

СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЖИДКОСТНЫХ СТРУЙ ПРИ МОЙКЕ ТАРЫ И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Гладушняк А.К., д-р техн. наук, профессор, Всеволодов А.Н., канд. техн. наук., стар. преп., Малаевский М.В., аспирант, Петровский В.В., инженер
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В статье обоснованы диаметр струи, давление жидкости у входа в насадку, продолжительность действия струи на загрязнение, зависимость площади размыва от давления, диаметра отверстия насадки, времени воздействия струи (шприцевание), угла встречи струи с отмываемой поверхностью и рекомендуемое расстояние от насадки до отмываемой поверхности.

This article provides the basis for the jet diameter, pressure of a liquid at a nozzle, duration of act of a stream on pollution, dependence of the square of washout on pressure, on diameter of an aperture of a nozzle and a time of affecting streams (gun-greasing), on an angle of a meeting of a stream with the surface to be washed, and the recommended distance from a nozzle to the surface to be subjected to washing.

Ключевые слова: насадка, давление жидкости на входе в насадку, диаметр отверстия насадка, шприцевание.

Оптимальный диаметр отверстия насадка

В современных моечных машинах для мойки пищевой герметичной и негерметичной тары, а также растительного сырья процесс силового воздействия струи на загрязнения (шприцевание) в большинстве случаев осуществляется в результате истечения жидкости из цилиндрического насадка, иногда для этой цели используются круглое отверстие в тонкой стенке, коноидальный и конический сходящийся насадки. В некоторых конструкциях моечных машин, особенно для новой стеклянной и жестяной тары используются щелевые насадки.

Диаметры отверстий истечения насадков различных моечных машин колеблются в пределах 2...5 мм. Для мелкой тары диаметр отверстий насадков составляет 2...3 мм, для крупной 3...5 мм, а для крупной оборотной до 8 мм. Выбор диаметров отверстий в насадках при разработке конструкций моечных машин осуществляется обычно произвольно разработчиками конструкций моечных машин.

На рис. 1 показан график зависимости удельной работы (энергии) размыва от диаметра отверстия насадка, где давление является параметром $E_p = f(d_0)$.

Под удельной работой размыва E_p следует понимать отношение энергии, израсходованной на размыв определённого количества загрязнения к соответствующей размытой площади, т.е.

$$E_p = \frac{QP}{F_{раз}}, \quad (1)$$

где P – давление моющей жидкости у входа в насадку, Па; Q – расход жидкости, м³/с.

Из рис. 1 видно, что в пределах экономически целесообразного давления с уменьшением диаметра отверстия истечения уменьшается и удельная работа размыва, т.е. чем меньший диаметр отверстия насадка, тем меньше затраты энергии на размыв единицы площади загрязнения (при определённой толщине пленки загрязнения) и тем рациональнее используется энергия, затрачиваемая на размыв загрязнения. И наоборот, с увеличением диаметра отверстия насадка удельная работа размыва возрастает.

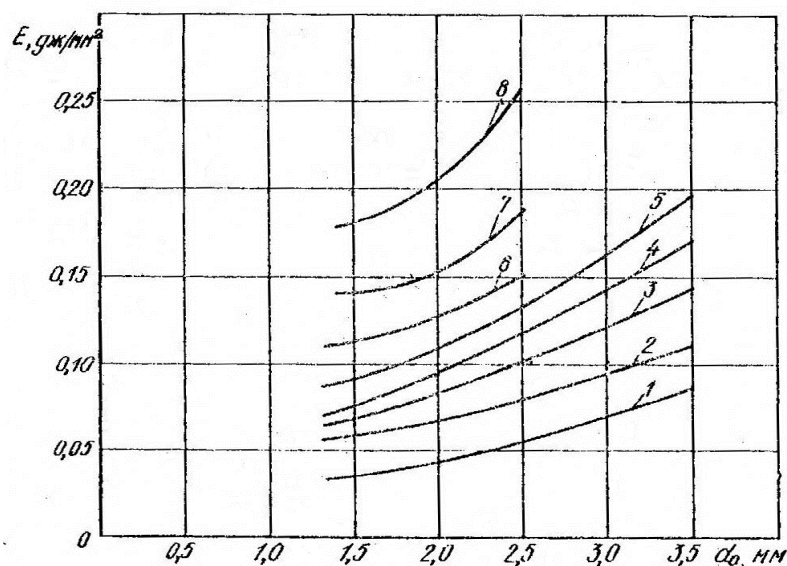
Исследования показали, что диаметры отверстий насадков необходимо использовать в пределах 1,5...2,5 мм. При меньших диаметрах необходима тонкая очистка моющего раствора от загрязнений, которые в процессе мойки накапливаются в моющем растворе. Опыты показали, что через диаметр отверстия насадка может пройти свободно без закупорки гранула загрязнения в три раза меньше, чем диаметр отверстия. Поэтому при малых диаметрах отверстий насадка необходима тонкая очистка моющего раствора, которая характеризуется большими коэффициентами местного сопротивления. Ввиду того, что потеря напора h_n прямопропорциональна коэффициенту местного сопротивления ξ , Па, т.е.

$$h_n = \xi \frac{Pv^2}{2}, \quad (2)$$

то потеря напора, связанна с преодолением сопротивления фильтра тонкой очистки с ячейкой в 1 мм. Очистка моющего раствора фильтрами тонкой очистки значительно увеличивает энергозатраты на процесс шприцевания.

