

УДК 62-82-112.6(083.13)

В.В. Пинчук

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Получены значения критерия оптимальности монтажного корпуса гидроблоков управления (ГУ), позволяющие выполнить параметрический синтез ГУ с учетом условий эксплуатации машины и количества гидроаппаратов в гидросхеме привода.

Ключевые слова: гидроаппараты, технологические машины, гидроблоки управления, параметрический синтез.

Гидравлические приводы широко применяются в системах управления и автоматизации современных технологических машин (металлорежущие, деревообрабатывающие станки, гидравлические прессы). При этом гидравлические приводы, как правило, состоят из наукоемких компонентов - нормализованных аппаратов и агрегатов, серийно изготавливаемых специализированными заводами [1].

При создании гидроприводов технологических машин разрабатывают гидроблоки управления (ГУ), состоящие из соединенных между собой гидроаппаратов (согласно принципиальным гидросхемам). Разработкой ГУ занимаются специализированные проектные организации, фирмы-изготовители гидравлических компонентов, конструкторские подразделения, созданные практически на каждом машиностроительном предприятии. Затраты на создание ГУ, как правило, многократно превышают стоимость используемых при разработке гидроаппаратов. ГУ являются сложной и дорогостоящей подсистемой гидроприводов технологического оборудования, вследствие чего проблема повышения их эффективности актуальна для любого машиностроительного предприятия.

Полагают, что переход к агрегатно-модульному конструированию, заключающемуся в использовании при проектировании унифицированных по присоединительным размерам модулей и гидроаппаратов, позволит улучшить выходные показатели создаваемых ГУ и повысить качество разработок [2].

Постановка задачи. Для того чтобы определить требования к проектированию компонентов агрегатно-модульных ГУ, используем применяющийся в системотехнике подход, именуемый «синтез и оптимизация систем» [3, с.7]. При этом синтез подразделяют на две задачи: синтез структуры проектируемых систем (структурный синтез) и выбор численных значений параметров компонентов систем (параметрический синтез). Эти задачи относятся к области принятия проектных решений [3, с.7].

С целью решения задачи синтеза структуры проектируемых ГУ рассмотрим возможность построения обобщенной структуры инвариантных агрегатно-модульных ГУ с использованием структур компонентов, полученных в работе [4]. Соблюдая пространственную ориентацию структур компонентов последовательно изобразим структуры замыкающих блоков, универсальную структуру и структуру узла реверса, располагая их друг над другом в вертикальном направлении (рис. 1). В этом случае обобщенная структура будет иметь тесную аналогию с реальной конструкцией ГУ, что существенно упростит разработку сборочных чертежей инвариантных агрегатно-модульных гидроблоков управления. Приведенная на рис. 1 обобщенная структура ГУ является универсальной для построения различных вариантов принципиальных гидросхем, а конкретное исполнение может быть получено путем удаления «лишних» элементов (вершин и ребер графов) в процессе синтеза структурной модели ГУ. Используя полученные в работе [4] конструктивные схемы компонентов и универсальную структуру ГУ (рис. 1), изобразим произвольный вариант компоновки гидроблока управления (рис. 2).

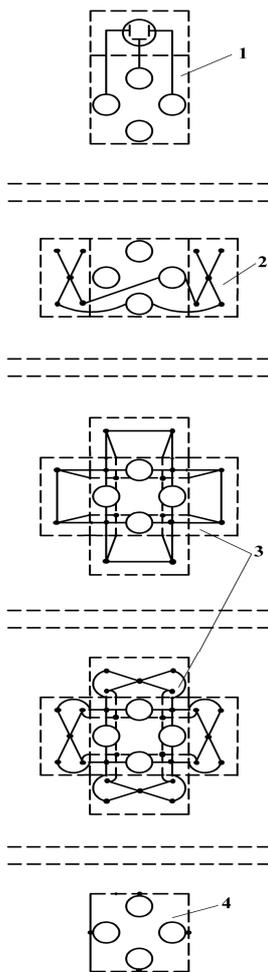


Рис. 1. Универсальная структура ГУ: 1 – структура замыкающего блока переключателя манометра; 2 – структура узла реверса; 3 – универсальная структура агрегатно-модульных ГУ; 4 – структура замыкающего блока подвода

