

9. Водородная энергетика. <http://energokeeper.com/vodorodnaya-energetika.html> (дата обращения 11.2013).
10. Дружинин П.В., Мельников В.А., Журавлев С.Н. и др. Работа двигателя внутреннего сгорания на водороде // Горюче-смазочные материалы. – 2006. – № 8.
11. Цветков Ю.В. Энергометаллургический комплекс на базе плазменных техники Энергетика России: проблемы и перспективы // Тр. научной сессии РАН «Энергетика России: проблемы и перспективы» / под ред. В.Е. Фортова, Ю.Г. Леонова. – М.: Наука, 2006. – С. 154 – 162.
12. Профессор Анатолий Аньшаков об энергии из отходов. 25.11.2010. <http://www.forum.ruboard.ru> (дата обращения 11.2013).
13. Бородин В.И. Плазменные технологии // Федеральное агентство по образованию. Петрозаводский гос. ун-т. – Петрозаводск, 2004. – 56 с.
14. Власов В.А., Сосновский С.А., Тихомиров И.А. Переработка техногенных отходов в условиях низкотемпературной плазмы ВЧ разряда // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 305. – вып. 3. – С. 352 – 358.
15. Петров С.В., Бондаренко С.Г., Дидык Е.Г., Дидык А.А. Плазменные технологии в воспроизводимых источниках энергии // Энергетика и электрификация. 2010. – № 1. – С. 53 – 59.
16. Петров С.В., Маринский Г.С., Чернец А.В., Коржик В.Н., Мазунин В.М. Применение паро-плазменного процесса для пиролиза органических, в том числе медицинских и других опасных отходов // Современная электрометаллургия. – 2006. – № 4. – С. 57 – 66.
17. Хомкин, К.А. Экспериментальные исследования в обоснование технологии комплексной переработки органических отходов и природного газа в водород и углеродные материалы: дис. ... канд. техн. наук / К.А. Хомкин. – Москва, 2005. – 141 с.
18. Фёдоров Л.А. Где в России искать закопанное химическое оружие (химическое разоружение по-русски). М., 2002.
19. Фёдоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы / – М.: Наука, 1993. – 266 с.
20. Лавренченко С.П., Лукьянов А.В., Матросов С.И. и др. Методический подход к оценке эффективности утилизации жидких токсичных отходов смешанных классов опасности // Материалы I Н.-практ. конф. «Научно-технические аспекты обеспечения безопасности при уничтожении, хранении и транспортировке химического оружия» Москва, 2003. – С. 11 – 17.

Сепарация пара методом частичной конденсации на трубном пучке

к.т.н. доц. Жихарев А.С.
Университет машиностроения
a_giharev@msuie.ru

Аннотация. Рассмотрен способ повышения эффективности улавливания взвешенных в паре капель с использованием эффекта конденсации пара на поверхности трубного пучка.

Ключевые слова: частичная конденсация, сепарация газа, трубный пучок

Одним из способов повышения эффективности улавливания взвешенных в паре капель является использование эффекта конденсации пара. Наиболее перспективным представляется осуществление процесса конденсации с целью осаждения капель на поверхности трубного пучка.

Конденсационная сепарация пара является сложным процессом, зависящим от ряда физических и конструктивных факторов. В случае продольного обтекания паром вертикального

трубного пучка капли, находящиеся в нем, перемещаются к поверхности конденсации под воздействием конденсирующейся части пара, а также под воздействием термодиффузиофореза и стефановского течения. Капли, которые достигли поверхность конденсации, осаждаются на ней. Оставшаяся часть капель выносятся из аппарата. Вблизи поверхности раздела фаз может происходить конденсационное укрупнение капель, что способствует их осаждению. При поперечном движении пара относительно пучка труб существенный вклад в развитие процесса осаждения капель могут дать также силы инерции, возникающие вследствие отклонения линий тока у поверхности трубок. В случае, когда движение пара осуществляется вдоль вертикальной поверхности трубки, на которой пар частично конденсируется, силы тяжести и инерции, по всей вероятности, не будут определять процесс осаждения капель на поверхность конденсации, в связи с чем их можно не учитывать для рассмотренных условий.

