

В статье приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований основных геометрических размеров (эквивалентного диаметра и фактора формы) нерегулярной насадки в виде коротких пружинных элементов с размерами 5,5×8,0×0,4 и 4,0×8,0×0,4 и слоя (порозности, удельной межфазной поверхности, коэффициента неравномерности и степени сжатия живого сечения) образованного этими элементами. Полученные данные сопоставлены с аналогичными характеристиками для слоя нерегулярной насадки сформированного из колец Палля и Рашига различных типоразмеров.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЯ НЕРЕГУЛЯРНОЙ НАСАДКИ ИЗ КОРОТКИХ ПРУЖИННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Могилевский государственный университет продовольствия,
г. Могилев, Республика Беларусь**

Киркор А.В., кандидат технических наук, доцент кафедры теплохладотехники

Известно, что одним из направлений повышения качества получаемых спиртов является проведение процессов ректификации в колоннах, работающих под разрежением [1,2]. В таких условиях температура кипения разделяемых компонентов зависит не только от давления, но и от многих других параметров проведения процесса. Среди конструктивных параметров необходимо выделить тип контактного устройства и общее гидравлическое сопротивление колонны.

Основным требованием предъявляемым к контактному устройству является необходимость создания ими максимально развитой и постоянно обновляемой межфазной поверхности. Наиболее полно реализуется в устройствах работающих в капельно–пленочном режиме движения жидкой фазы. В связи с этим к настоящему времени в спиртовой промышленности наметилась устойчивая тенденция к применению в колоннах разделения вместо царг с копачковыми тарелками секций с регулярной и нерегулярной насадкой. Как показывают исследования [3] замена одной или двух последних тарельчатых царг на насадочную секцию обеспечивает повышение эффективности эппюрационных колонн до 48–56 тарелок, а ректификационных до 110–130.

Все более широко в качестве наполнителей (контактных элементов) насадочных секций находят применение регулярные слои, образованные из решетчатых (перфорированных) элементов в виде различного рода сетчатых прямых и гофрированных полотен, укладываемых попарно либо свернутыми в рулоны; перфорированных гофротруб; полых призматических и цилиндрических элементов из сеток и решеток, а так же засыпные (нерегулярные) слои образованные из колец Рашига, Палля, колец с внутренними перегородками и вставками различной формы. Интересным и простым техническим решением, занимающим промежуточное положение в ряду перечисленных контактных устройств, может быть признана нерегулярная насадка из пружинных элементов.

Если вышеупомянутые виды насадок являются достаточно изученными, то в научно–технической литературе не выявлены данные по геометрическим и техническим характеристикам насадок из пружинных элементов. Поэтому целью проводимых исследований являлось определение основных геометрических характеристик (эквивалентного диаметра и порозности) насадочного слоя, а так же выявление факторов влияющих на гидравлическое сопротивление слоя из пружинных элементов.

Представляя объем насадки сформированным из коротких пружин как пористый слой (см. рис. 1а) через пустоты которого проходит воздух определим его гидравлическое сопротивление. Учитывая что слой образован пружинными элементами, имеющими цилиндрическую форму

(рис. 1б) можно предположить, что воздух движется по системе пор переменного сечения длина и форма которых предопределяется размером и формой самих элементов. В первом приближении поры можно представить как систему каналов одинакового сечения.