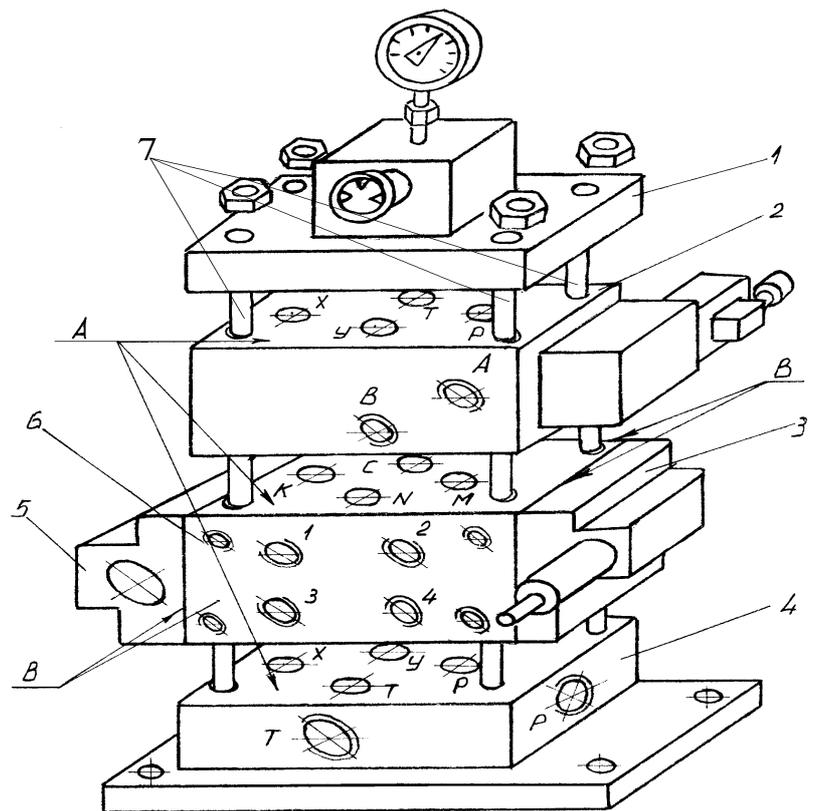


Рис. 2. Гидроблок управления: 1 – замыкающий блок переключателя манометра; 2 – блок распределителя; 3 – присоединительный блок; 4 – замыкающий блок подвода; 5 – присоединительный блок; 6 – соединительно-монтажный модуль; 7 – стяжные шпильки; А – горизонтальные плоскости блоков; В – вертикальные плоскости блоков

Очевидно, что собираемость ГУ достигается в случае совпадения присоединительных размеров компонентов (замыкающих блоков, блока распределителя, присоединительных блоков и соединительно-монтажного модуля). Как показывает анализ рис. 2, присоединительные размеры различных блоков должны совпадать при их монтаже в ГУ по ориентированным плоскостям: горизонтальным А и вертикальным В. По плоскостям А соединяются между собой замыкающие блоки (БЗ), блоки распределителей (БР) и соединительно-монтажные модули (СММ), по плоскостям В – СММ и гидроаппараты (присоединительные блоки, БП). Обе эти плоскости присутствуют только на СММ и создают его форму, в то время как остальные блоки имеют по одной плоскости – либо А, либо В. Фактически разработка и обоснование геометрических параметров СММ позволяет выполнить проектирование всей гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ (СММ, БЗ, БР, БП).

Для того чтобы выполнить параметрический синтез агрегатно-модульных ГУ, проанализируем причины, препятствующие оптимальному проектированию входящих в ГУ компонентов. Установлено [4], что адекватное реальности описание проблемы оптимального конструирования ГУ содержит совокупность признаков совершенства входящих в ГУ функциональных блоков (компонентов). При этом одновременное обеспечение наилучших значений всех показателей блоков недостижимо.

В связи с этим совокупность признаков совершенства входящих в ГУ компонентов, определяемых как наилучшие значения их параметров, запишем в следующем виде [5]:

$$t_1(x) \rightarrow \text{extr}; \quad t_2(x) \rightarrow \text{extr} \dots t_m(x) \rightarrow \text{extr}, \\ x \in D \quad \quad \quad x \in D \quad \quad \quad x \in D$$

где $t_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) - показатели качества компонентов (вес, трудоемкость изготовления, энергетические характеристики, надежность и т.п.); x - вектор управляемых переменных; D – множество допустимых вариантов проектируемой конструкции (т.е. конкретное значение x , определяемое некоторым числом ограничений). Тогда задача многокритериальной оптимизации ГУ может быть записана следующим образом [5]:

$$T = \{t_1(x), t_2(x), \dots, t_m(x)\} \rightarrow \text{opt} \\ x \in D$$

$$\text{при } t_i(x) \rightarrow \text{extr}, i = 1, 2, 3, \dots, m,$$

где T - набор показателей качества компонентов, входящих в ГУ; opt - оператор оптимизации, подлежащий идентификации в процессе решения задачи.

