

УДК 614.846.63

ВОЗМОЖНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

Шкарабура Н.Г.*, к.т.н., Пастушенко С.И.*, д.т.н.,

Стась С.В.*, к.т.н., Яхно О.М.*, д.т.н.

* Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, Украина

Рассматриваются одно- и многокритериальные методы оптимизации технических систем, в качестве которых выбраны средства формирования пожарных потоков.

Проблематика исследования. Определение рационально функционирующего оборудования пожарных машин является актуальной технической проблемой, имеющей большое практическое значение. Как известно, основными элементами пожарной техники, устанавливаемой на автомобилях, являются пожарные насосы, гидравлические системы управления, соединяющие трубопроводы, пожарный ствол и обеспечивающее бесперебойную работу энергооборудование [1]. При формировании пульсирующих или импульсных струй большое значение имеет выбор генераторов пульсаций [2]. Применяемые на практике насосы имеют очень ограниченный КПД (от 0,25 до 0,65), а соотношение их продуктивности к массе – 18–32 л/(м·кг). Далее приведен пример насосов со «средними» характеристиками (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики насосов производства Volkan (Турция)

Марка насоса	Максимальная потребляемая мощность, кВт	Производительность, л/мин	Рабочее давление, бар
VFPN 200	58	2000	10
VFPN-H 200	58	2000	10
	82	250	40
VFPN 40	55	400	40
VFPN 400	102	4000	10
VFPN-H 300	75	3000	10
	105	350	40

Основная часть. Стволы, используемые на практике [3], могут быть одно- и многоступенчатыми в большинстве случаев с диаметром на выходе от 10 до 32 мм.

Силовое оборудование (мощность) должно обеспечивать формирование струй с дальностью полета до 80 м, т. е. давление на выходе из ствола может изменяться в пределах $34 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 \dots 59 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$.

Таким образом, в формировании гидравлических струй принимает участие целый комплекс оборудования, для которого возникают проблемы определения наиболее эффективных в функциональном и экономическом отношении параметров используемых технических средств.

При этом обычно принимаются определенные условия (ограничения) в их работе; находится экстремум критерия оптимизации (обозначим его как $\Phi(x)$). Здесь можно воспользоваться следующим подходом.

Если задача оптимизации однокритериальная, то функция $\Phi(x)$ – основной критерий, остальные критерии принимаются как определенные ограничения. Тогда экстремальное значение рассматриваемой функции находится в рамках приведенных ограничений и в определенной области пространства параметров.

Кроме того, возможно, что вместо единственного обобщенного критерия $\Phi(x)$ рассматриваются как исходные несколько показателей $\Phi_1(x)$, $\Phi_2(x) \dots \Phi_n(x)$, которые не полностью определяют характеристики машин или оборудования пожарных машин.

В связи с этим для получения обобщенного критерия $\Phi(x)$ следует воспользоваться соотношением

$$\Phi = \sum_{S=1}^k P_S \Phi_S, \quad (1)$$

где S принимает значения $1, 2 \dots k$,

P_S – весовые коэффициенты, которые назначаются разработчиками машин.

Затем идет путь поиска. Он заключается в следующем. На основании данных о P_{s_0} устанавливается, что полученные значения $\Phi(x)$ и модель машины не соответствуют нашим требованиям.

В таком случае задается новый набор P_{s_i} и снова определяется экстремальное значение x_i , а следовательно; и функции $\Phi(x)$. Этот процесс может продолжаться много раз. При противоречивости предъявляемых к пожарному оборудованию требований окончательное решение возможно на основе компромиссов между Φ_S .

Предполагаем, что имеются n элементов данной установки и возможны m позиций для установки элементов. Кроме того, известна стоимость Π_{ij} назначения i -го элемента на j -ю позицию. Необходимо определить для каждого элемента всего множества элементов объекта (в данном случае гидравлической части оборудования) такую позицию, чтобы общая стоимость размещения всех элементов была бы минимальной. Математическая формулировка задачи по минимизации функций всех перестановок будет представлена в следующем виде:

$$F = \frac{\min \sum \Pi_{iP(i)}}{P(i)}, \quad (2)$$

где $P(i)$ – назначение некоторой позиции i -го элемента.