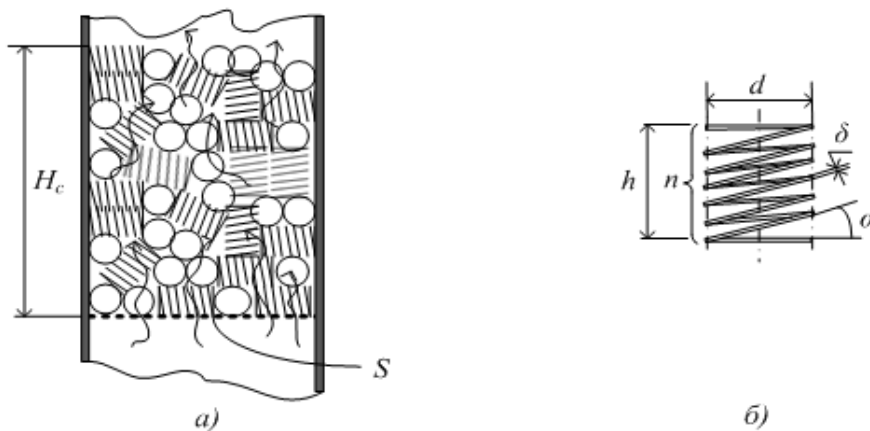


Рис. 1. Схема слоя насадки (а) и его элемента (б)

Установить связь между геометрическими характеристиками слоя насадки и скоростью фильтрации воздуха через слой можно по уравнению Дарси–Вейсбаха:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho \vartheta^2}{2} \quad (1)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина канала для прохода воздуха, м; d_s – эквивалентный диаметр канала, м; ϑ – скорость движения воздуха в каналах насадки, м/с.

Для слоя насадки высотой H изменение его гидравлического сопротивления по высоте $\Delta p/H$ определится как:

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\lambda}{d_s} \frac{\rho \vartheta^2}{2} \quad (2)$$

Учитывая, что живое сечение слоя S частично занято насадкой (сужено), то площадь сечения для прохода воздушного потока будет равна σS , где σ – коэффициент сжатия сечения. Его величину выразим как отношение площади живого сечения воздушного потока S_g к площади сечения всего слоя, т.е.

$$\sigma = \frac{S_g}{S} = \frac{S - S_3}{S} = 1 - \frac{k_s f'}{dh} \quad (3)$$

где S_g – площадь свободного (для прохода воздуха) живого сечения слоя.

$S_3 = \frac{k_s f'}{dh}$ – площадь живого сечения слоя перекрываемого насадкой; f' – площадь живого сечения слоя перекрываемая единичным элементом.

$$f' = \delta l_b = \delta d / \cos \alpha = \delta d / \cos \left(\arctg \frac{h}{nd} \right)$$

k_s – коэффициент, учитывающий реальную укладку элементов в живом сечении слоя. Данный коэффициент определен как отношение действительного числа элементов в слое N_p к числу элементов при плотной (без пустот) упаковке (укладке) слоя N_n . Здесь также принято во внимание что в реальном слое неравномерность размещения элементов по объему слоя k_v будет одинакова по всем направлениям, т.е. как в поперечном сечении k_s так и по высоте слоя k_h . Исходя из того, что $k_v = k_s \cdot k_h$ определим коэффициенты неравномерности распределения как:

$$k_s = k_h = \sqrt{N_p/N_n} = \sqrt{\frac{N_p}{4V_c/(\pi d^2 h)}} \quad (5)$$

Учитывая коэффициент сжатия живого сечения потока скорость фильтрации воздуха в порах слоя будет соотносится со скоростью движения воздуха отнесенной к площади сечения слоя как : $\vartheta = \vartheta_{ck}/\sigma$, а уравнение (2) примет вид:

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\lambda}{d_s} \frac{\rho \vartheta^2}{2} = \frac{\lambda}{d_s} \frac{\rho \vartheta_{ck}^2}{2\sigma^2} \quad (6)$$

Эквивалентный диаметр канала в слое насадки выразим через гидравлический радиус пустот $d_s = 4r_z = 4F_n/\Pi_n$, домножив данное соотношение (и числитель и знаменатель) на высоту слоя H получим:

$$d_s = (4F_n/\Pi_n) \times \frac{H}{H} = 4V_n/F_n \quad (7)$$

где V_n – объем пустот в слое, м³; F_n – площадь поверхности элементов в слое, м²/м³.