Таким образом, при выборе рационального диаметра насадка необходимо исходить из оптимальных условий процесса шприцевания. С одной стороны, рациональный диаметр отверстия насадка должен быть таким, чтобы затраты энергии на очистку от загрязнения моющего раствора были невелики. С другой стороны струя моющей жидкости при истечении через насадку должна обладать достаточно большой указанной работой размыва.

Из рис. 1 видно, что при увеличении диаметра отверстия насадка с 1,5 мм до 2 мм увеличение удельной работы размыва составляет примерно 30 %, а при увеличении диаметра отверстия насадка до 3,5 мм – 50 %.



1 – $p = 19,6$ кПа; 2 – $p = 39,2$ кПа; 3 – $p = 58,8$ кПа; 4 – $p = 78,4$ кПа; 5 – $p = 98$ кПа;
6 – $p = 117,6$ кПа; 7 – $p = 156,9$ кПа; 8 – $p = 196,1$ кПа.

Рис. 1 – Залежність удельної роботи розмива від діаметра отвору насадка

Ефективність використання насадків з отворами истечения малих діаметрів в межах економічно цілесообразного тиску підтверджується наступним прикладом. Расход через насадку с $d_0 = 2,5$ мм при тиску моющей жидкости у насадку $P = 58,8$ кПа складає $Q = 51,5$ см³/с, а через насадку с $d_0 = 1,5$ мм и том же тиску $Q = 17,5$ см³/с, т.е. по расходу одного насадка с $d_0 = 2,5$ мм відповідає приблизно трем насадкам с $d_0 = 1,5$ мм. Из рис. 2 видно, что при $P = 58,8$ кПа насадка с $d_0 = 2,5$ мм размывает загрязнение на площади $F_{раз} = 281$ мм², а три насадки с $d_0 = 1,5$ мм при том же тиску и расходе моющей раствора размывают загрязнение на площади $F_{раз} = 3 \times 139 = 415$ мм², т.е. площадь размыва во втором случае в 1,5 раза больше.

Давление жидкости у входа в насадку

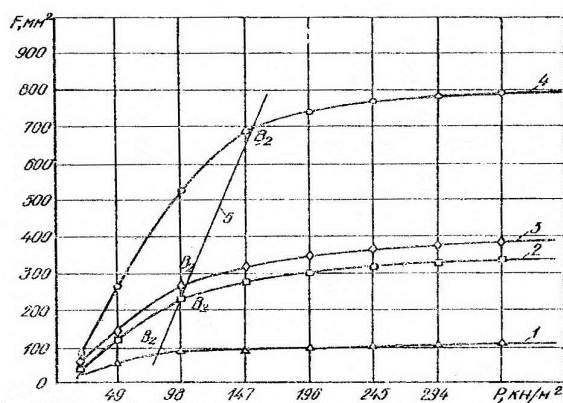
Скорость истечения жидкости из насадка определяется по зависимости:

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2P}{\rho}}, \quad (3)$$

где φ – скоростной коэффициент; P – давление жидкости у входа в насадку, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Из этой зависимости можно сделать вывод, что чем больше давление у входа в насадку, тем большей энергией обладает струя. Возникает вопрос, будет ли площадь размыва увеличиваться пропорционально возрастанию энергии струи или увеличению давления у входа в насадку?

Ответ на этот вопрос даёт график зависимости площади размыва (количества вымытого загрязнения при определенной толщине слоя загрязнения) от давления у входа в насадку $F_{раз} = f(P)$, (рис. 2).



1 – $d = 0,75$ мм; 2 – $d = 1,25$ мм; 3 – $d = 1,5$ мм; 4 – $d = 2,5$ мм

Рис. 2 – График зависимости площади размыва от давления у входа в насадку

Из графика видно, что для насадки каждого диаметра существует оптимальное давление жидкости (точка B_2), выше которого процесс размыва загрязнения вести нецелесообразно.

