

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛИВНЫХ НАСАДКОВ РАЗЛИВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ЖИДКОСТЕЙ*

О.А. Борисенко, Ю.Г. Борисенко, **В.А. Костин**

Изложены результаты обзора литературы по проблеме определения расходных характеристик сливных насадков с внутренними трубками для использования в разливающих устройствах для пищевых жидкостей и предложена экспериментальная установка для исследования этого вопроса.

The results of literature review on problems of definitions of flow rate characteristics of over-flow nozzles with internal tubes for use in liquid-filling devices for food liquids are stated. The experimental installation for the research of this question is offered.

В настоящее время значительные объемы производства пищевых жидкостей требуют использования высокопроизводительного разливающего оборудования.

Производительность разливающих машин, в первую очередь, зависит от эффективности работы разливающих устройств, причем, совершенствование разливающих устройств является приоритетным направлением интенсификации процессов розлива.

Разработав метод инженерного расчета, можно будет создать разливающие устройства с прогнозируемым расходом жидкости, повышая тем самым эффективность работы разливающих машин.

Одним из аспектов решения этой проблемы является изучение влияния расходных характеристик на истечение жидкости из внешних насадков разливающего оборудования. С этой целью был произведен обзор отечественной и зарубежной научной литературы.

Результаты исследований А.Д. Альтшуля [1] показывают, что на характеристики истечения через отверстия в тонкой стенке оказывают влияние следующие факторы: напор жидкости над сливным отверстием H ; диаметр отверстия d ; гравитационные силы, характеризуемые ускорением свободного падения g ; расход жидкости Q ; плотность ρ ; поверхностное натяжение σ и вязкость жидкости η .

Анализируя данные экспериментальных исследований, применив метод анализа размерностей и Пи-теорему, автор делает вывод, что критериальные уравнения для коэффициентов истечения можно представить в виде:

$$\mu = f_1 (Re, We, Fr)$$

$$\phi = f_2 (Re, We, Fr)$$

$$\varepsilon = f_3 (Re, We, Fr),$$

где μ -коэффициент расхода; ϕ -коэффициент скорости; ε -коэффициент сжатия; Re -число Рейнольдса равно $dp \sqrt{gH} / \eta$; We -число Вебера $gHdp / \sigma$; Fr -число Фруда H/d .

По утверждению З.И. Геллера, Ю. А. Скобельцына [2,3], характеристики истечения через внешние цилиндрические насадки являются функцией тех же переменных, а также относительной длины насадка l/d . И если остановиться на рассмотрении только коэффициента расхода (для таких насадков $\varepsilon = 1$ и $\mu = \phi$), то критериальное уравнение примет вид:

$$\mu = f(\text{Re}, \text{We}, \text{Fr}, l/d).$$

Расчетные зависимости для определения коэффициентов расхода внешних цилиндрических насадок с острыми кромками в широком диапазоне чисел Рейнольдса и относительных длин приведены в работах Е.З. Геллера, Ю.А. Скобельцына, А.Ф. Комлева, В.И. Ашихмина [4,5,6].

Как показывают опытные данные переход из ламинарного в турбулентный режим при истечении через отверстия и насадки происходит постепенно без резкого изменения коэффициента расхода в критической области.

Несовершенство сжатия потока также влияет на коэффициент расхода. В частности исследования А. Н. Гнедковского, Ю. А. Скобельцына, В. И. Сиова [6,7] показали, что его значение можно определить по зависимости:

$$\mu_{\text{нec}} = \mu + 0,11 e^{-4,3(dc/d - 1,1)},$$

где μ - коэффициент расхода при совершенном сжатии; d_c , d - диаметры сосуда и насадка, соответственно.

На условия истечения жидкости через насадки оказывает влияние форма входа, отличающаяся от острых кромок. В работах А.Ф. Комлева приведена эмпирическая формула для расчета коэффициента расхода цилиндрических насадок, имеющих скругленные кромки:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha} + \varepsilon_{r/d} + \left(0,330 / \text{Re}^{0,25}\right) \left(r/4d + l_0/d\right)},$$

где α - коэффициент неравномерности распределения скоростей по сечению потока;

$\varepsilon_{r/d}$ – коэффициент сопротивления входа;

r/d – относительный радиус скругления кромок;

l_0/d – относительная длина цилиндрической части насадка.