Для единичного слоя объемом $V_c = V_n + V_s = 1$ из определения порозности следует, что объем пустот в слое $V_n = \varepsilon$, а объем контактных элементов $V_s = 1 - \varepsilon$. Поверхность образуемая контактными элементами в таком слое насадки с учетом неравномерности распределения элементов в слое определится как произведение площади поверхности одного элемента f_s на число элементов N заключенных в объеме V_s при их плотной укладке, т.е.

$$F_n = f_s N k_v \quad (8)$$

Число элементов в слое выразим как отношение объема, занимаемого элементами $V_s = 1 - \varepsilon$ к объему элемента, т.е.

$$N = V_s/\vartheta_s = \frac{4(1-\varepsilon)}{\pi d^2 h} \quad (9)$$

Используя принятые обозначения (см. рисунок 1б) площадь поверхности элемента составит $f_s = f_s n_e = \pi^2 \delta h / \sin \alpha$. Тогда площадь поверхности каналов будет равна:

$$F_n = \frac{\pi^2 \delta h}{\sin \alpha} \cdot \frac{4(1-\varepsilon)}{\pi d^2 h} k_v = \frac{4\delta \pi (1-\varepsilon)}{d^2 \sin \alpha} k_v \quad (10)$$

В результате подстановок эквивалентный диаметр канала определится как:

$$d_s = \frac{\varepsilon d^2 \sin \alpha}{\delta \pi (1-\varepsilon) k_v} \quad (11)$$

В рассматриваемом случае слой образован элементами форма которых отличается от формы сферы, поэтому при определении эквивалентного диаметра канала необходимо учесть данное обстоятельство, применив такой показатель как фактор формы. Фактор формы ψ представляет собой отношение площади поверхности шара с объемом равным объему элемента к площади поверхности самого элемента, т.е. $\psi = F_u/f_s$. Объем единичного элемента с 5% погрешностью можно представить как объем развертки боковой поверхности полого цилиндра с толщиной стенки δ т.е. $\vartheta_s = \pi d h \delta$, а диаметр шара с объемом равным объему элемента будет равен $d_u = \sqrt[3]{6d h \delta}$. Величина площади поверхности эквивалентного шара составит $F_u = \pi (\sqrt[3]{6d h \delta})^2$, а элемента как было установлено выше $f_s = \pi^2 \delta h / \sin \alpha$. В результате несложных преобразований, фактор формы для рассматриваемых контактных элементов будет равен:

$$\psi = \left(1,162 \cdot \frac{d^2}{\delta \cdot h} \right)^{1/3} \sin \alpha \quad (12)$$

Тогда эквивалентный диаметр канала с учетом фактора формы будет определяться из уравнения:

$$d_3 = \frac{\varepsilon d^2 \sin \alpha}{8\pi(1-\varepsilon)k_v} \psi = \frac{\varepsilon d^2 \sin \alpha}{8\pi(1-\varepsilon)k_v} \cdot \frac{\pi(\sqrt[3]{6dh\delta})^2}{\pi^2 \delta h / \sin \alpha} = \left(0,575 \frac{d^{4/3} \sin \alpha}{\delta^{2/3}}\right)^2 \frac{1}{h^{1/3} k_v} \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)} \quad (13)$$

Подстановка значения d_3 в уравнение (3) позволяет выразить изменение давления по высоте слоя как:

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\lambda}{d_3} \frac{\rho \vartheta_{ck}^2}{2\sigma^2} = \lambda \frac{\pi \delta k_v}{\psi (d\sigma)^2 \sin \alpha} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\rho v_{ck}^2}{2} \quad (14)$$

Представив полученное уравнение (14) через универсальное уравнение Дарси получим:

$$\frac{\Delta p}{H} = \lambda \frac{\pi \delta k_v}{\psi (d\sigma)^2 \sin \alpha} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\rho v_{ck}^2}{2} = \zeta \frac{\rho \vartheta_{ck}^2}{2} \quad (15)$$

Откуда следует, что:

$$\zeta = \lambda \frac{\pi \delta k_v}{\psi (d\sigma)^2 \sin \alpha} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \quad (16)$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления слоя насадки.

