

УДК 62-82-112.6

МИНИМИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В КАНАЛАХ СОЕДИНИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОГО МОДУЛЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. ПИНЧУК, С. Ф. АНДРЕЕВ, Е. В. ИНОЗЕМЦЕВА

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Введение

Гидроприводы современных машин, как правило, состоят из наукоемких компонентов: нормализованных аппаратов и агрегатов, серийно изготавливаемых специализированными заводами [1]. При создании приводов технологических машин выполняют разработку гидроблоков управления (ГУ), состоящих из соединенных между собой гидроаппаратов согласно принципиальным гидросхемам. В настоящий момент приоритетным направлением в методологии конструирования ГУ является блочный способ монтажа и агрегатно-модульная система его построения. Элементная база агрегатно-модульных ГУ включает: блоки присоединительные, соединительно-монтажные модули (СММ), блоки распределителей и блоки замыкающие [1].

При сборке агрегатно-модульных ГУ присоединительные блоки крепятся болтами к соединительно-монтажным модулям с четырех боковых сторон, а затем модули и блоки распределителей стягиваются между собой замыкающими блоками шпильками, образуя единый пакет. Этот пакет может располагаться или на станции, или непосредственно возле исполнительных механизмов. Блоки комбинируют таким образом, чтобы их каналы обеспечивали минимальные гидравлические потери давления в них. Однако решение этой задачи представляет определенные трудности из-за вариативности структурных решений при конструировании ГУ.

Одна и та же принципиальная гидросхема ГУ может быть реализована в «металл» с помощью различных блоков, каждый из которых имеет цену, массогабаритные и расходные характеристики, т. е. перед конструктором стоит задача выбора из множества вариантов ГУ оптимального. Критерием оптимальности служит минимальная стоимость ГУ при выполнении заданных требований, налагаемых конструкцией гидрофицированной машины.

Оптимальность спроектированного ГУ, как установлено в источнике [2], выражается условием:

$$f(l) = \sum_{i=1}^n gr_i x_i \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n gs_i x_i \supset S; \quad x_i = 0 \vee 1; \quad i = 1, \dots, n,$$

где $f(l)$ – множество вариантов ГУ; g – коэффициент повторяемости; r – стоимость i -го блока; s – состав i -го блока; x – булевы переменные.

Целью инженерного синтеза является поиск структурного решения ГУ, удовлетворяющего условию (1). При этом структура должна отражать расположение элементов в пространстве и их гидравлические соединения между собой, что позволит установить детерминированную логическую связь: ПС → сборочный чертеж ГУ. То есть для каждой новой принципиальной гидросхемы требуется разработка своей модели ГУ. Фактически здесь речь идет о множестве математических моделей, которые названы обобщенными моделями [2].

Основная часть

Стоимость установки i -го компонента, в случае использования его в ГУ, составляет r_i и является комплексным показателем, включающим цену компонента Π_6 , а также затраты на энергию Z_3 при работе компонента в составе ГУ. То есть стоимость установки i -го компонента можно определить [2]:

$$r_i = \Pi_6 + Z_3 = \Pi_6 + \Delta p Q t \Pi_3, \quad (2)$$

где Δp – потери давления, МПа, при расходе рабочей жидкости Q через компонент (л/мин); t – время работы компонента в составе ГУ, ч, определяемое по циклограмме работы гидропривода с учетом годового фонда времени работы машины; Π_3 – стоимость, р., единицы мощности энергии, кВт, за единицу времени.

Затем требуется при заданной принципиальной гидросхеме определить значение S – номенклатуру и количество входящих в ГУ компонентов, а также порядок их соединения, выбрать вариант ГУ минимальной стоимости с обеспечением требований со стороны комплектуемой машины.

Конструкция конкретного ГУ является результатом реализации принципиальной гидросхемы привода в ее материализованное представление – «гидроблок в металле». Здесь принципиальная гидросхема является постановочной задачей, а «гидроблок в металле» – ее решением, поиск которого затруднен, так как устройство элементов агрегатно-модульного монтажа допускает, как было изложено выше, многовариантное исполнение конструкций ГУ.

Построение конструкции ГУ с использованием блоков следует начинать с составления его структурной схемы (СТС) на основе структур элементов [2]. Синтез структурной схемы ГУ проводится в два этапа. На первом этапе отдельные элементные структурные схемы (ЭСС) соединяются между собой с учетом требований по расположению выводов и других ограничений. На втором этапе производится минимизация количества используемых в схеме СММ путем «насыщения» их свободных плоскостей. В результате несколько ЭСС могут быть построены с использованием одного СММ [2]. При этом как первый, так и второй этапы включают работу по определению стоимости множества СТС и постановки их в соответствие условию (1), где принимается решение об использовании унифицированных структур СММ.

Учитывая вышеизложенное, минимизация гидравлических потерь давления в каналах СММ при конструировании ГУ является актуальной задачей, требующей определения структуры каналов СММ, позволяющей выбрать вариант минимальной стоимости его установки, расчет которой можно выполнить по формуле (2).