При поперечном движении пара относительно трубного пучка на взвешенную каплю будут действовать те же силы, что и в случае продольного движения пара: сила динамического воздействия пара, сила сопротивления, сила тяжести, сила инерции, сила термофореза, сила диффузиофореза и стефановская сила [1]. Однако действие этих сил будет носить несколько иной характер. Взвешенная капля двигается к поверхности конденсации, увлекаемая потоком пара. На некотором расстоянии от поверхности линии тока огибают трубку и тогда капля под действием силы инерции и потока пара, направленного к поверхности трубки (конденсирующийся пар), попадает в пристенный слой и осаждается на поверхности конденсации за счет сил термодиффузиофореза и стефановского течения. Когда же динамического воздействия пара в направлении поверхности конденсации и силы инерции оказывается недостаточно для вовлечения капли в пристенный слой, она огибает поверхность трубки, устремляется к трубкам следующего ряда или же выносятся из аппарата. Сила тяжести при этом, очевидно, не будет оказывать существенного влияния на интенсивность осаждения капель из-за того, что она направлена перпендикулярно как направлению движения пара, так и поверхности конденсации (осаждения).

К основным параметрам, определяющим процесс конденсационной сепарации пара на трубном пучке, следует отнести степень конденсации пара. От величины степени конденсации зависит интенсивность воздействия конденсирующегося пара на взвешенные капли в ядре потока, а также величина сил термодиффузиофореза и стефановского течения в непосредственной близости от поверхности конденсации. На процесс осаждения капель в описанных условиях оказывают также влияние величина поверхности конденсации и размер капля.

Анализ уравнения движения капли под действием данных сил с использованием методов теории подобия позволил получить совокупность критерия подобия [1, 2]:

$$C = f\left(\frac{W''\rho''\ell'}{\mu''}, \frac{\sigma}{g(\rho' - \rho'')L^2}, \frac{W''^2}{\ell'g}, \frac{\rho''}{\rho' - \rho''}, \frac{P}{g\rho''L}, N, \frac{\ell}{\ell'}\right). \quad (1)$$

или

$$C = f\left(\text{Re}, \text{We}, \text{Fr}, \frac{\rho''}{\rho' - \rho''}, \frac{P}{g\rho''L}, N, \frac{\ell}{\ell'}\right). \quad (2)$$

где ℓ - расстояние, пройденное паром вдоль поверхности конденсации, м;

ℓ' - характерный размер трубного пучка, м;

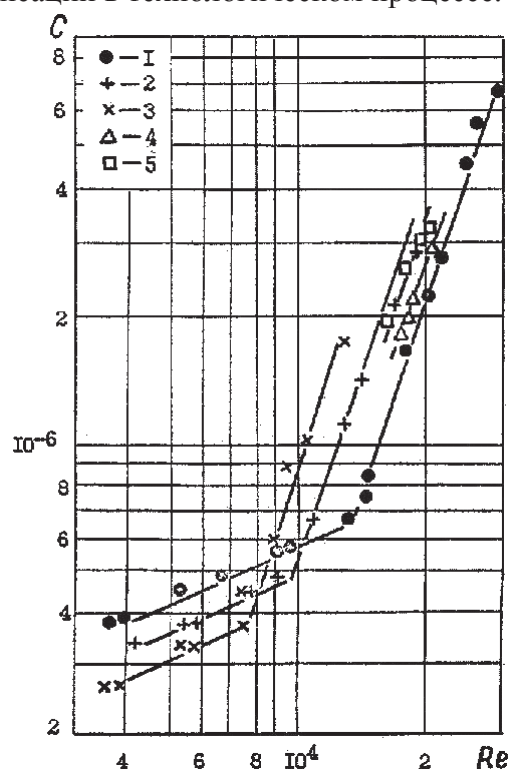
Так как движение дисперсной жидкой фазы определяется в основном вынужденным движением пара, то изменение критерия Фруда будет оказывать незначительное влияние на процесс сепарации.