Также установлено [4], что для выполнения параметрической оптимизации ГУ необходимо учитывать объем ГУ и его массу, гидравлические потери давления в системе (энергетические характеристики), трудоемкость и стоимость изготовления. Очевидно, что эти требования должны быть распространены и в отношении каждого из компонентов агрегатно-модульных ГУ.

Таким образом, оптимизация параметров СММ на основе перечисленных критериев (объем и масса, гидравлические потери давления, трудоемкость и стоимость изготовления) позволяет выполнить параметрический синтез агрегатно-модульных ГУ.

В работе [4] приводятся формулы для расчета размеров соединительно-монтажного модуля агрегатно-модульных ГУ, что позволяет выполнить проектирование компонентов гидроаппаратов. Однако на оптимальность конструкции СММ, определяемой объемом V , площадью наружной поверхности S и гидравлическими потерями давления Δp , оказывают влияние соотношения диаметров d и d_3 магистральных (М, N, К, С на рис. 2) и коммуникационных каналов (1, 2, 3, 4 на рис. 2). Это связано с тем, что принципиальные гидросхемы приводов могут содержать от 3 до 30 гидроаппаратов, а на боковые грани СММ можно установить их только 4, из-за чего при конструировании инвариантных ГУ может потребоваться соединительно-монтажный корпус, включающий от 1 до 8 СММ. В связи с этим целью настоящего исследования является разработка общего критерия оптимальности СММ, на основе которого можно получить рациональные соотношения размеров СММ для различных условий эксплуатации гидропривода.

Методы исследований. Для того чтобы определить оптимальные соотношения диаметров d и d_3 в СММ, используем общий критерий оптимальности СММ [6]:

$$\begin{aligned} x = & \frac{c_1}{18d^2d_3} (d(1+2k\sqrt{\frac{P_{ном}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3)^2 (k_1d_3(1 + \sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta + \\ & + 2\sqrt{0,25d_3^2(k_1^2 + 2k_1^2\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} + 2k_1\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3(k_1\Delta + k_1\Delta\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} + k_1\Delta_2\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} - \Delta_2) + \Delta^2 - \Delta_2^2}) + \\ & + \frac{c_2}{6d_3d} (d(1+2k\sqrt{\frac{P_{ном}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3)(k_1d_3(1 + \sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta + \\ & + 2\sqrt{0,25d_3^2(k_1^2 + 2k_1^2\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} + 2k_1\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3(k_1\Delta + k_1\Delta\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} + k_1\Delta_2\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} - \Delta_2) + \Delta^2 - \Delta_2^2}) + \\ & + \frac{c_3}{2d_3} (k_1d_3(1 + \sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta + \\ & + 2\sqrt{0,25d_3^2(k_1^2 + 2k_1^2\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} + 2k_1\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3(k_1\Delta + k_1\Delta\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} + k_1\Delta_2\sqrt{\frac{P_{ном}}{[\sigma_1]}} - \Delta_2) + \Delta^2 - \Delta_2^2}) + \\ & + \frac{c_4}{3d} (d(1+2k\sqrt{\frac{P_{ном}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3). \end{aligned} \tag{1}$$

Отметим, что в формуле (1) значения коэффициентов важности критериев $c_1 - c_4$ будут разными применительно к машинам с различными условиями эксплуатации. Так, для стационарных машин они назначаются исходя из приоритетов стоимостных затрат на металл и электроэнергию, а для мобильных машин более весомое значение имеют объем V и площадь наружной поверхности S . Кроме того, общий критерий оптимальности x соединительно-монтажного модуля содержит совокупность частных параметров одного СММ, а в ГУ их может быть от 1 до 8, в связи с чем будут изменяться и соотношения диаметров магистральных и коммуникационных каналов СММ. Общий критерий оптимальности (1) лишь сужает допустимое множество вариантов проектируемой конструкции соединительно-монтажного корпуса, задавая в нем множество компромиссно-оптимальных проектов – область Парето. Однако эта область имеет слишком много вариантов, поэтому для выбора оптимального нужна дополнительная информация, позволяющая учитывать опыт конструктора при назначении критериальных ограничений.