Величину давления P (кПа), соответствующую точке B_2 можно назвать экономически целесообразной. Эту величину в зависимости от диаметра отверстия истечения можно определить по зависимости

$$P_{э.ц.} = 65,2 + 35,9d_0,$$

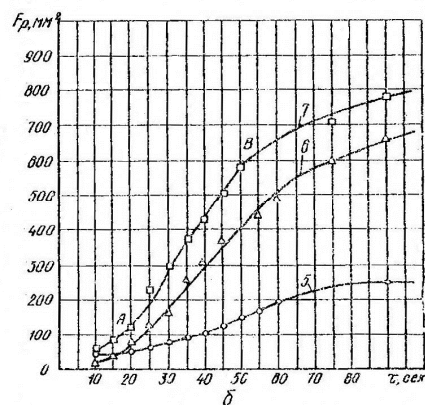
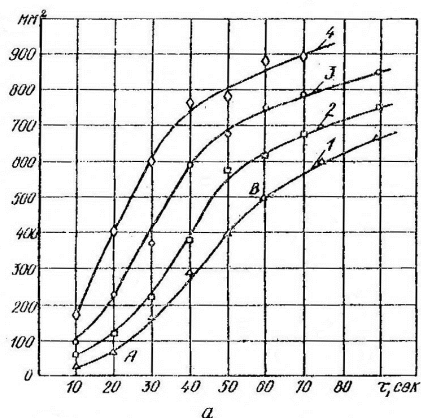
процесс шприцевания рационально вести в пределах экономически целесообразного давления.

Продолжительность шприцевания

В моечных машинах для пищевой тары, особенно стеклянной, и растительного сырья продолжительность одного шприцевания (предварительное и окончательное ополаскивание) составляет от нескольких десятков секунд до 2 минут.

Рациональность продолжительного шприцевания можно определить из графика зависимости площади размыва $F_{раз}$ от времени τ воздействия струи на загрязнение.

На рис. 3 показаны графики зависимости площади размыва от времени воздействия струи при постоянном диаметре отверстия насадки и переменном давлении у насадки $F_a = f(\tau)$ (рис. 3,а) и при переменном диаметре $F_p = f(\tau)$ * (рис. 3,б).



1 – $p = 19,6$ кПа; 2 – $p = 39,2$ кПа; 3 – $p = 58,8$ кПа; 4 – $p = 98$ кПа; 5 – $d = 0,75$ мм;
6 – $d = 1,25$ мм; 7 – $d = 1,5$ мм

Рис. 3 – Графики зависимости площади размыва от времени воздействия струи при постоянном диаметре отверстия насадки и переменном давлении у насадка (а) и при переменном диаметре отверстия насадка и постоянном давлении у насадка (б)

На обоих графиках кривые имеют два перегиба в точках А и В. Перегиб в точке А обусловлен повышенной прочностью слоя загрязнения в начальный период, если процесс размыва загрязнения осуществ-

твляється без отмочки. От точки А до точки В кривые имеют почти прямой участок, на котором скорость размыва загрязнения $\frac{dF}{d\tau}$ почти постоянна и больше, чем на участке до точки А и после точки В.

Если процесс размыва ведется с предварительной отмочкой, то график имеет только один перегиб в точке В и скорость размыва $\frac{dF}{d\tau}$ почти постоянна на всем участке от 0 до точки В.

Из рис. 3 видно, что целесообразная продолжительность шприцевания составляет не более чем 40...60 с, причем с увеличением давления у входа в насадку и диаметра отверстия истечения (в пределах, указанных на графиках) время шприцевания должно сокращаться.

В пределах давления 19...58 кПа и диаметра отверстия истечения 1,25...2 мм участки кривых между точками А и В представляют собой почти прямые линии с угловым коэффициентом, равным единице, т.е. в этих пределах площадь размыва прямо пропорциональна времени воздействия струи.

Зависимость площади размыва от давления, диаметра отверстия насадка и времени воздействия струи

Так как на графике рис. 2 диаметр отверстия является изменяющимся параметром, то на основании данных, по которым построен график, можно установить зависимость площади размыва от давления у входа в насадку и диаметра отверстия истечения в пределах экономически целесообразного давления.

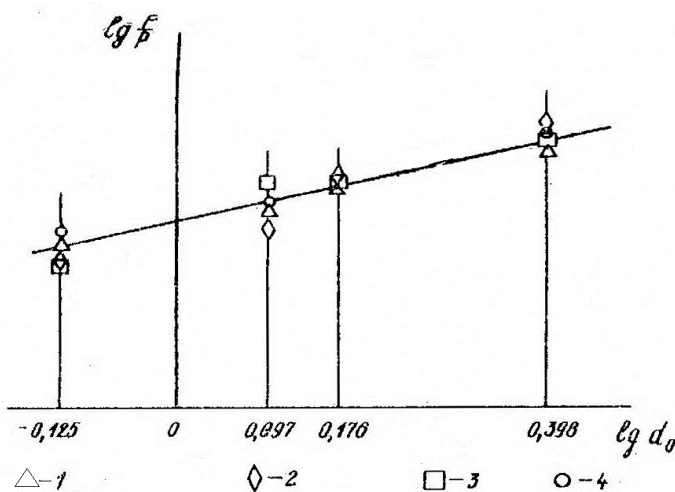
Воспользуемся для этого функциональной зависимостью в логарифмических координатах отношения $\frac{F_{раз}}{P}$ от диаметра отверстия истечения или d_o , т.е.

$$\lg \frac{F_{раз}}{P} = f(P),$$

Графически эта зависимость представляет собой прямую линию (рис. 4) и следовательно,

$$\frac{F_{раз}}{P} = Ad_o^n \text{ или } F_{раз} = APd_o^n, \tag{4}$$

где А и n – постоянные, определяемые экспериментально.