Отмечается также, что даже незначительное притупление входных кромок увеличивает коэффициент расхода и тем существеннее, чем меньше относительная длина насадка.

Форма входа в виде конуса, как и радиальная, также ведет к увеличению коэффициента расхода по сравнению с насадками с острыми входными кромками.

В работах А.Ф. Комлева и Ю.А. Скобельцына [8] приведены формулы для определения коэффициентов расхода для турбулентного и ламинарного режимов.

Результаты исследований показали, что насадки с большей относительной длиной конусной части при малых числах Рейнольдса имеют большие коэффициенты расхода. Также, наибольшие коэффициенты расхода имеют насадки с малой длиной цилиндрической части l_0/d и углом конусности близким к 13° .

На коэффициент расхода оказывает влияние и чистота механической обработки внутренней поверхности насадка. В работах Ю.А. Скобельцына и А.Ф. Комлева приведены экспериментальные зависимости $\mu=f(\text{Re}, R_z/d)$. Авторы рекомендуют обработку с шероховатостью $Rz32$ и выше.

Авторами Г.Э. Лерке, Н.Г. Болдовым, В.П. Свиридовым и др. произведены исследования истечения жидкости под уровень и предложены формулы для определения коэффициентов расхода. [9]

Исследования, проведенные В.Н. Сиовым, показывают, что скорость подхода жидкости к насадку также влияет на коэффициент расхода. В случае быстрого подхода жидкости (внезапного открытия входного отверстия насадка) наблюдается снижение расходных характеристик на некоторый период времени, в последствии же коэффициент расхода принимает нормальное значение.

Анализ публикаций показывает, что не освещен процесс истечения через насадки с концентрично и эксцентрично расположенными внутри насадков трубками, которые часто встречаются в различных гидравлических устройствах.

Для более детального изучения расходных характеристик внешних насадков с внутренними трубками была создана экспериментальная установка. Установка (рис. 1) состоит из цилиндрического бака (1), в который жидкость подается насосом или самотеком из водонапорного бака лаборатории через уравнительную трубу (2) с успокоителем потока (3), уменьшающим возмущения в поступающей жидкости. Изменение уровня жидкости в баке зависит от расхода жидкости дроссельных устройств на отводной линии насоса и на напорной линии водопровода. Уровень также может поддерживаться системой холостых сливов (4). Размеры бака выбраны таким образом, чтобы исключить влияние стенок на истечение через насадки, а для исследования влияния несовершенства сжатия предусмотрены цилиндрические вставки в бак. Напор над сливным отверстием насадка измерялся пьезометром (5) с подвижной шкалой с ценой деления 1 мм.

В нижней части бака выполнено отверстие с резьбой (6) для установки насадков различной геометрической конфигурации (цилиндрические, цилиндрические с конической и коноидальной входной кромкой, конические сходящиеся). В баке с помощью специального винтового соединения (7) закреплены и центрированы внутренние трубки (8), расположенные концентрично относительно выходных отверстий исследуемых насадков. Смещением можно устанавливать необходимый эксцентриситет.

Определение расхода производится объемным способом с помощью тарированной емкости (9), тарировка которой произведена мерным сосудом второго класса точности. Температура измеряется непосредственно в баке нормальным термометром (10).

В качестве основной модельной жидкости для исследований используется вода, смесь вода-глицерин в различных концентрациях. Концентрация водно-глицериновой смеси подбирается таким образом, чтобы вязкость менялась от $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ до $\nu = 3 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $T=20^0 \text{ С}$. Вязкость воды определялась по известной эмпирической зависимости, а вязкость смеси при различных температурах вискозиметрами Убеллоде и Энглера.

Для исследований изготовлены насадки (рис. 2) с различной

конфигурацией входной и проточной частей и внутренние трубки с различными диаметрами. Насадки и трубки выполнены из нержавеющей стали, торцы зашлифованы и их можно считать острыми. Внутренние диаметры насадков 16 – 17,5 мм, внешние диаметры трубок 4 – 8 мм.