Можно предложить и другой критерий оптимизации, связанный со стоимостью связи элемента. При этом обращаются к квадратичной задаче о назначениях. Считая, что известна стоимость C_{ij} единицы связи между элементами i и j , которые назначаются на позиции $P(i)$ и $P(j)$. Если расстояние между соответствующими позициями равно $L_{P(i)P(j)}$, тогда следует искать минимизацию выражения:

$$G = \min \sum_{ij} C_{ij} L_{P(i)P(j)} / P(i)P(j). \quad (3)$$

Иногда может стоять более сложная задача, а именно оптимизация по двум указанным выше критериям. В этом случае критериальное представление имеет следующий вид:

$$K = F + G = \frac{\min \left(\sum_i \Pi_{iP(i)} + \sum_{ij} C_{ij} L_{P(i)P(j)} \right)}{P(i)P(j)}. \quad (4)$$

Поиск оптимального варианта размещения элементов объекта завершается, когда рассмотрены все перспективные варианты решения (R_i):

$$R_{opt} = \frac{\min \sum_i \Pi_i = \Pi_m}{[R]},$$

где Π_i – верхняя граничная оценка на данном поиске варианта размещения элементов объекта.

Для следующего типа поиска характерно то, что по мере накопления информации о возможностях разрабатываемой машины усложняется и совершенствуется постановка задачи. При этом с учетом используемой информации некоторые требования ослабляются, другие – усиливаются.

Рассмотрим вопрос многокритериальной оптимизации [4].

Примем, что оптимизируемая функция ϕ может быть записана как

$$\phi = (X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (5)$$

Функция ϕ гладкая, т. е. непрерывная, и имеет производные в каждой точке. Следовательно можно записать:

$$d\phi = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \phi}{\partial X_i} dX_i. \quad (6)$$

Условие экстремума определяется тем, что независимо от выбранной переменной

$$(X_n) d\phi = 0. \quad (7)$$

Принимая во внимание, что не все переменные X_n являются независимыми, следует записать систему уравнений:

$$\begin{aligned} \psi_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0, \\ \psi_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0, \\ &\dots\dots\dots \\ \psi_m(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0, \end{aligned} \quad (8)$$

где m – число уравнений связи,

n – число переменных,

$(n-m)$ – «степень свободы» системы.

Если свобода отсутствует, т. е. все переменные определены, нет смысла рассматривать задачу оптимизации.

Для определения того, какие m являются зависимыми и какие $(n-m)$ независимыми, используется метод Лагранжа. При этом система m -уравнений получит вид

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \phi}{\partial X_i} + \lambda_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial X_i} + \dots \lambda_m \frac{\partial \psi_m}{\partial X_i} \right) dX_i = 0. \quad (9)$$

Поскольку мы имеем n уравнений, можно получить значения m величин λ_i из m уравнений. Оставшиеся $(n-m)$ уравнений вместе с исходными m образуют n уравнений, достаточных для определения n значений X_i .

В последние годы методы эксергоэкономического анализа развиваются на базе теории информации. В этом случае функция распределения вероятностей определяется, используя заданные средние значения величин. При этом используются следующие уравнения: сумма вероятностей, связанных с определенными возможными состояниями, которая всегда должна быть равна единице; математическое ожидание или его среднее значение предполагается известным.

Особый интерес представляет геометрический аппарат оптимизации. Этот метод обладает наглядностью и поэтому удобен для решения оптимизационных задач.

Приведем основы теории S -кривых.

Примем, к примеру, что критерием оптимизации являются затраты эксергии. Функция $Z=f(EX)$ имеет минимумы по отношению к каждой из осей: $EX_{\min}$ и $Z_{\min}$ (рисунок 1).

Оптимальное значение (точка А) может быть определено, предположив линейную зависимость между затратами эксергии ΔEX и затратами ΔZ :

$$\Delta Z = k \Delta EX, \quad (10)$$

где k – капиталовложение на прирост первичной энергии.

При многокритериальной оптимизации используют метод S -поверхностей. На рисунке 2 приведена поверхность, образованная S -кривыми по двухкритериальному анализу: термозэкономике и термозэкологии. При этом проекция экологоэкономики получена как замыкающая между термозэкономикой и термозэкологией.

