

УДК 62-82-112.6

РАЗРАБОТКА КОМПОНОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ И ФОРМЫ МОНТАЖНОГО КОРПУСА

В. В. ПИНЧУК, С. Ф. АНДРЕЕВ

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

В. К. ШЕЛЕГ

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

Введение

Для того чтобы сформулировать условия и требования к элементной базе агрегатно-модульных гидроблоков управления (ГУ), необходимо установить взаимосвязи между фазовыми переменными элементов подсистем на основе комбинированных моделей ГУ, включающих топологические модели ГУ подсистем и компоновочные их решения [1].

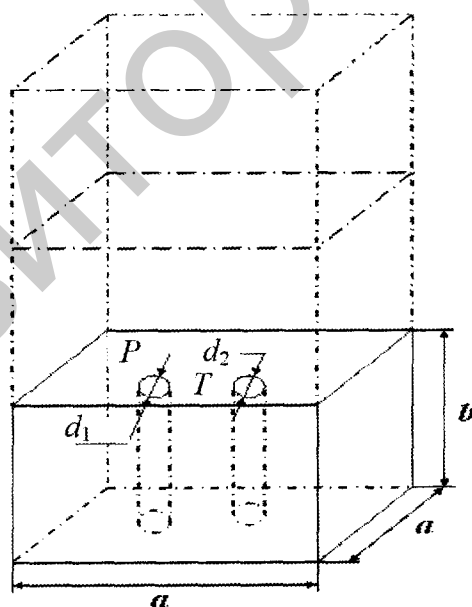


Рис. 1. Блок монтажных корпусов на основе многогранной призмы

Решение этой задачи требует разработки математической модели, отражающей схемные и компоновочные решения постановочных задач элементарных схем, что позволит нам выполнить исследования динамики изменения показателей качества ГУ на существующих конструкциях агрегатно-модульных ГУ, а также провести оценку, абстрагируясь от гидросхем, влияния порядка расположения гидроаппаратов в пространстве на эти показатели.

Целью настоящего исследования является определение оптимальной компоновки ГУ, устанавливающей расположение гидроаппаратов на монтажном корпусе.

Постановка задачи

Учитывая конструктивную форму присоединительных плоскостей гидроаппаратов наиболее рациональным расположением гидроаппаратов в пространстве будет в том случае, если они будут расположены концентрично вокруг сквозных магистральных каналов подвода и слива рабочей жидкости, а с увеличением их количества, определяемого принципиальной гидросхемой (ПС), расположение их будет образовывать спираль вокруг указанных каналов.

В связи с этим в качестве формы монтажного корпуса ГУ можно принять блок монтажных корпусов на основе многогранной призмы (рис. 1), в основании которой лежит равносторонний многоугольник с длиной стороны a . Высота призмы равна b , т. е. на каждую грань $a \times b$ может быть установлен один гидроаппарат. В призме выполнены сквозные магистральные каналы подвода рабочей жидкости P с диаметром d_1 и слива T – с диаметром d_2 .

Количество граней $a \times b$ равно n . То есть при установке N гидроаппаратов на n граней в случае $N > n$ потребуется K призм, соединенных между собой своими основаниями. Количество гидроаппаратов N зависит от сложности принципиальной гидросхемы. Для существующих технологических машин количество гидроаппаратов в гидросхемах может составлять от 3 до 30 [2]. Число призм K – функция Антье (целое) – можно определить из соотношения [2]:

$$K(n, N) = \left[\frac{N-1}{n} + 1 \right]. \quad (1)$$

Из (1) следует, что то или иное количество гидроаппаратов ПС может быть скомпоновано в агрегатно-модульный ГУ путем увеличения кратности исходной призмы. Для оценки существующих конструкций ГУ призму с числом установочных площадок n можно с определенной степенью приближения рассматривать как монтажный корпус в виде прямоугольного параллелепипеда с установленными на его боковых гранях в одном уровне гидроаппаратами.