Методы исследований

Для решения сформулированной задачи рассмотрим конструктивное устройство СММ, представленное схематично на рис. 1. Кроме того, на рис. 1 приведены размеры расположения каналов СММ. Чтобы выполнить расчеты гидравлических потерь давления в каналах СММ при проходе в них рабочей жидкости, введем ин-

дексы отверстий СММ: входа i и выхода j рабочей жидкости, где числа индексов i, j соответствуют номерам коммуникационных каналов (приведенных на рис. 1) и находятся в пределах 9–24. Тогда $i = 9, 10, \dots, 23$, а $j = 10, 11, \dots, 24$. Введенные обозначения и размеры позволяют нам задавать и определять характеристику гидравлических потерь давления в каналах СММ при проходе рабочей жидкости с одной его плоскости на другую и таким образом определять потери давления в соединениях между установленными на СММ гидроаппаратами. Тогда каждое из соединений каналов СММ будет определяться двумя индексами – i, j , что в свою очередь позволит нам установить структуру каналов СММ, обеспечивающую минимальные гидравлические потери давления в соединениях между гидроаппаратами, установленными на боковые плоскости СММ. На рис. 1 нанесена для пояснения трассировка соединения между отверстиями $i = 9$ и $j = 10$.

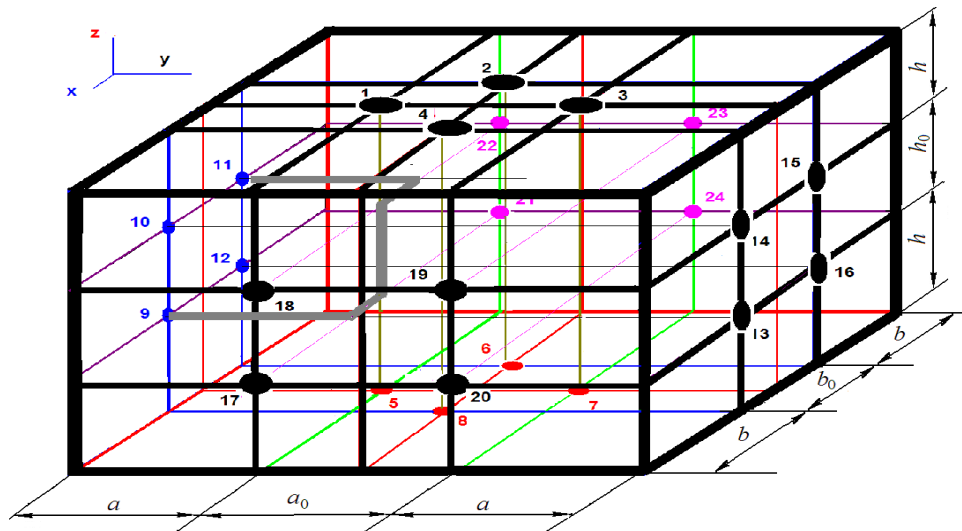


Рис. 1. Конструктивное устройство СММ:
1–8 – магистральные каналы; 9–24 – коммуникационные каналы

На основе анализа рис. 1 можно составить треугольную матрицу структуры каналов, устанавливающую связи между входными i и выходными j отверстиями СММ [формула (3)]. Элементами матрицы являются значения гидравлических потерь давления в каналах СММ.

$$\Delta p = \begin{pmatrix} \Delta p_{9,10} & \Delta p_{9,11} & \Delta p_{9,12} & \dots & \Delta p_{9,22} & \Delta p_{9,23} & \Delta p_{9,24} \\ 0 & \Delta p_{10,11} & \Delta p_{10,12} & \dots & \Delta p_{10,22} & \Delta p_{10,23} & \Delta p_{10,24} \\ 0 & 0 & \Delta p_{11,12} & \dots & \Delta p_{11,22} & \Delta p_{11,23} & \Delta p_{11,24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \Delta p_{21,22} & \Delta p_{21,23} & \Delta p_{21,24} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \Delta p_{22,23} & \Delta p_{22,24} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \Delta p_{23,24} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Гидравлические потери давления в соединениях между гидроаппаратами посредством СММ можно рассчитать при помощи формул (4).

Формулы потерь давления в каналах:

$$\Delta p_{i,j} = \sum_{k=1}^{m_j} \Delta p l_k + \sum_{s=1}^{n_i} \Delta p m_s, \quad (4)$$

где $\Delta p_{i,j}$ – потеря давления в заданном направлении; $i = 9, 10, \dots, 23$ – номера входных отверстий; $j = 10, 11, \dots, 24$ – номера выходных отверстий; m_j – число прямолинейных участков каналов; $\Delta p l_k = \frac{8\rho Q^2}{\pi^2} \lambda \frac{L_k}{d_k^5}$ – потеря давления на трение по длине прямолинейного участка канала; n_i – число местных сопротивлений (поворотов); $\Delta p m_s = \frac{8\rho Q^2}{\pi^2} \xi \frac{1}{dm_s^4}$ – потеря давления на местных сопротивлениях (на поворотах); Q и ρ – расход и плотность жидкости соответственно; λ и ξ – коэффициент Дарси и коэффициент местного сопротивления; l_k – длина прямолинейного участка канала, определяемая по размерам a, a_0, b, b_0, h, h_0 ребер СММ (рис. 1); d_k – диаметр участка коммуникационного канала; dm – диаметр магистрального канала.

