

УДК 621.9.048

## ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТРУЙ

С. В. СТАСЬ, кандидат технических наук,  
Н. Г. ШКАРАБУРА, кандидат технических наук

*Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкассы, Украина*

Представлены физическое и эксэроэнергетическое моделирование системы формирования стационарных и пульсирующих струй. Предложен критерий экономической целесообразности системы формирования струйных потоков

**Ключевые слова:** моделирование, гидравлическая система, эксэргетический метод анализа, критерий оптимальности.

**Постановка задачи исследования.** Обзор конструкций пожарной техники и её элементов, используемых при формировании пожарных струй (стационарных и пульсирующих) [1-3], позволяет сделать предположение, что основными элементами гидравлических схем являются генераторы давления и системы их управления, устройства обеспечивающие создание пульсации потока определенной частоты, регулирующая и подводящая к стволу гидравлическая система и, наконец, сам ствол (рис. 1).



Рисунок - Принципиальная схема системы формирования струйных потоков

Анализ данной несложной системы даст возможность осуществлять оценку гидродинамических параметров струи, оборудования для формирования струи, определить экономическую целесообразность разрабатываемых методов проектирования.

**Предлагаемый подход к решению задачи.** В данной системе взаимодействие функциональных элементов осуществляется с помощью жидкости (воды), из которой формируется струя. Основными характеристиками в системе являются расход  $Q$  и давление  $P$  (при заданных значениях вязкости и температуры).

Анализ рассматриваемых гидравлических систем можно осуществлять с нескольких позиций, таких как функциональная, морфологическая и информационная. Функциональный анализ дает возможность оценить те свойства, которыми система обладает в рассматриваемый момент. При морфологическом описании можно получить представление о системе в целом, при этом на первый план выходит понятие структуры как совокупности элементов и связей между этими элементами (насос – пульсатор; пульсатор – регулятор расхода и т. п.). Причём подобного рода связи могут быть как энергетическими, так и функциональными или связями управления. Наконец, информационное описание позволяет получить представление о зависимости структуры и функциональных параметров от сведений о качестве и количестве внутренней и внешней информации.

Таким образом, выбранный метод системы анализа позволяет соответствующим образом построить модели рассматриваемого процесса, осуществить постановку задачи с описанием проводимых операций, обеспечить решение сформированной задачи.

В соответствии с исследованиями С. И. Пастушенко формальное описание рассматриваемой системы можно представить следующим образом. В некоторый момент времени  $t \in T$  поступает входной параметр в систему  $x(t)$ ; он представляет собой вектор в  $m$ -мерном пространстве входных параметров. В этот же момент времени  $t$  на систему действует какая-то внешняя сила  $V(t)$ , которая описывается  $n$ -мерным вектором в пространстве  $X$ .

При характеристике системы набором внутренних параметров  $X_{\text{внутр}}$  ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ), эти параметры можно рассматривать как вектор в  $k$ -том пространстве.

Если начальное состояние системы обозначить через  $Z_{\text{нач}}$ , то для любого момента времени можно говорить, что система находится в состоянии характеризуемом  $Z(t)$ .

Таким образом, выходные параметры системы в момент времени  $t \in T (t_c > t_o)$  в пределах  $t_o - t_c$  определяются соотношением  $y(t) = F[t, z_o, x(t), X(t), V(t)]$ .

Совершенствование струйной пожарной техники, систем её автоматизации, может привести к дальнейшему развитию и усложнению рассматриваемой системы,

техники. Так как система устанавливается на автомобилях с определенными характеристиками, гидравлическая система может существенно зависеть от этих характеристик (мощность привода насосной станции и т. д.). Все это указывает на то, что возрастает значимость технико-экономических исследований по определению оптимальных параметров и структуры струйного оборудования.

В данном смысле весьма перспективным является эксэргетический метод в исследованиях механических систем струйной техники [4-6].