Насадки выполнены с различной длиной, что позволяет, варьируя диаметры внутренних трубок, получать большой диапазон относительных длин.

Литература

1. Альтшуль А.Д. Истечение из отверстий жидкостей с повышенной вязкостью // Нефтяное хозяйство, 1950.-№2.-С.55-60.
2. Геллер З.И., Скобельцын Ю.А. Истечение реальной жидкости из внешних цилиндрических насадков при малых числах Рейнольдса // Нефтяное хозяйство, 1963.-№8.-С.62-65.
3. Геллер З.И., Скобельцын Ю.А. Влияние гравитационных и поверхностных сил на коэффициенты расхода внешних цилиндрических насадков // Нефтяное хозяйство, 1963.-№9.-С.65-68.
4. Геллер З.И., Скобельцын Ю.А. Истечение реальных жидкостей из длинных и весьма коротких внешних цилиндрических насадков // Изв. вузов. Нефть и газ, 1963.-№8.-С.77-82.
5. Геллер З.И., Скобельцын Ю.А. Коэффициент расхода внешних цилиндрических насадков при истечении вязкой жидкости // Теплоэнергетика, 1963.-№10.-С.72-74.
6. Гнедковский А.Н., Скобельцын Ю.А. Истечение жидкости через насадки при несовершенном сжатии и малых числах Рейнольдса // Изв. вузов. Нефть и газ, 1977.-№4.-С.73-77.
7. Сиов В.И. Истечение жидкости через насадки (в среды с противодавлением). -М.: Машиностроение, 1968.-140 с.
8. Комлев А.Ф., Скобельцын Ю.А. Истечение жидкости из внешних цилиндрических насадков с конусной формой входа // Изв. вузов. Нефть и газ, 1976.-№11.-С.53-56.
9. Лерке Г.Э., Болдов Н.Г., Свиридов В.П., Шаханов К.В. Истечение жидкости через патрубки под уровень // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1982.-№2.-С.13-15.

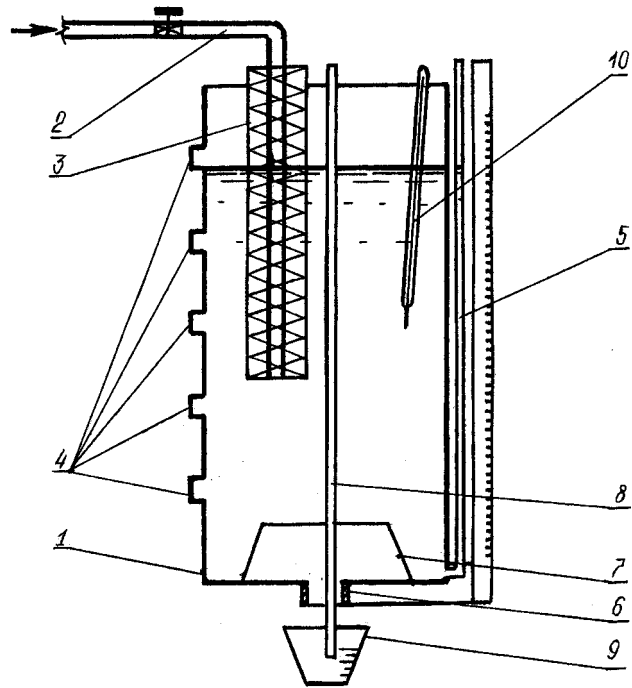


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования расходных характеристик внешних насадков с внутренними тру

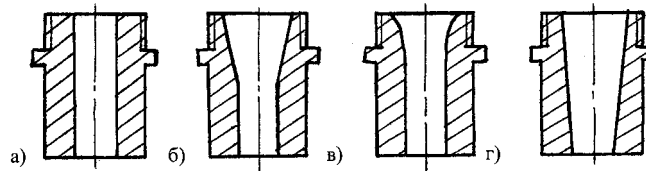


Рисунок 2 – Насадки: а) цилиндрическая; б) цилиндрические с конической входной кромкой; в) цилиндрические с коноидальной входной кромкой; г) конические сходящиеся н