

Л. В. Фролова\*

## ВЫБОР ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМОВОЧНЫХ ВСТРЯХИВАЮЩИХ МАШИН

*В статье проанализированы существующие способы управления механизмами встряхивания формовочных машин, сформулирована задача оптимального управления процессами встряхивания и получена модель, которая может быть использована в качестве математического описания процесса встряхивания на формовочных машинах.*

**Ключевые слова:** формовочная машина, клапан, механизм встряхивания, оптимальное управление, математическая модель.

### 1. Введение

Встряхивающие и встряхивающе-прессовые формовочные машины до сих пор занимают существенную долю в оснащении формовочных отделений цехов машиностроительных предприятий. Среди их недостатков — сложность получения качественных по уплотнению полуформ. Однако, несмотря на это, машины эксплуатируются, и причиной этого является отсутствие альтернативы приобретения новых формовочных машин с прогрессивными способами уплотнения. Поэтому силы подразделений главного металлурга и главного механика, а также главного конструктора, должны быть направлены на поиск путей совершенствования встряхивающих и встряхивающе-прессовых формовочных машин. Причем, эти усовершенствования должны коснуться, в первую очередь, тех узлов, которые ответственны за управление процессами встряхивания.

Именно поэтому, исследовательская работа, ориентированная на поиск оптимального управления процессами встряхивания с последующими внесениями изменений в конструкцию управляющих элементов, узлов формовочных машин, является актуальной.

### 2. Анализ существующих способов управления и постановка проблемы

Управление процессами встряхивания осуществляется двумя параметрами: высотой встряхивания и частотой ударов встряхивающего механизма. В свою очередь, высоту встряхивания и частоту ударов встряхивающего механизма можно регулировать тремя способами [1]:

- изменением площади поперечного сечения воздухопровода в машину (дросселирование на входе);
- изменением площади выхлопного отверстия (дросселирование на выхлопе);
- изменением величины хода впуска.

По первому способу можно только уменьшить высоту встряхивания и частоту ударов. Осуществляется он либо регулятором давления, либо поворотом крана на воздухоподводящей линии.

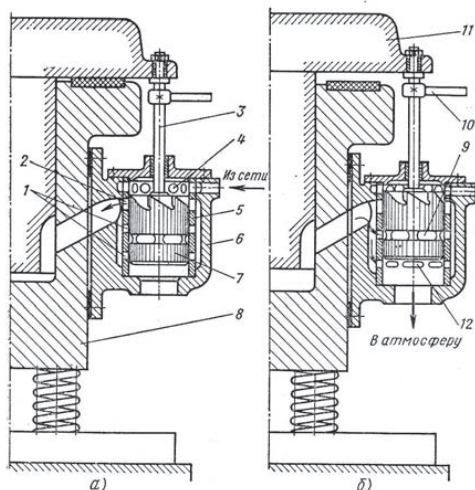
При втором способе регулирования на выпускной линии устанавливают дроссельный клапан, изменяющий площадь выхлопного отверстия. В этом случае с уменьшением площади отверстия повышается высота встряхивания и сила удара за счет задержки воздуха в цилиндре и его расширения.

По третьему способу регулирование осуществляется изменением зазора между регулировочным винтом 1 и плунжером 2 в двухседельном перекидном клапане. С увеличением зазора уменьшается высота встряхивания и увеличивается частота ударов стола. Этот способ может быть реализован только на машинах, у которых воздухораспределение осуществляется с помощью двухседельного перекидного клапана [1].

Конструкции применяемых клапанов машин приведены на рис. 1–3.

Распределитель состоит из стального литого корпуса 6, жестко закрепленного болтами на цилиндре 8, латунной гильзы 5, запрессованной в корпус, золотника 7 и штока 3. Гильза имеет в верхней части по периметру ряд впускных отверстий 4 круглого сечения и ряд щелеобразных, наклоненных под углом  $30^\circ$  к горизонтальной оси впускных отверстий 2, а в нижней части два ряда выпускных щелеобразных отверстий 1. Золотник

\* Работа выполнена под руководством профессора кафедры литейного производства Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Дёмина Д. А.



