

УДК 621.357.7: 658.52.011.56.012.3](035)

А. Н. Алексеев, В. А. Тарасов

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ НАСАДОК И ОПЕРАЦИЙ СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ В ПРОЦЕССАХ ГАЛЬВАНОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

*Рассмотрены вопросы повышения эффективности операций струйной очистки поверхностей деталей машиностроения в гальваническом производстве. Приведена методика определения конструктивных параметров формируемой насадками структуры эффективных струйных потоков мощней жидкости. Определены размеры зоны струйной обработки.*

В гальваническом производстве (ГП) один из основных путей сокращения расхода моющей жидкости и времени промывных операций — это использование методов струйной очистки поверхностей деталей при их перемещении в вертикальной плоскости относительно водяных форсунок, установленных в несколько рядов на внутренних стенках ванны [1, 2].

Наметившаяся тенденция реализации бессточных систем промывки в ГП [3] делает данное направление весьма перспективным. К настоящему времени в России созданы новые конструкции элементов формирования струй (ЭФС) с модульными наборными панелями (МНП), имеющими параллельные ряды сопловых отверстий конического, коническо-цилиндрического и коноидального (наиболее совершенного в гидравлическом отношении) профиля с выходными диаметрами субмиллиметрового диапазона [4].

Такие насадки позволяют формировать “пакеты” разнорядных параллельных струй различной моющей жидкости (промывная вода, разбавленные растворы обезжиривания, травления и др.) малого (0,6...0,8 мм) диаметра, значительной протяженности и максимальной кинетической энергии, при отсутствии образования “мертвых” зон и взаимогашения струй, что существенно улучшает качество и сокращает время обработки.

На ФГУП “ПО СТАРТ” Минатома РФ прошли экспериментальную и опытно-промышленную отработку методы струйной очистки с ис-

пользованием МНП. В результате выявили, что предлагаемые методы могут обеспечить требуемое по технологии качество очистки поверхностей деталей машиностроения III категории сложности, содержащие глухие, гладкие и резьбовые отверстия малого (1...2 мм) диаметра, узкие пазы и углубления.

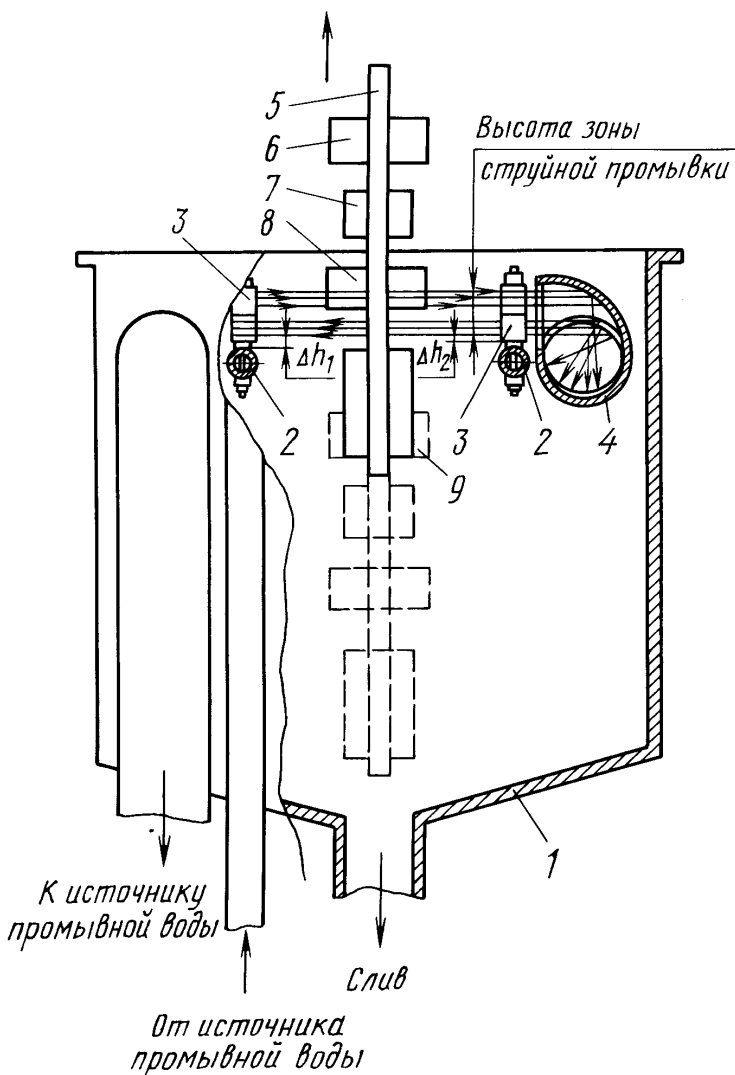
Экспериментально полученные данные свидетельствуют о возможности существенного сокращения расхода моющей жидкости при проведении операций струйной промывки, с обеспечением требуемого по технологии качества последней, на основе методов и технологических средств первичной (пассивного вида) рекуперации промывной воды [4].