Из полученного уравнения следует, что коэффициент гидравлического сопротивления слоя зависит как от формы элементов так и от их геометрических характеристик. Кроме этого данные параметры элементов влияют и на характеристики слоя: порозность и на неравномерность их размещения в объеме слоя.

Для определения значений всех принятых поправочных коэффициентов и геометрических характеристик слоя из коротких пружинных элементов были проведены экспериментальные исследования слоев из элементов двух типов, отличающихся друг от друга геометрическими размерами. Первый тип элементов имел геометрические размеры ($d \times h \times \delta$) 5,5×8,0×0,4 второй тип – 4,0×8,0×0,4. Исследования проводили пикнометрическим методом. Результаты исследований приведены в таблице 1. Здесь же приведены данные [4] для слоя объемом 1м³ из колец Палля и Рашига различных типоразмеров. В таблице 2 представлены результаты обработки полученных данных.

При этом порозность слоя определена как отношение $(V_c - V_3)/V_c = V_n/V_c$. Коэффициент неравномерности распределения насадки в объеме слоя k_v по уравнению (5), фактор формы ψ определен с применением уравнения (12), а степень сжатия живого сечения σ по уравнению (3). Величина удельной поверхности насадки рассчитана по известному [4] уравнению вида:

$$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{\psi d_0}$$

где d_0 – диаметр эквивалентного шара.

Таблица 1. Результаты пикнометрических исследований нерегулярной насадки

Тип элемента $d \times h \times \delta$, мм	Объем слоя, см ³		Число элементов N_p в слое, V_c шт	Число элементов в единичном в слое N_p , шт
	Полный, V_c	Свободный, V_n		
5,5×8,0×0,4	65,0	57,0	240	3 692 000
4,0×8,0×0,4	44,0	37,58	230	5 228 000
Кольцо Палля 15×15×0,4	10 ⁶			230 000
Кольцо Рашига 10×10×0,5	10 ⁶			770 000
15×15×0,5	10 ⁶			240 000

Таблица 2. Геометрические характеристики насадки

Тип элемента $d \times l \times \delta$, мм	Характеристики слоя				Эквивалент-ный диаметр $d_{э}$, мм		Фактор формы ψ
	Порозность ϵ	Коэффициент неравномерности k_v	Степень сжатия сечения σ	Удельная поверхн. a , m^2/m^3	канала	элемента	
5,5×8,0×0,4	0,877	0,701	0,957	533	10,3	6,6	0,448
4,0×8,0×0,4	0,854	0,526	0,963	656	6,5	5,2	0,396
Кольцо Палля 15×15×0,4	0,900	0,609	0,220	380		10	
Кольцо Рашига 10×10×0,5	0,880	0,605	0,223	500		7	0,126
10×10×1,5	0,700	0,549	0,259	440		6	0,358

Как следует из данных таблицы 2, исследованная насадка по сравнению с известными металлическими кольцами Рашига и Палля при более развитой удельной поверхности обладает примерно одинаковой порозностью слоя и коэффициентом неравномерности. При этом слой из коротких пружинных элементов для потока воздуха является более проницаемым. Слой из элементов типа 1 имеет большую порозность чем слой второго типа что объясняется меньшими размерами элементов и более плотной укладкой их в объеме слоя.

Стандартные насадки (кольца Палля и Рашига) более существенно перекрывают живое сечение аппарата т.к. их стенки в отличии от исследованных элементов не являются проницаемыми для воздушного потока. По этой же причине удельная поверхность насадки из пружинных элементов является более развитой. Данный факт может быть подтвержден и тем, что фактор формы у исследованных элементов имеет более высокое значение. Меньшая удельная поверхность слоя из элементов первого типа по сравнению со слоем из элементов второго типа объясняется большей вероятностью и возможностью проникновения элементов друг в друга через их боковую поверхность. Об этом свидетельствует так же значение коэффициента неравномерности.

Здесь следует отметить и существующую разницу в эквивалентных диаметрах канала и элемента для исследованной насадки, что объясняется наличием и объемом пустот в слое.