Уравнение (2) было использовано для получения обобщенной зависимости величины

уноса капель из конденсационного сепаратора. Окончательно получаем:

$$C = f\left(\text{Re}, N, Kp, \frac{\ell}{\ell'}\right). \quad (3)$$

Сепарация пара методом частичной конденсации на трубном пучке наиболее рациональна для очистки вторичных паров выпарных аппаратов от капель упариваемого раствора. Схемы многокорпусных выпарных установок предусматривают кожухотрубчатые подогреватели исходного раствора, обогрев которых происходит за счет конденсации определенной части вторичных паров, отбираемых из выпарных аппаратов. Это позволяет осуществлять конденсационную сепарацию пара в межтрубном пространстве подогревателей и использовать тепло частичной конденсации в технологическом процессе.



**Рисунок 1. Зависимость уноса C от числа Re в режиме противотока: $N = 0,185 + 0,221$;
1 – $P = 0,1$ МПа; 2 – $P = 0,05$ МПа; 3 – $P = 0,025$ МПа; 1 ÷ 3 – $\ell = 4,5$ м; 4 – $\ell = 3$ м;
5 – $\ell = 1,5$ м**

Конденсационные сепараторы эффективно улавливают мелкие капли диаметром до 1 мкм в связи с чем их рекомендуется устанавливать на линии вторичного пара после инерционных или центробежных сепарационных устройств, в которых осаждаются более крупные капли. Кроме выпарных установок, конденсационные трубчатые сепараторы могут использоваться и в составе с другими аппаратами, отходящие пары которых содержат мелкие капли. В полученной зависимости $C = f(\text{Re})$ для противотока [2], в отличие от аналогичной зависимости для прямотока, отчетливо выражены две области (рисунок 1). Первая область характеризуется незначительным повышением уноса C при увеличении числа Рейнольдса. Во второй же области с увеличением Re происходит резкое возрастание величины C . Наличие двух областей в зависимости $C = f(\text{Re})$ для режима противотока обусловлено различным влиянием скорости пара W'' на эффективность сепарации при $W'' < 15$ м/с и при $W'' > 15$ м/с.

Из рисунка 1 можно видеть, что длина трубок сепарирующего элемента ℓ оказывает заметное влияние на унос C лишь во второй области зависимости $C = f(W'')$. Таким образом, учитывая неоднозначность влияния на эффективность сепарации основных параметров про-

цесса в режиме противотока, экспериментальные данные, полученные в этом режиме, обобщались при помощи двух уравнений.

Задача инженерного расчета конденсационного трубчатого сепаратора состоит в определении режимных параметров работы сепаратора (выбор схемы относительного движения пара в трубном пучке, расчет скорости пара $\overline{W''}$, нахождение величины уноса C) и его конструктивных размеров (размеры трубок трубчатого пучка, шаг трубного пучка, количество трубок), обеспечивающих минимальный унос при минимальной или заданной степени конденсации.

Методика расчета сепаратора основана на определении режима сепарации, обеспечивающего минимальный унос при заданных геометрических параметрах трубного пучка и заданной степени конденсации.

Для расчета сепаратора необходимо знать расход сепарируемого пара G кг/ч, а также величину давления пара P , степень конденсации N , плотность жидкой и паровой фаз ρ' , ρ'' , вязкость пара и поверхностное натяжение жидкой фазы. Кроме того, необходимы данные о конструкции трубного пучка: диаметр d , длина ℓ и число трубок $n_{\text{тр}}$, шероховатость труб и диаметр кожуха D_k , которые находятся из предварительного расчета по заданной тепловой нагрузке и расходу подогреваемого раствора.

Последовательность расчета

Согласно полученным зависимостям $C = f(\overline{W''})$, минимальный унос C_{\min} при продольном обтекании трубного пучка наблюдается в режиме противотока [1,2].