1 – p = 19,6 кПа; 2 – p = 39,2 кПа; 3 – p = 58,8 кПа; 4 – p = 78,4 кПа

Рис. 4 – Логарифмическая зависимость отношения площади размыва к давлению у входа в насадку от диаметра отверстия истечения

Графики, характеризующие силовые свойства моющих струй построены по данным опытов, основанных на использовании модельного загрязнения и фотометрического метода измерения результатов опытов.

Зависимость (4) справедлива для $d_o = 1...2,5$ мм и $P = 58,8...117,6$ кПа. Так следует из рис. 4, тогда зависимость (4) будет иметь вид:

$$F_{раз} = APd_o^{1,3} \tag{5}$$

Постоянная А характеризует связь загрязнения с поверхностью (адгезионные силы), его прочность (силы когезии), толщину слоя.

Из анализа зависимости площади размыва F от диаметра отверстия истечения в пределах экономически целесообразного давления (см. рис. 2) видно, что при $d_o = 1 \dots 2,5$ мм размыв загрязнения происходит эффективно на площади, эквивалентный диаметр которой в 11 раз больше диаметра струи, т.е.

$$d_{эв} = 11d_o$$

Продолжительность размыва этой площади составляет, как уже отмечалось 40...60 с.

Ввиду того, что в пределах давления 19...58 кПа и при диаметрах отверстий истечения 1,5...3 мм площадь размыва практически можно считать прямопропорциональной времени воздействия струи, зависимость (5) можно записать в виде:

$$F_{раз} = APd_o^{1,3} \tau \text{ мм}^2$$

Значение постоянной А для различных загрязнений получено экспериментально и приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Значение постоянной А

Вид загрязнения	Значение А	
	Без отмочки	С отмочкой
Жир животный	$359 \cdot 10^{-5}$	$269 \cdot 10^{-5}$
Сливки	$370 \cdot 10^{-5}$	$144,5 \cdot 10^{-5}$
Вино	$373 \cdot 10^{-5}$	$132,5 \cdot 10^{-5}$
Кефир	$246 \cdot 10^{-5}$	$121,5 \cdot 10^{-5}$
Растительные консервы	$84 \cdot 10^{-5}$	$34,4 \cdot 10^{-5}$

Расстояние от насадка до отмываемой поверхности

Истекающая из насадка струя с отмываемой поверхностью может встречаться, находясь в вертикальном положении и ударять в отмываемую поверхность, находящуюся над струей под углом 90° , в основном при мойке внутренней поверхности тары. Струя может находиться в вертикальном положении, а отмываемая поверхность может образовывать со струей углом 90° . Струя может находиться в горизонтальном положении и встречаться с отмываемой поверхностью под любым углом от 90° до 5° .

Проведённые эксперименты показали, что для разрушения загрязнений необходимо использовать компактный участок жидкостной струи, для рекомендуемых диаметров отверстий истечения, экономически целесообразного давления и рекомендуемого времени шприцевания расстояние от насадка до отмываемой поверхности должно быть от 120 до 400 мм. При расстоянии меньше 120 мм струя будет размывать пятно, примерно равное диаметру струи, а от 120 до 400 мм размываемое пятно равно $11d_o$, из-за сопротивления воздуха энергия струи уменьшается на 50 %.

Угол встречи струи жидкости с отмываемой поверхностью

При любом угле встречи моющей струи с отмываемой поверхностью из насадка в единицу времени истекает одинаковое количество жидкости, поэтому количество вымытого загрязнения остается постоянным в пределах от 90° до 5° . Только при угле меньше 5° струя только частично касается отмываемой поверхности и проходит мимо отмываемой поверхности. Меняется только форма размытой площади от правильного круга до эллипса, большая ось которого с изменением угла в сторону уменьшения удлиняется.

Литература

1. Гладушняк А.К. О мойке консервной стеклотары / Гладушняк А.К. // «Известия вузов. Пищевая технология», – 1962, – № 3, – С. 71–73.
2. Евреинов В.Н. Гидравлика / Евреинов В.Н. – Л. и М.: Издат. министерства речного флота СССР, 1947, – 730 с.