Первичная рекуперация моющей жидкости обусловлена “пакетным” способом формирования струй и, как следствие, возможностью их улавливания в процессе струйной промывки (ПСП) для повторного использования. При рекуперации незадействованные в процессе промывки струи моющей жидкости улавливаются с помощью трубопроводов, разомкнутых по длине и высоте зоны струйной обработки и соединенных с соответствующим сборником промывной воды, оснащенный локальной напорной системой (ЛНС). Выход этой системы соединен с распределительным коллектором (РК) с ЭФС соответствующего устройства струйной промывки (УСП). Структурная схема устройства, реализующего разработанный метод струйной промывки деталей на подвесках, приведена на рис. 1 [4]. Кроме того, в работах [4, 5] приведены первые результаты оптимизации конструктивных параметров МНП (рис. 2) и технологических параметров процесса рекуперации моющей жидкости.

Однако более детально рассматривая данные вопросы, пришли к необходимости их уточнения и дальнейшей оптимизации, обусловленных, в частности, погрешностью вычислений оптимальных по высоте МНП из-за смещения центров сопловых отверстий каждого последующего их ряда относительно предыдущего  $\Delta$ , а также априори неизвестным месторасположением поверхностей деталей, размещаемых на подвесках, и “шахматным” расположением МНП на РК.

Кроме того, требуется уточнить и выбор параметров сопловых отверстий самих МНП, не рассмотренный в работе [5], но который весьма важен в случае промывки сложнопрофильных поверхностей деталей, содержащих глухие отверстия и углубления.

В этой связи представим разработанную авторами настоящей статьи методику определения конструктивных параметров формируемой МНП структуры эффективных “пакетов” струй моющей жидкости, включающую несколько этапов.



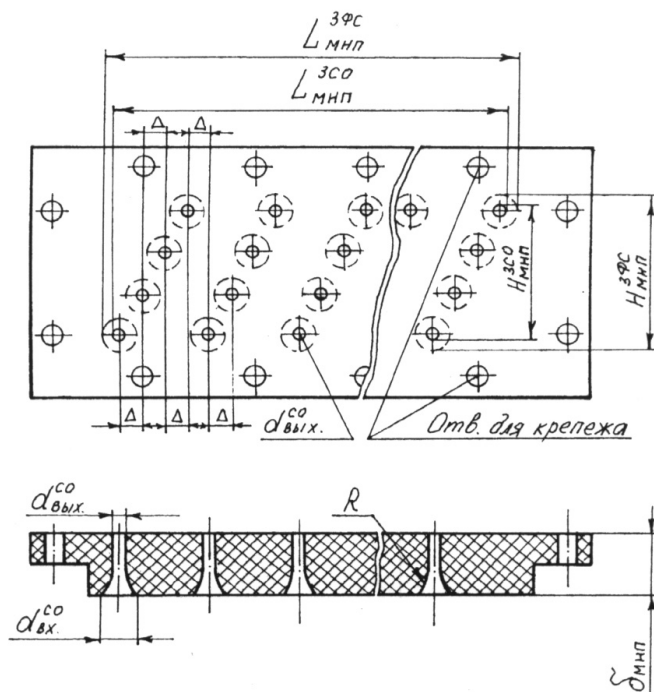
**Рис. 1. Структурная схема устройства струйной промывки:**