Находим значение приведенной скорости пара в трубном пучке

$$\overline{W''} = \frac{4G_{\Pi} \left(1 - \frac{N}{2}\right)}{3600 \rho'' \pi (D_k^2 - n_{\text{тр}} d^2)}, \text{ м/с}. \quad (4)$$

Вычисляем эквивалентный диаметр межтрубного пространства теплообменника

$$d_{\text{экв}} = \frac{D_k^2 - n_{\text{тр}} d^2}{D_k - n_{\text{тр}} d}, \text{ мм}. \quad (5)$$

Определяем величину числа

$$\text{Re} = \frac{\overline{W''} d_{\text{экв}} \rho''}{\mu''}. \quad (6)$$

Находим значение критерия давления K_p

$$K_p = \frac{P}{g \rho'' L} \cdot \frac{\rho''}{\rho' - \rho''} \cdot \frac{1}{\sqrt{\text{We}}} = \frac{P}{\sqrt{\sigma(\rho' - \rho'')g}}. \quad (7)$$

В зависимости от найденной величины числа Re определяем значение минимального уноса C_{\min} по уравнениям

$$C = 1,16 \cdot 10^{-10} \text{Re}^{0,41} N^{-1,7} K_p^{0,26}. \quad (8)$$

или

$$C = 1,17 \cdot 10^{-15} \text{Re}^{2,73} < N^{-1,51} K_p^{-0,71} (\ell/d)^{-0,5}. \quad (9)$$

Отсутствие ограничения по гидравлическому сопротивлению сепаратора позволяет на этом закончить расчет. В противном случае определяется потеря давления пара в межтруб-

ном пространстве трубчатого пучка по известной методике и сравнивается с заданным гидравлическим сопротивлением сепаратора. При этом необходимо увеличить площадь сечения межтрубного пространства за счет уменьшения длины труб и увеличения диаметра корпуса.

Литература

1. Костенко Г.С, Кутепов А.М., Жихарев А.С. // Журнал прикладной химии 1982. № 8. С.1780
2. Костенко Г.С, Кутепов А.М., Жихарев А.С. Касьяненко М.К.// Журнал прикладной химии 1982. №8. С.1801

Разработка структуры и состава информационного обеспечения уникальных научных объектов вузов

к.т.н. Ермолаев А.Е., к.п.н. Калинина С.В., к.э.н. Костенко А.В.,
к.т.н. Крысанов К.С., Трубицына А.П.
Университет машиностроения
fozk@yandex.ru

Аннотация: В данной статье на основе проведенного анализа представлены результаты разработки структуры и состава системы информационного обеспечения уникальных научных объектов высших учебных заведений как одного из основных элементов обеспечения качества выполнения исследований и разработок.

Ключевые слова: уникальные научные объекты вузов

Создание конкурентоспособного на мировом уровне национального сектора исследований и разработок, результаты которого будут востребованы экономикой, предполагает наличие развитой научной инфраструктуры.

Ключевым звеном научной инфраструктуры является исследовательское оборудование и комплексы: производимые серийно дорогостоящие и высокоточные научные приборы, а также уникальные в масштабах страны и на международном уровне научные стенды и установки, в том числе уникальные научные объекты высших учебных заведений (УНО вузов). Среди них – созданная в Московском государственном машиностроительном университете (МАМИ) установка «Комплекс «Ударная многофазная труба» (УДАР) (рег. № 06-43), позволяющая проводить исследования фундаментальных проблем гидродинамики и теплофизики неравновесных многофазных сред.

Важным механизмом формирования и развития УНО вузов является развитие системы информационного обеспечения (СИО) уникальных научных объектов высших учебных заведений, что создает возможность оценить не только состояние научного, профессионального и технического потенциала УНО, но и уровень их функциональных возможностей по оказанию услуг различным организациям, проведению научно-исследовательских работ на мировом уровне.

Структуру информационного обеспечения УНО вузов можно представить в виде двух взаимосвязанных уровней с различными функциональными характеристиками (см. рисунок 1).

Первый уровень информационного обеспечения характеризуется деятельностью организаций, связанных с мониторингом системы УНО вузов.

Второй уровень – образовательных учреждений, обладающих уникальными научными объектами и обеспечивающих их функционирование.