**Рис. 1.** Встряхивающий механизм с амортизацией ударов и золотниковым воздухораспределением: *а* — нижнее положение поршня; *б* — верхнее положение поршня

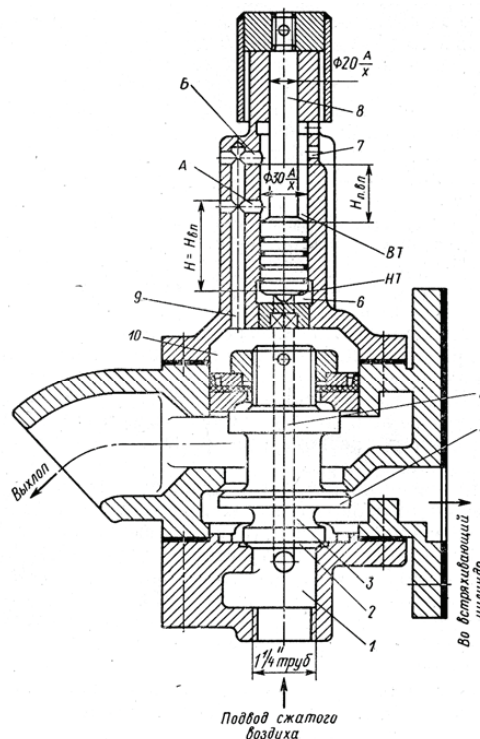
в верхней своей части имеет ряд наклонных прорезей (по числу наклонных прорезей в гильзе) с углом наклона  $30^\circ$ , а в средней своей части ряд выпускных отверстий 12. При неработающей машине наклонные впускные отверстия 2 в гильзе 5 перекрыты корпусом золотника 7.

При пуске машины поворачивают золотник 7 с помощью тяги 10 на некоторый угол, наклонные отверстия 2 в гильзе открываются. Воздух, пройдя через круглые отверстия 4 и наклонные 2, попадает под поршень машины. Поршень со столом 11 поднимается вверх (рис. 1, б) и тянет за собой шток 3 и золотник 7. Наклонные впускные отверстия 2 постепенно закрываются, а по мере движения стола и золотника вверх открываются выпускные отверстия 1 и воздух из-под поршня попадает в атмосферу. Стол падает, а золотник снова открывает впускные отверстия и цикл повторяется.

Основной особенностью данного воздухораспределителя является то, что поворотом золотника на угол от  $0$  до  $45^\circ$  в широком диапазоне изменяется площадь впускных отверстий, тем самым имеется возможность, в зависимости от нагрузки, подавать необходимое количество воздуха в пневмодвигатель. Оптимальный режим работы машины определяется по частоте ударов в период рабочего цикла поворотом штурвала, а от него системой рычагов и тяг поворотом золотника. Такое воздухораспределение, как правило, применяют для крупных машин с амортизацией ударов.

Сжатый воздух, поступающий из воздухораспределителя в нижнюю полость 1, поднимает нижнюю тарелку 2 клапана 3 и устремляется во встряхивающий цилиндр. При этом верхняя тарелка 4 клапана 3 отсоединяет встряхивающий цилиндр от выхлопа. Давлением сжатого воздуха встряхивающий поршень, соединенный с рабочим столом

машины, начинает подниматься, поднимая также и ввернутый в стол винт, за которым следует плунжер 8 (рис. 2), поскольку под его нижний торец НТ в полость Б из полости 1 по нижнему обводному каналу 5, показанному на рис. 2 штриховой линией, подводится сжатый воздух [2].