В эксэргетическом методе анализа есть возможность учесть не только количество, но и качество потоков энергии (потоков, объективно дающих термодинамическую оценку системы). Данный подход является универсальным, так как позволяет сделать оценку использования всех видов энергии, начиная от энергии, подаваемой двигателем автомобиля на пожарную установку до энергии вылетающей струи. По существу, составляется баланс рассматриваемой энерготехнической системы. Метод обладает наглядностью и простотой. Кроме того метод дает возможность осуществлять связь между эксэргетическими и технико-экономическими характеристиками системы.

На основании данного метода существует возможность выбора критериев эффективности при оценке и оптимизации системы гидропривода пожарного оборудования.

Наконец, следует отметить, что данный метод анализирует только ту часть энергоресурсов (поток работы, масса рабочих тел, теплота и т. д.), которая является работоспособной.

Используя первый и второй законы термодинамики можно составить уравнение эксэргии.

Если потери эксэргии, как критерии необратимости процесса [4, 5], определяются по формуле

$$P = T_0 \Delta S_{\Sigma} = 0, \quad (1)$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды, а  $\Delta S_{\Sigma}$  суммарное изменение энтропии ( $P = 0$  – обратимый процесс,  $P > 0$  – необратимый процесс), тогда для реальных процессов справедливо [4, 6]:

$$E_{\Sigma}^{ex} = E_{\Sigma}^{bix} + P \quad (2)$$

$$E^p = E^H + P, \quad (3)$$

где  $E_{\Sigma}^{ex}$ ,  $E_{\Sigma}^{bix}$  суммарные эксэргии всех потоков энергоресурсов на входе и выходе из системы;  $E^p$  – затрачиваемая энергия;  $E^H$  –используемая (полезная) энергия.

Существует ещё и транзитная энергия  $E_k$ , которая является соответствующим «балластом» в суммарных потоках эксэргии на её выходе и входе, т. е.

$$E^p = E_{\Sigma}^{bix} - E^H. \quad (4)$$

Так как эксэргия потока работы  $E_N$  равна самой работе

$$E_N = N = m \cdot e_{mex}, \quad (5)$$

где  $m$  – масса рабочего тела,  $e_{mex}$  – удельная техническая работа, а энергия потока кинетической энергии

$$E_k = \frac{mu^2}{2}, \quad (6)$$

тепловой поток

$$E_\phi = \left( I - \frac{T_0}{T_u} \right) \Phi, \quad (7)$$

где  $T_u$  – среднетермодинамическая температура), то не представляет труда составление уравнения эксэргетического баланса.

Кроме того, из соотношений (2) и (3) можно получить выражение КПД любого процесса, происходящего в устройстве

$$\eta_{ex} = \frac{E^H}{E^P} = I - \frac{\Pi}{E^P}.$$

Так как потоки эксэргии могут быть легко рассчитаны по формулам (5-7) в зависимости от вида потока (работа, теплота, поток массы), то не сложно определить сумму потоков эксэргии на входе и выходе  $E_i^{ex}$  и  $E_i^{6yx}$  для каждого  $i$ -го элемента схемы (рис. 1).

На основании приведенных данных в соответствии с [4] может быть определен термоэкономический критерий оптимальности системы:

$$K_{pz} = \left[ \frac{\sum_n C_n \Pi_n - \overline{K}_n}{\sum_k e_k} \right], \quad (*)$$

где  $C_n, \Pi_n$  – стоимость и годовое потребление энергии из внешних источников;  $\overline{K}_n$  – годовые капитальные и другие затраты в  $n$ -м элементе схемы;  $e_k$  – годовой расход эксэргии для получения  $k$ -го продукта.

Следовательно, задача оптимизации сводится к поиску экстремума рассмотренной функции ( $\min K_{pz}$ ).

По-существу, такой подход к аналитической оценке процессов, происходящих в рассматриваемой схеме, является весьма эффективным.

