скорости фильтрования принимают, что поток движется перпендикулярно фильтрующей перегородке. Основными силами, действующими на каплю в фильтрующем слое, являются [9]: сила инерции, эффект зацепления и броуновская диффузия. Для расчета фильтра-сепаратора задаются расходом среды и вычисляют необходимую поверхность и уже как следствие количество элементов.

$$F_\phi = \frac{Q_H \cdot p_0 \cdot z_p \cdot T_p}{86400 \cdot p_p \cdot z_0 \cdot T_0 \cdot W_\phi}, \quad (3)$$

где Q_H – производительность сепаратора; p_0, p_p – нормальное и рабочее давление; T_0, T_p – нормальная и рабочая температура; z_0, z_p – коэффициент сжимаемости; W_ϕ – скорость газа.

Для более полного расчета фильтрующих элементов разработана математическая модель Л. Спилмана и С. Горина [10]. Она составлена на основе теории фильтрации двух несмешивающихся жидкостей и фильтрования потоков от твердых примесей.

Данная система уравнений описывает сбор жидкости, ее проход и удаление из фильтрующего элемента и решена относительно системы масло-вода.

Предложенные методы расчета хотя и учитывают физические характеристики сред, но в них не указано влияние угла атаки газожидкостным потоком фильтрующего элемента, а также смешивания очищенного газа с исходной смесью.

Все вышеизложенное позволило разработать конструкцию инерционно-фильтрующих элементов со следующими характеристиками, которые показаны на рисунке 4. Дисперсный состав аэрозоля был определен с помощью импактора модели БП-35/25-4, а гидравлическое сопротивление – наклонным жидкостным манометром.