1 — корпус ВСП; 2 — РК; 3 — ЭФС; 4 — трубопроводы, разомкнутые по длине и высоте зоны струйной промывки; 5 — подвеска; 6–9 — детали;  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$  — минимальные расстояния от нижней границы струй в “пакете” до поверхности РК и до нижней границы ЭФС на противоположной стенке ванны

На первом этапе, исходя из размеров сечения  $d_{\text{сеч}}$  поднутрений и отверстий на поверхности деталей выбирается диаметр  $d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}$  выходного сечения соплового отверстия (рис. 2). Для этого можно использовать условие

$$d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}} \approx (0,5 - 0,8)d_{\text{с}}.$$

Наибольшая устойчивость струи моющей жидкости обеспечивается на втором этапе проектных расчетов выполнением неравенства



**Рис. 2. Четырехрядная Т-образная модульная наборная панель:**

$L_{\text{МНП}}^{3\text{Фс}}$ ,  $L_{\text{МНП}}^{3\text{СО}}$  и  $H_{\text{МНП}}^{3\text{Фс}}$ ,  $H_{\text{МНП}}^{3\text{СО}}$  — длины и высоты зон формирования струй и струйной обработки МНП, мм;  $d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}}$  — диаметр входного соплового отверстия (СО) в МНП, мм;  $d_{\text{ВЫХ}}$  — диаметр выходного СО в МНП, мм;  $\Delta$  — величина смещения осей выходных отверстий каждого последующего ряда относительно осей выходных отверстий предыдущего ряда МНП, мм;  $\delta_{\text{МНП}}$  — толщина МНП, мм

$d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}} \leq 3d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}$ , где  $d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}}$  — диаметр на входной стороне панели. Условие касания цилиндрического и оживального участков коноидального сопла позволяет связать длину (высоту) оживального участка  $\delta_{\text{ОЖ}}^{\text{СО}}$  с радиусом  $R$  образующей оживальной части:

$$\frac{\delta_{\text{ОЖ}}^{\text{СО}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} \geq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4R}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} \left( \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} - 1 \right) - \left( \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} - 1 \right)^2}, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{ОЖ}}^{\text{СО}} = \delta_{\text{МНП}} - \delta_{\text{Ц}}^{\text{СО}}$ ,  $\delta_{\text{МНП}}$  и  $\delta_{\text{Ц}}^{\text{СО}}$  — толщина МНП и длина цилиндрического участка соплового отверстия в МНП, мм.

Чтобы струя моющей жидкости была устойчива, длина ее цилиндрического участка  $\delta_{\text{Ц}}^{\text{СО}}$  должна быть не менее  $0,1d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}$ , тогда для расчета толщины панели получим следующее условие:

$$\frac{\delta_{\text{МНП}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} > 0,1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4R}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} \left( \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} - 1 \right) - \left( \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{СО}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{СО}}} - 1 \right)^2}. \quad (2)$$

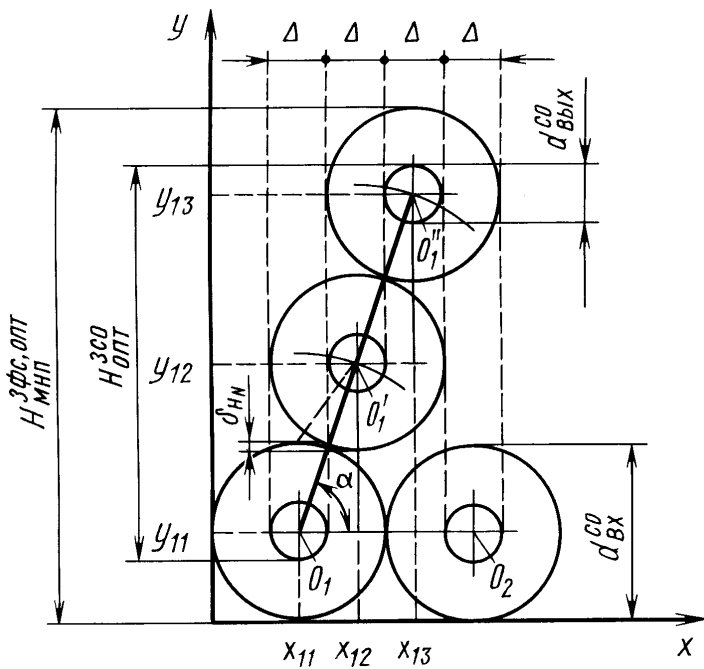


Рис. 3. Схема оптимального расположения отверстий коноидального профиля в модульной наборной панели