**Рис. 2.** Схема клапана встряхивания

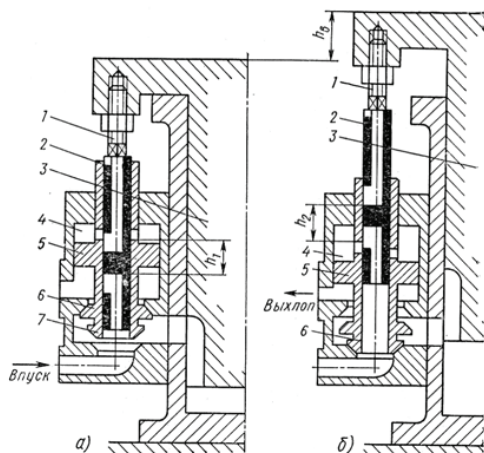
После того как стол машины, а значит, и следующий за ним плунжер 8, поднимется на такую высоту, при которой нижний торец плунжера откроет отверстие А верхнего обводного канала 9, сжатый воздух поступит в полость 10 над поршнем клапана. При этом нижняя тарелка 2 клапана 3 опустится на седло клапана и прекратит впуск воздуха во встряхивающий цилиндр, а верхняя тарелка 4 откроет отверстия для выхлопа. Отверстие Б обводного канала 9 при верхнем положении плунжера перекрыто.

Рабочий стол, движущийся после отсечки впуска по инерции вверх, достигнув верхней мертвой точки, падает вниз, опуская при этом плунжер 8. Верхняя тарелка 4 клапана 3 будет держать открытым выхлопное отверстие встряхивающего цилиндра до тех пор, пока плунжер не перекроет отверстие Б обводного канала 9. Когда верхний торец ВТ плунжера откроет отверстие Б, пространство 10 над поршнем клапана соединится с атмосферой через верхний обводный канал и выхлопное отверстие 7, после чего клапан займет верхнее положение. При этом верхняя тарелка перекроет выхлопное отверстие встряхивающего цилиндра, а нижняя тарелка 2 откроет предварение

впуска при ходе поршня вниз. За величину хода предварения впуска можно принять расстояние от нижнего края отверстия Б до верхнего торца плунжера, когда последний опустился в нижнее положение.

В конце хода рабочего стола вниз происходит удар о соответствующие детали машины, и цикл встряхивания повторяется [2].

Перекидной двухседельный клапан показан на рис. 3 [1].



**Рис. 3.** Встряхивающий механизм с распределением воздуха перекидным двухседельным клапаном: *а* — нижнее положение поршня; *б* — верхнее положение поршня;  $h_в$  — ход встряхивания;  $h_1$  — ход наполнения;  $h_2$  — ход предварения впуска

Нижняя тарелка 7 клапана (рис. 3,а) открывает отверстие, по которому сжатый воздух входит во встряхивающий цилиндр. Верхняя тарелка 6 клапана открывает выхлопное отверстие, сообщающее встряхивающий цилиндр с атмосферой. В нижнем положении встряхивающего поршня 3 клапан давлением сжатого воздуха прижат кверху. Выхлопное отверстие закрыто, а отверстие для впуска воздуха открыто. Встряхивающий поршень 3 со столом поднимается. По мере подъема встряхивающего стола за ним следует плунжер 2, находящийся в клапане. Этот плунжер перемещается вверх под действием давления сжатого воздуха на его нижний торец. Плунжер 2 все время упирается верхним торцом в регулирующий винт 1, ввернутый во встряхивающий стол.

Когда встряхивающий поршень пройдет путь наполнения  $H_г$ , сжатый воздух по нижнему каналу в плунжере попадает в пространство 4 над поршнем 5 клапана, и клапан опустится в нижнее положение, закрыв впускное отверстие и открыв отверстие для выхлопа. При ходе встряхивающего стола вниз (рис. 3,б) клапан будет держать выхлопное отверстие открытым до тех пор, пока пространство 4 над поршнем 5 клапана не сообщится с атмосферой через верхний канал в плунжере. Это произойдет, когда до конца хода останется

некоторое расстояние  $h_2$  (предварение впуска). В этот момент воздух из пространства 4 уйдет в атмосферу, и клапан снова поднимется в верхнее положение, закрыв выхлопное и открыв впускное отверстие.