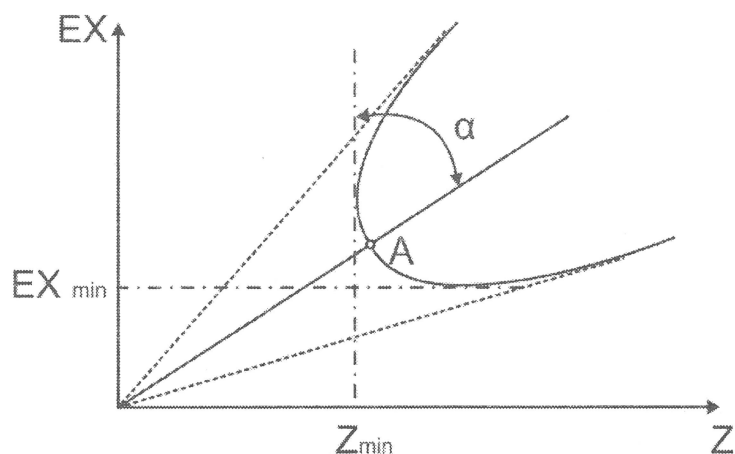


Рисунок 1 – Термoeкономическая модель системы в виде С-кривой

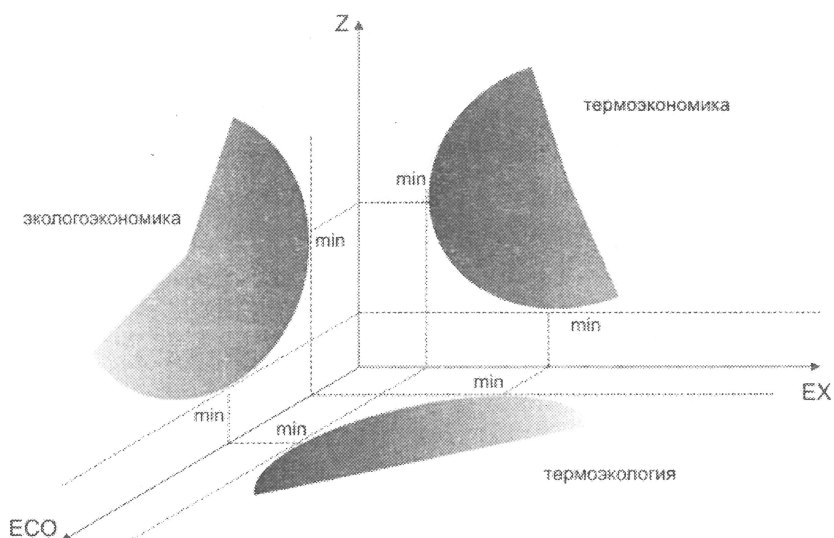


Рисунок 2 – С-поверхность

Выводы. Оптимальное значение методами С-кривых и С-поверхностей может быть определено путем графического дифференцирования в границах рассматриваемого участка или построением касательной к кривым (поверхностям) $\alpha = \arctg k$ и определением соответствующей точки (на рисунке 2 обозначено через min). Графический способ легко переводится в аналитический.

Метод эксергоэкономического анализа и оптимизации изложен в работах [4–6].

В каждом конкретном случае в зависимости от задач исследований выбирается тот или другой метод оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарная техника: учеб. для пожарно-технических училищ: в 2 ч. / А.Ф. Иванов [и др.]; под ред. А.Ф. Иванова. – М.: Стройиздат, 1988. – Ч. 2: Пожарные автомобили. – 286 с.
2. Шкарабура, Н.Г. Основные принципы генерирования импульсных потоков в гидравлических системах / Н.Г. Шкарабура, С.В. Стась // Промислова гідравліка і пневматика. – 2004. – № 1 (3). – С. 25–29.
3. Шкарабура, М.Г. Вступ до гідроструминних технологій: монографія / М.Г. Шкарабура. – Чернігів: РВК «Деснянська правда», 2006. – 192 с.
4. Морозюк, Т.В. Водоаммиачные термотрансформаторы: (теория, анализ, синтез, оптимизация): автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / Т.В. Морозюк; ОГПУ. Одесса, 2001. – 34 с.
5. Пастушенко, С.І. Методи термодинамічного аналізу і термoeкономічної оцінки систем гідроприводів сільськогосподарських машин / С.І. Пастушенко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв: Видавничий відділ МДАА. – 2002. – Вид. 4 (18). – Т. 1. – С. 64–74.
6. Пастушенко, С.І. Методи ексергоeкономічної оптимізації систем гідроприводів сільськогосподарських машин / С.І. Пастушенко, В.В. Нікульшина // Вісник Харківського ДТУСІ «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Харків: Видавництво СПДФО «Червяк В.Є.». – 2002. – Вип. 12. – С. 157–167.

Поступила в редакцию 22 ноября 2006 г.