Учитывая экспериментальные данные, радиус оживальной части соплового отверстия можно определить с помощью неравенства:

$$R \geq d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}} \left[ 1 + \frac{9 + \frac{1}{4} \left( \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{CO}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}}} - 1 \right)^2}{\frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{CO}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}}} - 1} \right]. \quad (3)$$

При  $\frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{CO}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}}} = 3$  получим  $R \geq 6d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}}$ .

На третьем этапе расчета устанавливают рациональное взаимное расположение сопловых отверстий панели, исходя из условия непрерывности зоны струйной обработки. Для этого в системе координат  $XU$  (рис. 3) принимают, что ряды отверстий панели расположены параллельно оси  $X$ , а перемещение поверхности деталей происходит вдоль оси  $U$ .

Если принять, что ось  $O_1$  отверстия в первом ряду имеет координаты  $x_{11}y_{11}$ , то в соответствии с принципом непрерывности зоны обработки ось  $O_1'$  соседнего отверстия во втором ряду необходимо сместить направо на величину  $\Delta \leq d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}}$ . Ее координата  $x_{12} = x_{11} + d_{\text{ВЫХ}}^{\text{CO}}$ . Ординату этой точки находят из условия касания окружностей входных сечений

отверстий с радиусом  $d_{\text{ВХ}}^{\text{co}}$ :

$$y_{12} = y_{11} + d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}} \sqrt{\left(\frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{co}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}}}\right)^2 - 1},$$

где первый индекс — это номер отверстия в ряду, а второй — ряд сопел.

Используя метод индукции для координат оси отверстия в  $n$ -м ряду, можно записать соотношение

$$\begin{cases} x_{12} = x_{11} + (n-1)d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}}, \\ x_{12} = x_{11} + (n-1)d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}} \sqrt{\left(\frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{co}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}}}\right)^2 - 1}. \end{cases} \quad (4)$$

Минимально необходимое число рядов сопел панели  $N^{\text{co}}$  можно определить из условия, что абсцисса  $x_{1,N+1}$  соответствует абсциссе второго отверстия в первом ряду  $x_{1,N+1} = x_{2,1}$ . Для этого должно выполняться условие

$$x_{1,N+1} - x_{2,1} \geq d_{\text{ВХ}}^{\text{co}}.$$

Тогда, необходимое количество рядов сопел панели определяют с помощью неравенства  $N^{\text{co}} \geq \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{co}}}{d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}}}$ .

Из рис. 3 видно, что интенсивность воздействия струйного потока вдоль оси  $X$  неравномерна — максимальна вдоль вертикальной линии, проходящей через ось соплового отверстия, и минимальна у границы влияния двух струй. Для достижения равномерной интенсивности струйной обработки рекомендуется смещение выбирать из условия  $\Delta \approx 0,82d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}}$ .

В соответствии с уравнением (4) и данными схемы на рис. 3 получим формулы для определения оптимальной высоты (ширины) зоны струйной обработки (ЗСО) и зоны формирования струй (ЗФС), а также угла  $\alpha$  наклона прямой, соединяющей центры соответствующих сопловых отверстий, при  $\Delta = d_{\text{ВЫХ}}^{\text{co}}$ :

$$\alpha < \alpha^{\text{опт}} = \arccos(N^{\text{co}})^{-1}; \quad (5)$$

$$H_{\text{МНП}}^{\text{ЗФС,опт}} = d_{\text{ВХ}}^{\text{co}} \left[ 1 + \frac{(N^{\text{co}} - 1)}{N^{\text{co}}} \sqrt{(N^{\text{co}})^2 - 1} \right]; \quad (6)$$

$$H_{\text{МНП}(N^{\text{co}})}^{\text{ЗСО,опт}} = \frac{d_{\text{ВХ}}^{\text{co}}}{N^{\text{co}}} \left[ 1 + (N^{\text{co}} - 1) \sqrt{(N^{\text{co}})^2 - 1} \right]. \quad (7)$$

Результаты вычислений по формулам приведены в таблице.