Среди экспериментальных методов исследования наиболее эффективными являются методы визуализации течения [7-9], которые позволяют получить в ряде случаев достаточно качественную картину течения. Такие методы могут быть как оптическими, так и неоптическими. Среди неоптических методов можно выделить:

пузырьковый, дымовой, краски, запыления, нитей, масляной пленки, искровой. Исследования Д. В. Клатера показали, что в ряде случаев весьма эффективным является пузырьковый метод визуализации, при котором в воду вводится электролит, например сульфат натрия до 15 г/л, для повышения интенсивности образования пузырьков. Этот метод имеет достоинства, связанные с отсутствием загрязнений потока – пузырьки довольно быстро разрушаются поскольку водород растворяется в воде. В качестве электролита можно также использовать раствор йодистого калия в крахмале. В этом случае в результате электролиза образуется йод, благодаря чему суспензия крахмала окрашивается в голубой цвет.

Интересным является метод с использованием флюоресцирующей масляной пленки (плёнка наблюдается в темноте при ультрафиолетовом освещении). Целый ряд интересных методов приведен в работах [7-8].

Заслуживает внимания Шлитон-метод (метод Теплера), заключающийся в том, что отклонение света задерживается на кромке потока, помещенной перед экраном или фотопленкой. Благодаря этому изображение рассматриваемой области течения становится темнее. Одними из первых этот метод использовали А. Р. Медокс и Р. Б. Биндер.

Однако наиболее эффективными являются методы измерения скорости с использованием лазерных технологий, которые позволяют мгновенно регистрировать значения скорости в любой точке потока.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что изучение гидродинамики струйных потоков весьма эффективно с позиции эксэргоегетики, позволяющей осуществлять оценку не только гидродинамических параметров струи и струеформирующего оборудования, но также и экономическую целесообразность разрабатываемых методов проектирования. Экономическая целесообразность может определяться на основании достаточно простого критерия (\*).

### Литература

1. Кравчуновский В.Ф. Пожарные стволы – краткий анализ существующих устройств для распыления жидкости, перспективность использования гидроимпульсных систем. Пожежна безпека, збірник наукових праць. – ЛПБ, № 2. – 2002 р. – С. 73-76.
2. Шкарабура Н. Г., Стась С. В. Основные принципы генерирования импульсных потоков в гидравлических системах // Промислова гідравліка і пневматика № 1 (3) 2004. - С. 25-29.
3. Шкарабура Н. Г., Стась С. В. Особенности пульсационного течения жидкости в цилиндрических насадках // Вісник Черкаського державного технологічного інституту. 2004 - № 2. – С. 68-72.
4. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. 1996 Thermal Design and Optimization, New York: John Wiley & Sons Inc., 1996. – 540 p.

5. Бродянский В. Фратшер В. Милек К. «Эксэргетический метод и его применение», М.: Энергоиздат, 1988. – 288 с.
6. Эксэргетические расчеты технических систем: справочное пособие / Бродянский В. М. Верхивнер Г. П. Карчер Я. Я. и др. Под редакцией Доминского А. А., Бродянского В. М. – К: Наукова думка, 1991. - 360 с.
7. Пэнкхерст Р. Холдер «Техника эксперимента в аэродинамических трубах», М., изд-во ИЛ, 1955. - 668 с.
8. Чжен П. «Управление отрывом потока», М.: Мир, 1979. - 552 с.
9. Шрауб и др. Использование пузырьков водорода для количественного изучения изменяющихся во времени полей скоростей в низкоскоростных водных потоках // Труды амер. общ. инженеров-механиков. 1965, Серия D, № 2, 192 с.

*Поступила в редакцию 25.02.07.*

**Stas S. V., Shkarabura M. G.**

**POSSIBLE METHODS OF ANALYSIS OF SYSTEMS OF HYDRAULIC STREAMS FORMATION.**

The physical and exairenergetic modelling of the system of formation of immobile and pulsing streams is represented. The criterion of economic expediency of the system of formation of stream currents is suggested.