

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 автоматике 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).

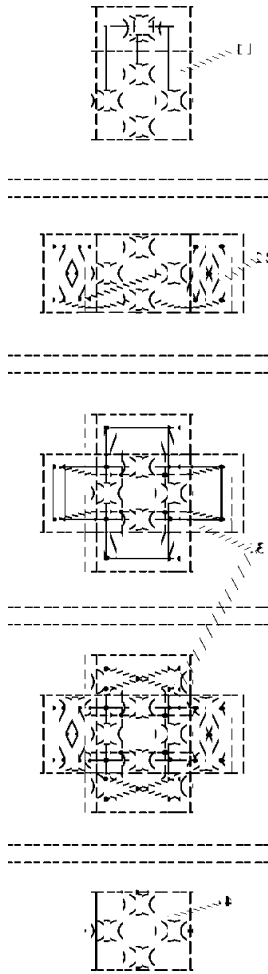


Рис. 1. Универсальная структура ГУ: 1 – структура замыкающего блока переключателя манометра; 2 – структура узла реверса; 3 – универсальная структура агрегатно-модульных ГУ; 4 – структура замыкающего блока подвода

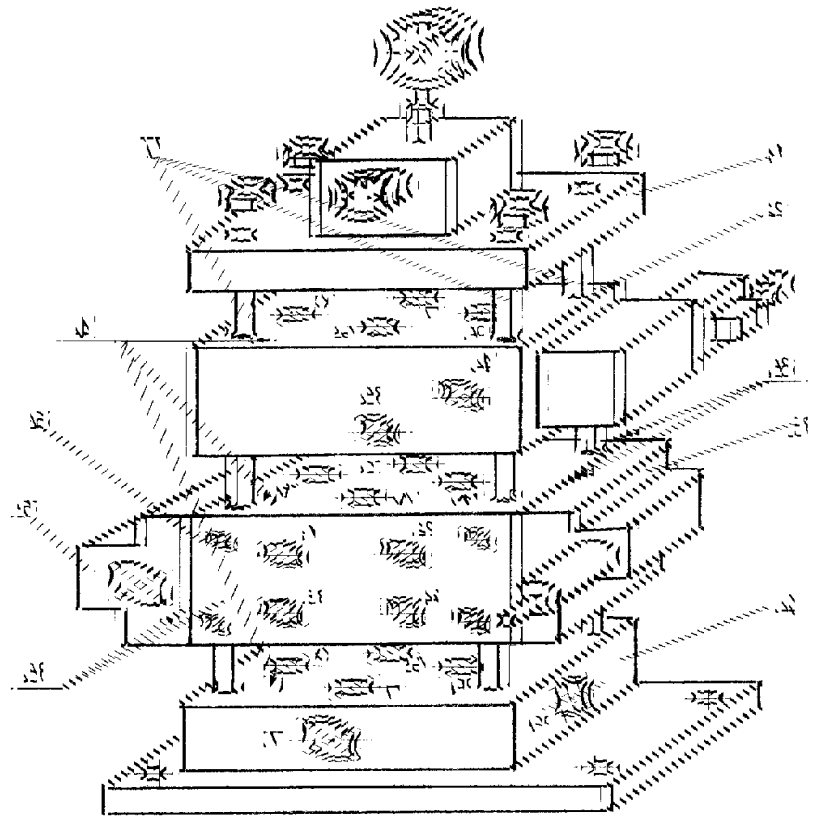


Рис. 2. Гидроблок управления: 1 – замыкающий блок переключателя манометра; 2 – блок распределителя; 3 – присоединительный блок; 4 – замыкающий блок подвода; 5 – присоединительный блок; 6 – соединительно-монтажный модуль; 7 – стяжные шпильки; А – горизонтальные плоскости блоков; В – вертикальные плоскости 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;  $\text{opt}$  - 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  $\Delta p$ ,

оказывают влияние соотношения диаметров  $d$  и  $d_3$  магистральных (M,N,K,C 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]:

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

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.

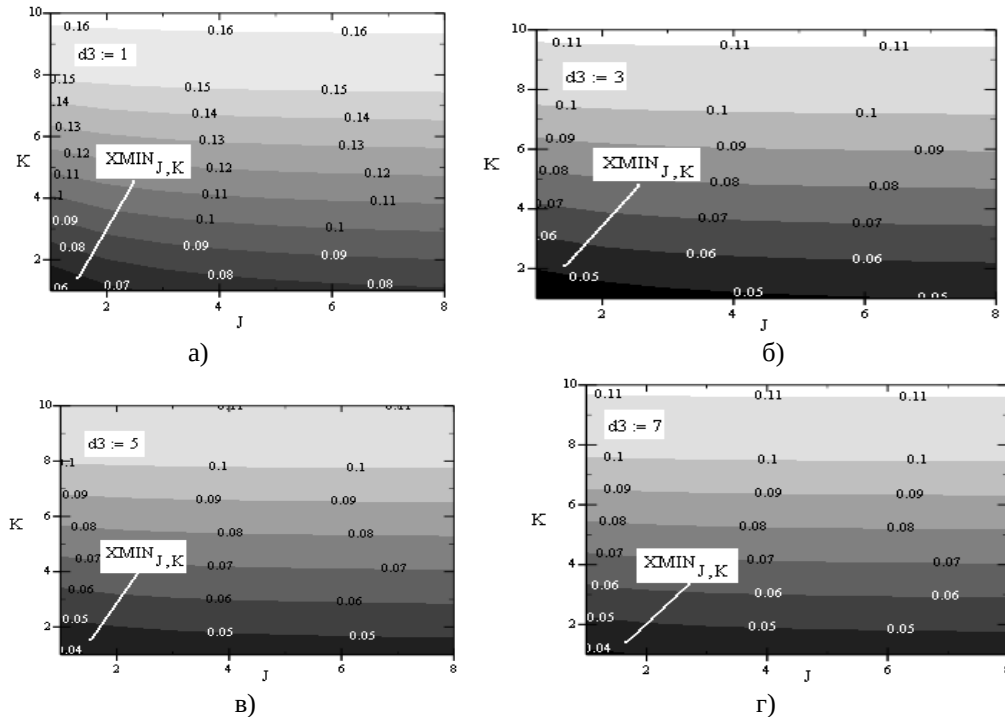


Рис. 3. Зависимость критерия оптимальности СММ  $x$  от коэффициентов важности критериев  $c_1 - c_4$  при фиксированных значениях диаметра  $d_3$  и вариациях индексов переменных  $J$  и  $K$ : а -  $d_3 = 1$  мм; б -  $d_3 = 3$  мм; в -  $d_3 = 5$  мм; г -  $d_3 = 7$  мм

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 // 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.