## Результаты вычислений по формулам (5)–(7)

$N^{co} = \frac{d_{BX}^{co}}{d_{ВВХ}^{co}}$	$\alpha$	$H_{МНП}^{эфс.опт}$ при $\Delta = d_{ВВХ}^{co}$	$H_{МНП(N^{co})}^{зсо.опт}$ при $\Delta = d_{ВВХ}^{co}$
3	70°31'44"	$(1 + \frac{2}{3}\sqrt{8})d_{ВВХ}^{co}$	$\frac{1}{3}(1 + 2\sqrt{8})d_{ВВХ}^{co}$
4	75°31'21"	$(1 + \frac{3}{4}\sqrt{15})d_{ВВХ}^{co}$	$\frac{1}{4}(1 + 3\sqrt{15})d_{ВВХ}^{co}$
5	78°27'47"	$(1 + \frac{4}{5}\sqrt{24})d_{ВВХ}^{co}$	$\frac{1}{5}(1 + 4\sqrt{24})d_{ВВХ}^{co}$
6	80°24'21"	$(1 + \frac{5}{6}\sqrt{35})d_{ВВХ}^{co}$	$\frac{1}{6}(1 + 5\sqrt{35})d_{ВВХ}^{co}$
7	81°47'12"	$(1 + \frac{6}{7}\sqrt{48})d_{ВВХ}^{co}$	$\frac{1}{7}(1 + 6\sqrt{48})d_{ВВХ}^{co}$
⋮	⋮	⋮	⋮
$N^{co}$	$\arccos(N^{co})^{-1}$	$(1 + \frac{N^{co} - 1}{N^{co}}\sqrt{(N^{co})^2 - 1})d_{ВВХ}^{co}$	$\frac{1}{N^{co}}[1 + (N^{co} - 1)\sqrt{(N^{co})^2 - 1}]d_{ВВХ}^{co}$

Данные таблицы и результаты геометрического построения (см. рис. 3) позволяют сделать выводы, что при  $N^{co} = 3$  и  $\Delta = d_{ВВХ}^{co}$   $H_{МНП}^{эфс}$  и  $H_{МНП(N^{co})}^{зсо}$  достигают оптимальных значений, соответствующих минимально возможным величинам, рассчитываемым по формулам (6) и (7).

Дальнейшее исследование процесса струйной промывки деталей на подвеске показало, что величину  $\Delta$  нужно определять в зависимости от возможного увеличения поперечного сечения струй на различных расстояниях от МНП и от величины аэрированной части струи [4].

С учетом этого, в работе [5] приведены выявленные взаимосвязи между количеством сопловых рядов ( $N^{co}$ ) и величиной  $\Delta$ , а также границы изменения параметров сопловых отверстий МНП, определяющих качество и особенности струйной обработки деталей различной сложности и назначения, полученные в результате экспериментальных исследований и оптимизации.

Задачей четвертого этапа при выборе конструктивных параметров системы формирования струйного потока моющей жидкости является определение рациональной длины МНП.

При расчете экономической эффективности систем струйной промывки важное значение имеет определение типоразмеров МНП, которые характеризуются длиной зоны струйной промывки  $L_{МНП}^{зсо}$ . Их число должно быть минимальным, что сократит затраты на изготовление

пресс-форм для литья панелей под давлением. Длина панелей должна позволять набирать из этих панелей ЗСО любой длины, необходимой для эксплуатации ванны струйной промывки  $L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}$ . Длина  $L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}$  может изменяться в широких пределах в зависимости от числа и габаритных размеров деталей на подвесках. При этом непроизводительный расход моющей жидкости в струях, непопадающих на поверхность деталей, должен быть минимальным.