Данное воздухораспределительное устройство легко регулируется перемещением регулирующего винта 1. При ввертывании винта в корпус зазор между его головкой и плунжером 2 увеличивается, а высота встряхивания уменьшается и наоборот [1].

Анализ описанных выше вариантов конструкций и способов управления встряхиванием позволяет сделать вывод о том, что во всех случаях отсутствует понятие «оптимальное управление» встряхиванием. Поэтому должна быть решена задача поиска путей оптимального управления.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является постановка задачи оптимального управления процессом встряхивания и предложение вариантов ее решения применительно к встряхивающим и встряхивающее-прессовым машинам, использующим описанные выше схемы воздухораспределения и конструкции клапанов.

Для достижения цели исследования, в первую очередь, должна быть решена задача получения математического описания объекта управления.

### 4. Методы исследований и полученные результаты

Для нахождения оптимального управления процессом встряхивания эффективным может быть принцип максимума Понтрягина. Применение этого принципа в задачах литейного производства было описано, например, в работе [3]. Для поставленной задачи принцип максимума позволит найти такое управление процессом встряхивания, при котором объект управления за минимальное время переводится из начального состояния в заданное конечное состояние. Для выбора такого конечного состояния необходим технологический аудит в формовочных отделениях цехов, эксплуатирующих встряхивающие и встряхивающее-прессовые формовочные машины. Целью аудита является выявление фактических значений входных переменных в процессе встряхивания, выборе выходных переменных и обработке производственных данных. Результатом такой работы является получение математических моделей, связывающих входные и выходные переменные, с помощью метода наименьших квадратов [4], последующая оптимизация [5–7] и определение поверхности конечного состояния в выбранном факторном пространстве. Последняя описывает такие соотношения входных параметров, которые обеспечивают заданный уро-

вень выходных переменных [3]. Например, в поставленной задаче исследований в качестве поверхности конечного состояния необходимо выбрать соотношение входных переменных, описываемое номограммой, приведенной в работе [8].

Принципиальная схема объекта управления показана на рис. 4.

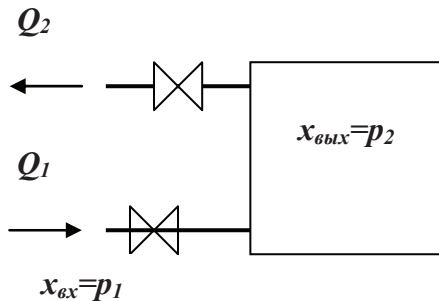


Рис. 4. Принципиальная схема объекта управления

На вход объекта поступает сжатый воздух с давлением  $p_1$ , в камере под встряхивающим поршнем формируется давление  $p_2$ . Расход сжатого воздуха  $Q_1$  регулируется на входе клапаном впуска, отбор сжатого воздуха осуществляется через клапан выхлопа, расход составляет  $Q_2$ .

В соответствии с выбранной схемой, скорость изменения давления в камере под встряхивающим поршнем при постоянной температуре пропорциональна скорости изменения веса газа в камере:

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{RT}{V} \frac{dG}{dt}, \quad (1)$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — температура сжатого воздуха,  $G$  — вес воздуха в камере,  $V$  — объем камеры.

Изменение веса воздуха в камере определяется как разность притока и стока воздуха,  $G_1$  и  $G_2$  соответственно. Последние пропорциональны перепаду давления [9]:

$$G_1 = A(p_1 - p_2)t, \quad (2)$$

$$G_2 = B(p_2 - p_a)t. \quad (3)$$

Если принять  $p_a = 0$  (вследствие избыточности давления), то изменение веса воздуха в камере примет вид:

$$\Delta G = Ap_1t - (A+B)p_2t. \quad (4)$$

Дифференцирование по времени дает:

$$\frac{dG}{dt} = Ap_1 - (A+B)p_2. \quad (5)$$

Подстановкой (5) в (1) получаем искомое уравнение:

$$\frac{dp_2}{dt} \cdot \frac{V}{RT(A+B)} + p_2 = \frac{A}{(A+B)} p_1. \quad (6)$$

Если ввести обозначения:  $T = \frac{V}{RT(A+B)}$ ,  $K = \frac{A}{(A+B)}$  и вместо  $p_1$  и  $p_2$  соответственно подставить  $x_{\text{вых}}$  и  $x_{\text{вх}}$  [9], то получим математическую модель вида:

$$T \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = Kx_{\text{вх}}. \quad (7)$$

Полученная модель является математическим описанием звена первого порядка.