ВЫВОДЫ

1. Слой, образованный из коротких пружинных элементов, имеет более развитую межфазную поверхность, чем слои из стандартных колец Рашига и Палля. Поэтому он гарантирует более высокую эффективность протекания массообменных процессов при непосредственном контакте фаз.

2. Более высокая порозность и меньшая степень сжатия живого сечения слоя обеспечивает более низкое гидравлическое сопротивление, а следовательно будет позволять проводить обменные процессы с меньшими энергозатратами.

3. Исследованные типы насадки в виду простоты и технологичности изготовления, а также их относительной дешевизны и эффективности могут быть рекомендованы в качестве контактных устройств для массообменных колонн и в частности для колонн эспюрации и ректификации спиртов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиян, П.Л. Інноваційні технології спиртовп промисловости. Теорія і практика./ П.Л. Шиян, В.В.Сосницький, С.Т. Олійнічук. –К.: Видавничий дім «Асканія» 2009 – 424 с.
2. Шаршунов, В.А. Технология и оборудование для производства спирта и ликероводочных изделий: в 2 ч. Ч 1. Производство спирта: пособие / В.А. Шаршунов, Е.А. Цед, Л.М. Кучерявый, А.В. Киркор. – Минск: Мисанта, 2013. – 783 с.

3. *Леонтьев В.С., Енин В.И.* Эффективность колонн с регулярной насадкой. / Ликероводочное производство и виноделие. – 2008. – №4. – С. 16–19.
4. *Рамм, В.М.* Абсорбция газов. Изд. 2–е, переработ. и доп. / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

Рукопись статьи поступила в редакцию 05.07.2016

A.V. KIRKOR

GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE LAYER OF THE IRREGULAR NOZZLE FROM SHORT SPRING ELEMENTS

The article presents results of analytical and experimental studies of the geometric characteristics of the nozzle layer of the short spring members formed of wire 0,4 mm in diameter with an aspect ratio $l/d = 1,45$ and $2,0$. These elements have an equivalent diameter of 6.6 mm and 5,2 mm respectively, and the shape factor reaches values of 0,45 and 0,40. It is found that the value of the specific interfacial surface layers of such elements in 1,1–1,3 times higher than the most effective parameter for nozzle (10Ч10Ч0,5 Raschig rings) with porosity layers remains roughly the same and in the range 0,854–0,880. For the first time introduced and defined coefficient of unevenness of the packing layer and compression section of the living. For the layer of the investigated element is defined as the equivalent diameter of the channel in the layer.

УДК 637.1/.5.02:614.48(047.31)(476)

*Приведены результаты микробиологического мониторинга основных контролируемых бактерий *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* на птицеперерабатывающих предприятиях. Определены контрольные критические точки, позволяющие отследить присутствие указанных микроорганизмов на птицеперерабатывающих предприятиях. Установлена устойчивость выделенных штаммов *Listeria monocytogenes* и *Salmonella spp.* к группам дезинфектантов на основе пероксидов, полигуанидидов, надуксусной кислоты.*

ПРОВЕДЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПИЩЕВЫХ ТОКСИКОИНФЕКЦИЙ (*LISTERIA MONOCYTOGENES*, *SALMONELLA SPP.*) НА ПТИЦЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**РУП «Институт мясо-молочной промышленности»,
г. Минск, Республика Беларусь**

*Т.А. Савельева, кандидат ветеринарных наук, доцент, ученый секретарь;
Т.В. Ховзун, заведующий отделом санитарной обработки оборудования и помещений;
А.В. Шах, научный сотрудник отдела санитарной обработки оборудования и помещений;
В.Б. Корако, младший научный сотрудник
отдела санитарной обработки оборудования и помещений*

Ужесточение требований безопасности продукции животноводства и птицеводства заставляет пересмотреть многие методические подходы к вопросам оптимизации контроля над эпизоотическим процессом болезней, возбудителями которых является патогенная и условно-