Анализируя литературные источники и учитывая опыт эксплуатации ванн струйной и погружной промывки, а также результаты исследования [5] одного из авторов настоящей работы, выявили, что все значения  $L_{\text{мпп}}^{\text{зсо}}$  полностью реализуются при наличии только двух размеров длины модульных панелей — 200 и 250 мм. Это минимизирует затраты на создание соответствующих пресс-форм для изготовления модульной наборной панели и расход моющей жидкости.

Другим способом, как указывалось ранее, повышающим эффективность струйной промывки, является шахматное расположение модульных наборных панелей относительно друг друга при реализации конкретного устройства струйной промывки, что, в свою очередь, обеспечивает возможность рекуперации промывной воды.

Для выбора параметров процесса рекуперации (пассивного или в данном случае статического вида) моющей жидкости при проведении операций струйной очистки, введем понятие коэффициента рекуперации струй промывной воды  $K_{\text{р}}^{\text{спв}}$  и представим аналитическое описание операций рекуперации обрабатываемой среды при использовании струйной “пакетной” технологии.

В общем случае для обеспечения необходимой прямолинейности струй моющей жидкости между центрами противоположных ЭФС противоположных РК ( $l_{\alpha=90^\circ}$ ), величину можно  $K_{\text{р}}^{\text{спв}}$  представить в следующем виде:

$$K_{\text{р}}^{\text{спв}} = f(K_{\text{р.констр}}^{\text{спв}}; K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}), \quad (8)$$

где  $K_{\text{р.констр}}^{\text{спв}}$  и  $K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}$  — конструктивный и технологический коэффициенты рекуперации струй промывной воды.

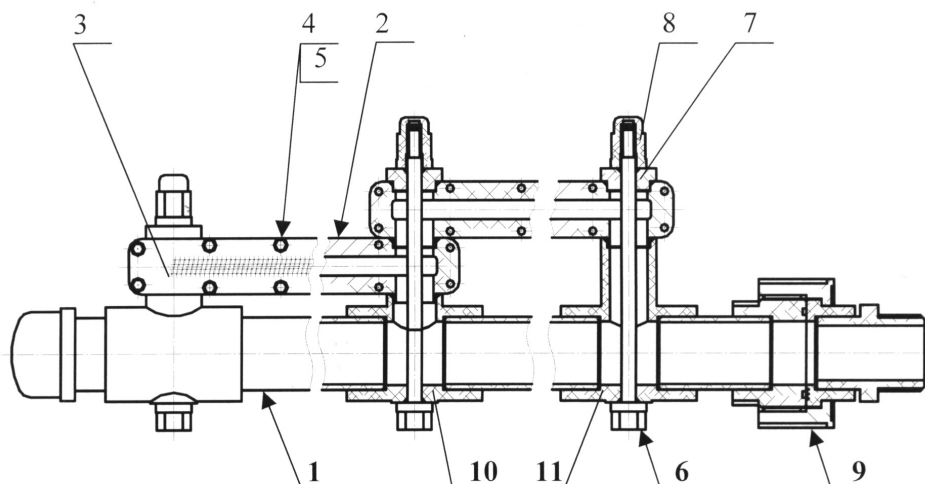
Определим значение  $K_{\text{р.констр}}^{\text{спв}}$ , учитывая шахматное расположение ЭФС над (или под) соответствующим РК (рис. 4).

Для ванны струйной промывки (ВСП), содержащей  $n$  ЭФС на одном РК ( $n_{\text{эфс}}^{\text{рк}}$ ), справедливо следующее выражение:

$$\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} = (n_{\text{эфс}}^{\text{рк}} - 1) \Delta L_{\text{мпп}}^{\text{зсо}}, \quad (9)$$

где  $\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}$  — участок перекрытия ЗСО ВСП, образуемый  $n$  сочленяемыми ЭФС на РК.