Для определения длины l_k прямолинейного участка канала используем размеры СММ (рис. 1). Относительно базового размера a , который примем в расчетах равным 0,08 м, остальные размеры СММ будут находиться из следующих соотношений:

$$b = a, \quad h = 0,8a, \quad a_0 = 0,635a, \quad b_0 = a_0, \quad h_0 = 0,635h.$$

Аналогично задаем относительные значения диаметров каналов:

$$d_k = 0,1a, \quad dm = 0,138a.$$

Для исследования зависимости гидравлических потерь давления в каналах от линейных размеров СММ будем рассматривать безразмерную величину:

$$\Delta \tilde{p}_{i,j} = \Delta p_{i,j} \left(\frac{\pi^2 a^4}{8\rho Q^2} \right). \quad (5)$$

Подставив в (5) зависимость (4), выполним расчеты для $\lambda = 1$ и $\xi = 0,987$ (так как в СММ повороты каналов выполнены под 90°).

Для выполнения минимизации потерь давления в каналах СММ представим полученные расчетные значения в виде графиков (рис. 2).

По горизонтальной оси на рис. 2 отложены индексы j выходных каналов СММ, по вертикальной оси – расчетные значения $\Delta \tilde{p}_{i,j}$ гидравлических потерь давления в каналах в заданном направлении.

Цифры у вершин верхней (нижней) границы области Парето на рис. 2 обозначают номер i входного отверстия, соответствующего максимальному (минимальному) значению потерь давления в канале.

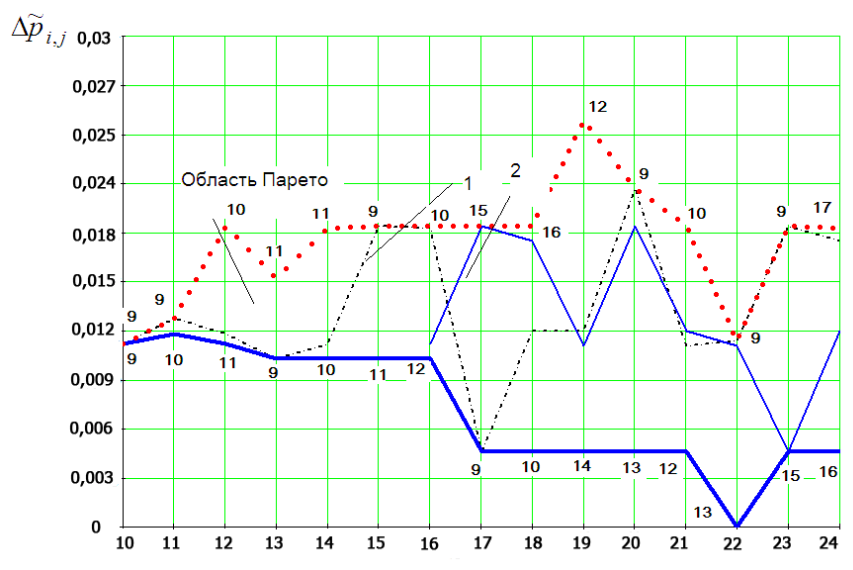


Рис. 2. Гидравлические потери давления при проходе рабочей жидкости в каналах соединительно-монтажного модуля между отверстиями входа i и выхода j :

- 1 – потери давления в канале с входным отверстием $i = 9$;
- 2 – потери давления в канале с входным отверстием $i = 15$

Заключение

Использование полученных результатов минимизации гидравлических потерь давления в каналах СММ позволяет находить оптимально компромиссные решения при построении СТС и таким образом оптимизировать агрегатно-модульные ГУ технологического оборудования по структуре и параметрам.

Литература

1. Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования : метод рекомендации / А. Я. Оксененко [и др.]. – М. : НИИМАШ, 1985. – 77 с.
2. Пинчук, В. В. Обобщенные модели гидроблоков управления / В. В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 2. – С. 58–63.
3. Модульный монтаж гидравлических приводов / А. Я. Оксененко [и др.] ; под общ. ред. А. Я. Оксененко. – М. : НИИМАШ, 1979. – 38 с.
4. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2008. – 510 с.
5. Hydraulic components for industrial applications. RE 00112-05/11.05 Replaces: 04.03 / Rexroth Bosch Group, 2005. – 1136 s.
6. Hydraulic components for industrial applications. RE 00112-05/11.05 Replaces: 04.03 / Rexroth Bosch Group, 2005. – 1120 s.
7. Duplomatik Hydrauliks. Technical Information: Duplomatik, 1987. – 168 s.

Получено 22.11.2016 г.