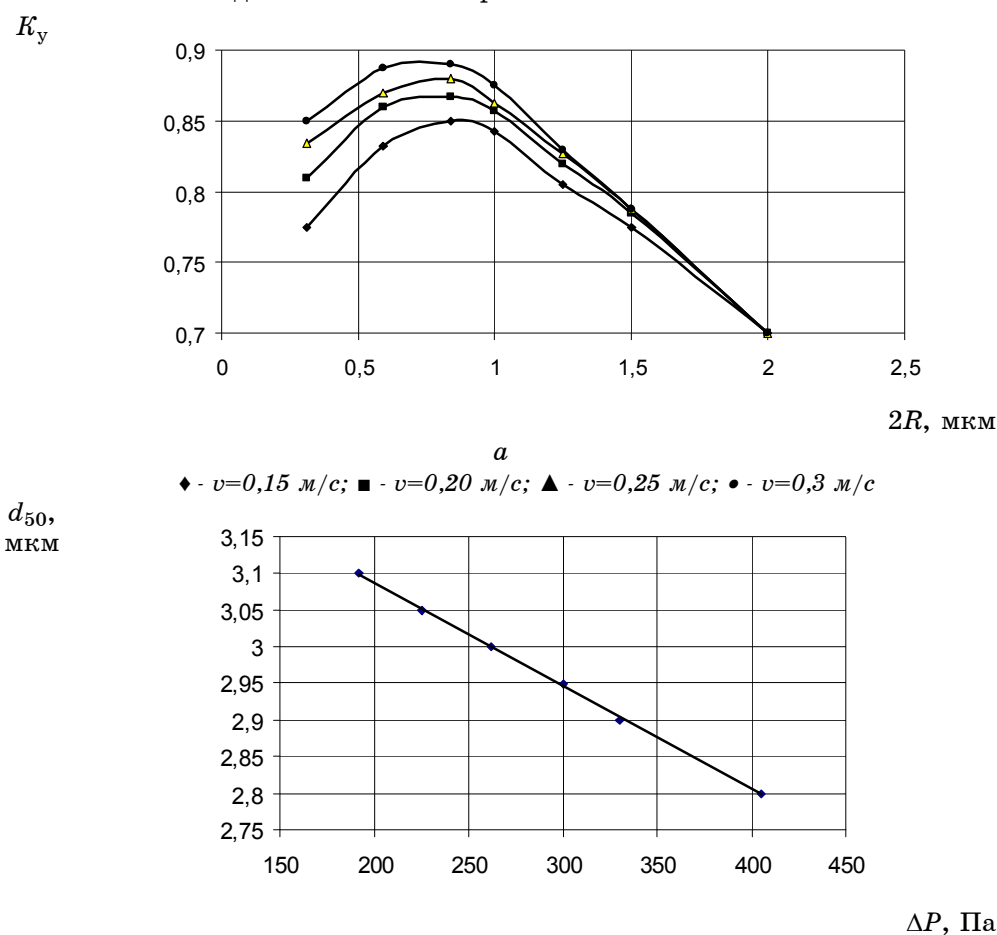


Рисунок 4 - Характеристики работы инерционно-фильтрующих элементов:
 а – зависимость коэффициента проскакивания K_y от размера улавливаемых капель $2R$ при скорости газового потока v , м/с;
 б – зависимость диаметра частиц d_{50} , которые улавливаются с эффективностью $\eta=0,5$, от гидравлического сопротивления ΔP , Па

Исходя из задач моделирования потоков в инерционно-фильтрующих элементах необходимо создание методики расчета элементов. При расчете движения потока по криволинейным каналам необходимо учитывать наличие фильтрующих элементов, которые удерживают и отводят уловленную жидкость, их тип. При составлении математической модели расчета инерционно-фильтрующих устройств, а именно их фильтрующих элементов, необходимо решить систему уравнений Л. Спилмана и С. Горина относительно системы природный газ – жидкость, но при этом учитывать особенности накопления, отведения жидкости и выхода очищенного газа из них. Также необходимо ввести влияние угла атаки газожидкостным потоком фильтрующего элемента на эффективность работы устройства.

SUMMARY

HYDRODYNAMIC PECULIARITIES OF TWO-PHASE FLOWS MOTION IN INERTIAL AND FILTERING SEPARATORS

V.I. Sklabinsky, A.A. Lyaposchenko, A.V. Lohvin
Sumy State University

The article deals with the problem of gas-liquid flow separation. The problem solving is suggested with the help of inertial and filtering elements. The elements of calculation of operating efficiency of the devices and the obtained graphical curves that characterize the parameters of functioning of inertial filtering separators are given.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефтегазопромышленная сепарационная техника: Справочное пособие./Под ред. Л.М. Мильштейна. – М.: Недра, 1992. – 236 с.: ил.
2. Гусейнов Ч.С., Бекиров Т.М. Усовершенствование конструкций газовых сепараторов. Сер.: Подготовка и переработка газа. - М.: И-во ВНИИЭгазпром, 1981. - Вып. 6. - 39 с.
3. Очистка газов: Справочное издание / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.
4. Solid liquid filtration and separation technology / A. Rushton; A.S. Ward; R.G. Holdich. – Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VCH, 1996.
5. Проектирование аппаратов пылегазоочистки / М.Г. Зиганшин, А.А. Колесников, В.Н. Посохин. - М.: Экопресс - ЗМ, 1998. – 505 с., с иллюстрациями.
6. Декл. пат. №69701А Україна, МПК 7 B01D45/04. Спосіб вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідного потоку і пристрій для його здійснення / В.І. Склабинський, О.О. Ляпощенко. - №20031110451; Заявлено 20.11.2003; Надрук. 15.09.2004, Бюл. №9, 2004 р.
7. Бекиров Т.М., Шаталов А.Т. Сбор и подготовка к транспорту природных газов. – М.: Недра, 1986. - 261 с.
8. Синайский Э.Г., Лапига Е.Я., Зайцев Ю.В. Сепарация многофазных многокомпонентных систем. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 621 с.: ил.
9. Гриценко А.И., Александров И.А., Галанин И.А. Физические методы переработки и использования газа: Учебное пособие. - М.: Недра, 1981. - 224 с.
10. Разделение трехфазных смесей и эмульсий при сборе и переработке нефтяного газа / С.И. Бойко, Л.М. Мильштейн, Г.К. Зиберт, Л.Н. Лиханова. – Сер.: Техника и технология добычи нефти и обустройства нефтяных месторождений. М.: Изд.-во ВНИИОЭНГ, 1990. - 71 с.

Поступила в редакцию 30 февраля 2009 г.