Если учесть, что значение давления на входе пропорционально перемещению золотника (рис. 1) (которое может быть выбрано в качестве управления  $u$ ), то математическая модель объекта управления примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} + k_1x_1 &= k_2x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} &= k_3u, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $x_1 = x_{\text{вых}}$ ,  $x_2 = x_{\text{вх}}$ ,  $k_1 = \frac{1}{T}$ ,  $k_2 = \frac{K}{T}$ ,  $k_3$  — коэффициент пропорциональности, связывающий давление на входе в камеру встряхивания и перемещение регулирующего органа.

Полученная математическая модель может быть использована для расчета оптимального управления клапаном вдува в механизме воздухораспределения формовочной машины.

## 5. Выводы

1. Проанализированы существующие способы управления механизмами встряхивания формовочных машин, что позволило определить как направление модернизации совершенствование конструкции клапанов вдува.
2. Сформулированная задача оптимального управления позволяет применить принцип максимума Понтрягина для решения задачи быстродействия при управлении процессами встряхивания на машинах.
3. Полученную математическую модель процесса встряхивания можно применять как математическое описание объекта управления — процесс встряхивания на формовочных машинах.

## Литература

1. Матвеев И. В. Оборудование литейных цехов [Текст] : учеб. / И. В. Матвеев, В. Л. Тарский. — М. : Машиностроение, 1985. — 440 с.

2. Горский А. Н. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства [Текст] : учеб. / А. Н. Горский. — М. : Машиностроение, 1978. — 551 с.
3. Дёмин Д. А. Синтез систем управления технологическими процессами электродуговой плавки чугуна [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2012. — № 2/10(56). — С. 4–9.
4. Дёмин Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 3/1. — С. 47–50.
5. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 6/1. — С. 48–59.
6. Коваленко Б. П. Оптимизация состава холоднотвердеющих смесей (ХТС) с пропиленкарбонатом [Текст] / Б. П. Коваленко, Д. А. Дёмин, А. Б. Божко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 6/1. — С. 59–61.
7. Дёмин Д. А. Оптимизация технологических режимов [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 2/1(20). — С. 32–35.
8. Фролова Л. В. Выявление резервов энергосбережения на основе технологического аудита работы формовочных встряхивающих машин [Текст] / Л. В. Фролова // Технологический аудит и резервы производства. — 2011. — № 2. — С. 8–13.

## ВИБІР ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ФОРМУВАЛЬНИХ СТРУШУЮЧИХ МАШИН

**Л. В. Фролова**

У статті проаналізовано існуючі способи керування механізмами струшування формувальних машин, сформульована задача оптимального керування процесами струшування і отримана модель, яка може бути використана в якості математичного опису процесу струшування на формувальних машинах.

**Ключові слова:** формувальна машина, клапан, механізм струшування, оптимальне керування, математична модель.

*Лілія Вікторівна Фролова, магістрант кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*

## CHOICE OF WAYS TO IMPROVE DESIGN ELEMENTS OF MACHINES MOULDINGSHAKING

**L. Frolova**

In article analyzes existing methods of control mechanisms shaking molding machines, formulated the problem of optimal process control shaking and obtained a model that can be used as a mathematical description of the process of shaking on the molding machines.

**Keywords:** forming machine, the valve mechanism of shaking, optimal control, mathematical model.

*Lilya Frolova, student of foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*

### Адрес для переписки:

61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21  
 Национальный технический университет  
 «Харьковский политехнический институт»  
 Кафедра «Литейное производство»  
 E-mail: nauka@jet.com.ua