**Рис. 4. Распределительный коллектор с элементами формирования струй:**  
 1 — распределительный коллектор; 2 — корпус; 3 — модульная наборная панель;  
 4 — винт; 5 — гайка; 6 — болт; 7 — втулка; 8 — колпачковая гайка; 9 — резьбовая  
 муфта; 10, 11 — переходной тройник

А величину  $K_{р.констр}^{спв}$  можно определить по формуле

$$K_{р.констр}^{спв} = 1 - \Delta L_{всп}^{зсо} / L_{всп}^{зсо}. \quad (10)$$

Величину  $K_{р.технол}^{спв}$ , обусловленную наличием промежутков между деталями, расположенными на подвеске, в момент времени  $t$  ПСП определим по формуле

$$K_{р.технол}^{спв}(t) = L_{всп}^{зсо}(t) / L_{всп}^{зсо}, \quad (11)$$

где  $t$  — время, с;  $L_{всп}^{зсо}$  — длина ЗСО в ВСП в момент времени  $t$ , не перекрытая деталями и длиной  $\Delta L_{всп}^{зсо}$ , м.

При этом возможны различные случаи реализации процесса струйной промывки (ПСП).

1. Отсутствие деталей на подвеске —

$$K_{р.технол}^{спв}(t) = \frac{L_{всп}^{зсо} - \Delta L_{всп}^{зсо}}{L_{всп}^{зсо}} = 1 - \frac{\Delta L_{всп}^{зсо}}{L_{всп}^{зсо}} = \text{const} = K_{р.констр}^{спв}. \quad (12)$$

2. Наличие деталей на подвеске с коэффициентом заполнения  $K$ , в случае когда детали не входят в зону  $\Delta L_{всп}^{зсо}$ :

$$K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) = \frac{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} - \Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} - KL_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}} = \frac{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}(1 - K) - \Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}} = 1 - K - \frac{\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}. \quad (13)$$

С учетом формулы (10) имеем

$$K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) = K_{\text{р.констр}}^{\text{спв}} - K. \quad (14)$$

3. Наличие деталей на подвеске с коэффициентом заполнения, когда детали входят в зону  $\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}$ :

$$K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) = \frac{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} - KL_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}} = 1 - K, \quad (15)$$

где  $K = \frac{\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}$  (в данном случае).

4. Наличие деталей на подвеске с коэффициентом заполнения, когда детали частично (с коэффициентом  $K_1$ ) входят в зону  $\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}$ :

$$K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) = \frac{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} - \Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} - KK_1 L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}} = 1 - KK_1 - \frac{\Delta L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}{L_{\text{всп}}^{\text{зсо}}}. \quad (16)$$

С учетом формулы (10) получим

$$K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) = K_{\text{р.констр}}^{\text{спв}} - KK_1. \quad (17)$$

Принимая во внимание динамический характер реализуемых процессов струйной промывки и априори неизвестное расположение деталей на подвеске, значение интегрированного коэффициента рекуперации струй промывной воды  $K_{\text{р.и}}^{\text{спв}}$  определим как отношение объема (количества) возвращенной на повторное использование промывной воды  $V_{\text{пв}}^{\text{р}}$  к объему (количеству) воды  $V_{\text{пв}}^{\text{нстр}}$ , использованному в ПСП:

$$K_{\text{р.и}}^{\text{спв}} = V_{\text{пв}}^{\text{р}} / V_{\text{пв}}^{\text{нстр}}. \quad (18)$$

Очевидно, что

$$V_{\text{пв}}^{\text{р}} \sim \int_0^{\tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)}} K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} dt; \quad (19)$$

$$V_{\text{пв}}^{\text{нстр}} \sim L_{\text{всп}}^{\text{зсо}} \tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)}; \quad (20)$$

$$\tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)} = H_{\text{подв}}^{\text{дет}} / V_{\text{подв}}^{(\uparrow)}, \quad (21)$$

где  $\tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)}$  — время ПСП деталей на подвеске;  $\tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)} \leq \tau_q^{j,m(\uparrow)}$ ,  $H_{\text{подв}}^{\text{дет}}$  — высота подвески с деталями, м;  $V_q^{j,m(\uparrow)}$  — скорость выгрузки [знак ( $\uparrow$ )]  $q$ -й подвески с деталями  $m$ -го типа по  $j$ -й технологической программе из ВСП, м/мин;  $\tau_q^{j,m(\uparrow)}$  — длительность выгрузки [знак ( $\uparrow$ )]  $q$ -й подвески с деталями  $m$ -го типа по  $j$ -й технологической программе.