Если зафиксировать размер диаметра d_3 , то вариации индексов переменных J и K , определяющих изменения коэффициентов важности параметров $c_1 - c_4$ при исследовании критерия оптимальности СММ x , позволят получить области оптимальных значений коэффициентов важности параметров $c_1 - c_4$. Результаты таких исследований приведены на рис. 3.

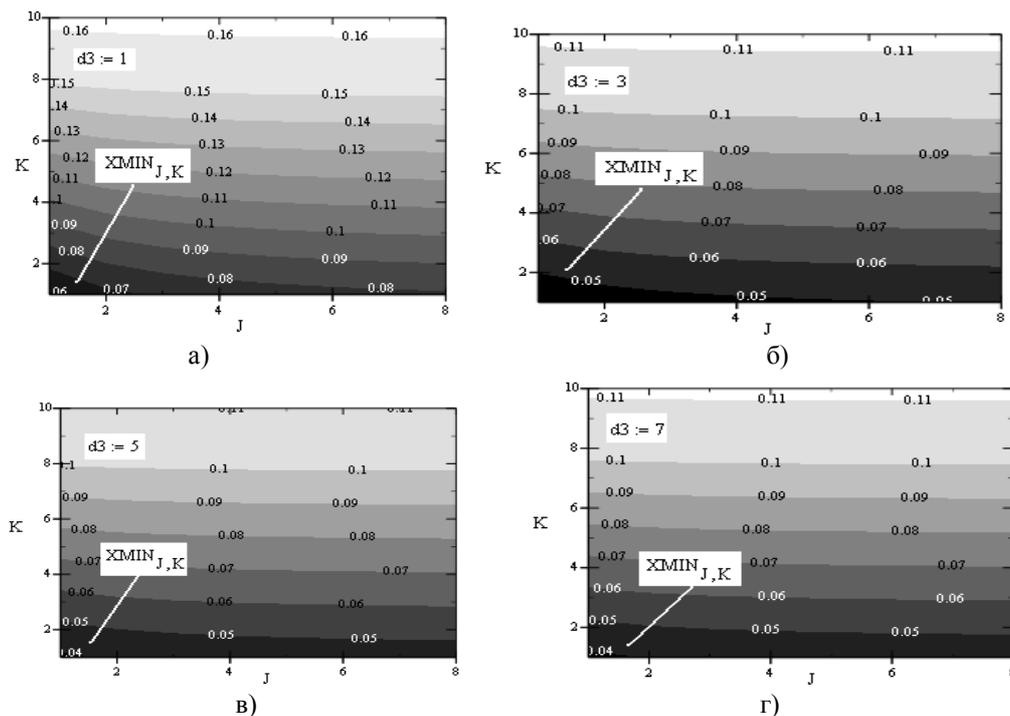


Рис. 3. Зависимость критерия оптимальности СММ x от коэффициентов важности критериев $c_1 - c_4$ при фиксированных значениях диаметра d_3 и вариациях индексов переменных J и K : а - $d_3 = 1$ мм; б - $d_3 = 3$ мм; в - $d_3 = 5$ мм; г - $d_3 = 7$ мм

Очевидно, что оптимизировать параметры соединительно-монтажного корпуса ГУ возможно на основе исследования значений x в выражении (1), используя в качестве варьируемых параметров коэффициенты важности критериев $c_1 - c_4$ и соотношения диаметров d/d_3 .

Таким образом, параметрический синтез агрегатно-модульных ГУ может быть выполнен на основе исследований общего критерия оптимальности СММ при учете условий эксплуатации технологической машины и количества гидроаппаратов, в гидросхеме привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2004. – 510 с.
2. Красневский, Л.Г. Роль наукоемких компонентов в машиностроении /Л.Г. Красневский // Современные методы проектирования машин. – 2004. – Т. 1. - Вып. 2. - С. 47-50.
3. Норенков, И.П. Автоматизированное проектирование / И.П. Норенков. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. – 188 с.
4. Пинчук, В.В. Расчет и конструирование агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования / В.В.Пинчук, В.К.Шелег. - Гомель: ГГТУ им.П.О.Сухого, 2010. – 270 с.
5. Почтман, Ю.М. Модели и методы многокритериальной оптимизации конструкций / Ю.М. Почтман. – Днепропетровск: Днепропетр. ун-т, 1984. – 132 с.
6. Пинчук, В.В. Алгоритм проектирования системы компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин /В.В.Пинчук, В.К.Шелег, С.Ф.Андреев, Д.Г.Ворочкин // Вестн. ГГТУ им.П.О.Сухого. – 2013. - №2. - С. 25-30.

Материал поступил в редколлегию 12.04.15.