Подставив выражения (19) и (20) в формулу (18), получим

$$K_{\text{р.и}}^{\text{спв}} = \frac{1}{\tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)}} \int_0^{\tau_{\text{псп}}^{(\uparrow)}} K_{\text{р.технол}}^{\text{спв}}(t) dt. \quad (22)$$

Результаты тестирования показывают, что теоретически обоснованный метод первичной рекуперации моющей жидкости в операциях струйной промывки обладает высокой эффективностью и позволяет вернуть на повторное использование в соответствующий сборник-дозатор до 50 % промывной воды. Тестирование проведено для коэффициента заполнения подвески деталями равного 0,5 и габаритных размеров подвески с деталями (длина  $\times$  высота) — 600  $\times$  500 мм [4].

Рекомендации по конструктивным параметрам ЭФС нового поколения были изложены в патенте [6] и использованы при их изготовлении методом литья их основных составляющих (МНП, корпуса, соединительных и крепежных элементов) из термопластичных материалов (полиамида, полипропилена, полиэтилена и др.)

В настоящее время на ФГУП “ПО “СТАРТ” Минатома РФ освоен выпуск ЭФС со следующими характеристиками:  $L_{\text{МНП}} = 245$  мм;  $L_{\text{МНП}}^{\text{зсо}} = 200$  мм;  $\Delta L_{\text{МНП}}^{\text{зсо}} = 48$  мм;  $d_{\text{ВЫХ}}^{\text{со}} = 0,6 \dots 0,8$  мм;  $N^{\text{со}} = 1, 2, 4$  и  $d_{\text{ВЫХ}}^{\text{со}} \leq \Delta \leq 2,52d_{\text{ВЫХ}}^{\text{со}}$ , где  $L_{\text{МНП}}$  — длина МНП. Это позволило только в период с 1998 по 2003 гг., реализовать высокоэффективные системы очистки поверхностей деталей на подвесках, для гальванических производств, более чем десяти предприятий приборо- и машиностроения РФ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С п р и н г С. Очистка поверхности металлов: Пер. с англ.; Под ред. Бабикова О.И. – М.: Мир, 1966. – С. 286–289.
2. Х е н л и В. Ф. Анодное окисление алюминия и его сплавов: Пер. с англ.; Под ред. Синявского В.С. – М.: Металлургия, 1986. – 152 с.
3. А л е к с е е в А. Н. Концепции развития и пути создания современного гальванического оборудования // Новые промышленные технологии. – М.: ЦНИИатоминформ, 1997. – Вып. 3 (278). – С. 2–12.
4. А л е к с е е в А. Н. Повышение эффективности технологических операций и функционирования оборудования гальванохимической обработки в условиях автоматизированного гальванического производства // Новые промышленные технологии. – М. – Пенза, 1997. – 189 с.

5. А л е к с е е в А. Н. К вопросу оптимизации конструктивно-технологических параметров высокоэффективных насадков струйной очистки в гальванических производствах // Вестник ТГТУ. Тамбов. – 1999. – Т 5. – № 2. – С. 239–249.
6. Пат. № 246685 (РФ). Способ А.Н. Алексева для изготовления изделия с отверстиями методом литья. – 1995. – Б.И. № 30.

Статья поступила в редакцию 23.06.2003

Андрей Николаевич Алексеев родился в 1951 г., окончил Пензенский политехнический институт. Канд. техн. наук, главный конструктор промышленных систем струйной очистки в ФГУП ПО “Старт”. Автор одной монографии, 26 научных статей, 136 изобретений и патентов РФ.



A.N. Alekseev (b. 1951) graduated from the Penza Polytechnical Institute. Ph. D. (Eng.), chief constructor of industrial systems for jet cleaning in Federal State Unitary Enterprise “Start”. Author of a monograph, 26 publications, 136 inventions and patents of the Russian Federation.

Владимир Алексеевич Тарасов родился в 1946 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Технология ракетно-космического машиностроения” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 научных работ в области технологического обеспечения качества высоконагруженной техники и разработки технологий двойного назначения.



V.A. Tarasov (b. 1946) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School. D. Sc. (Eng.), professor, head of “Technology of Rocket and Space Engineering” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 80 publications in the field of technological support of quality of highly loaded machines and development of dual-purpose technologies.