Для того чтобы установить оптимальное пространственное расположение гидроаппаратов при создании агрегатно-модульных ГУ, необходимо разработать математическую модель монтажного корпуса ГУ и провести исследования влияния формы корпуса на показатели качества ГУ. Для этого определим критерии оптимальности монтажного корпуса. Причем в расчетах будем учитывать различия по гидравлическим потерям давления только в магистральных каналах подвода и слива, условно приняв их равными в соединениях между гидроаппаратами (так как определить их можно только после установления свойств элементов подсистем на дальнейших этапах разработки ГУ). Тогда потери давления в каналах подвода и слива можно определить [2]:

$$\Delta p_N = \lambda_1 \frac{K(n, N)b}{d_1} \rho \frac{v_1^2}{2} + \lambda_2 \frac{K(n, N)b}{d_2} \rho \frac{v_2^2}{2}, \quad (2)$$

где Δp_N – потери давления в магистральных каналах подвода и слива; λ_1 и λ_2 – коэффициенты Дарси, определяемые по известным формулам для различных режимов течения жидкости; d_1 и d_2 – соответственно диаметры каналов подвода и слива; v_1 и v_2 – скорости течения жидкости соответственно в каналах подвода и слива; ρ – плотность жидкости.

Площадь основания призмы определится как [2]:

$$S = \frac{a^2}{4 \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)} n. \quad (3)$$

Тогда для изготовления ГУ по гидросхеме с числом гидроаппаратов N нам необходимо использовать монтажный корпус, объем V_N и полную поверхность S_N которого можно определить из выражений [2]:

$$V_N = \frac{a^2 nbK(n, N)}{4 \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)}; \quad (4)$$

$$S_N = \frac{na^2 + 2 \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) nabK(n, N)}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)}. \quad (5)$$

Для определения оптимальной формы монтажного корпуса необходимо привести многокритериальную задачу к экстремальной задаче. С этой целью предложено [2] вместо набора частных показателей эффективности T_i рассматривать целевую функцию вида

$$X = \sum_{i=1}^m C_i T_i(x), \quad (6)$$

где C_i – нормированные коэффициенты взаимной важности частных критериев ($C_1 + C_2 + \dots + C_m = 1$). Они являются результатом экспертизы и отражают представление проектировщика о содержании компромисса, который он вынужден принять [2]; x – вектор управляемых переменных.

Учитывая вышеизложенное и исходя из выражения (6), общий критерий оптимальности X формы монтажного корпуса запишем в следующем виде:

$$X = \left(C_1 \frac{\Delta p_N}{\Delta p^*} + C_2 \frac{V_N}{V^*} + C_3 \frac{S_N}{S^*} \right) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где C_1, C_2, C_3 – коэффициенты взаимной важности критериев, назначаемые экспертным путем; $\Delta p^*, V^*, S^*$ – нормирующие множители.

Подставив в (7) выражения (2), (4) и (5), после преобразования получим [2]:

$$X = \frac{1}{K(n, N)b} \left(C_1 \frac{2\Delta p^*}{\rho} \left(\frac{d_1}{\lambda_1 \vartheta_1^2} + \frac{d_2}{\lambda_2 \vartheta_2^2} \right) + C_2 \frac{4V^* \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)}{a^2 n} + C_3 \frac{2S^* \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)}{an \left[a + 2 \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \right]} \right) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для определения формы монтажного корпуса необходимо выполнить исследование модели (8), последовательно задавая коэффициенты важности критериев C_1 – C_3 , число призм K , зависящее от количества гидроаппаратов в принципиальной гидро-

схеме, а также диаметры каналов d_1 и d_2 , исходя из расхода жидкости Q по каналам, полагая при этом, что размеры a и b призмы определяются размерами стыковой плоскости гидроаппаратов. На основе таких исследований можно установить пространственные компоновки гидроаппаратов в ГУ, так как во взаимосвязи с перечисленными выше параметрами в формуле (8) присутствует число граней монтажного корпуса n , которое определяет количество гидроаппаратов, расположенных в одном уровне монтажного корпуса, концентрично вокруг сквозных магистральных каналов подвода P и слива T рабочей жидкости. Кроме того, совместный анализ и синтез формы монтажного корпуса и графических моделей ГУ элементарных схем позволяют создать комбинированные модели, а также сформулировать условия и требования к стандартизированной элементной базе агрегатно-модульного конструирования ГУ.

Взаимодействие элементов ГУ определяется связями, которые соединяют элементы (гидроаппараты и монтажные корпуса) и признаки (занимаемый объем и масса; трудоемкость и соответственно стоимость изготовления; гидравлические потери давления в системе – энергетические характеристики; надежность; шумоизлучение; гидравлические утечки рабочей жидкости; возможность агрегатирования системы элементов и уровень их унификации в ГУ) в целом – множество инвариантных агрегатно-модульных ГУ. В первую очередь рассмотрим те связи, которые определяют процесс взаимодействия между элементами для достижения общей цели – соединения гидроаппаратов согласно принципиальной схеме при помощи монтажного корпуса. Множество связей между элементами (подсистемами), существующих при выполнении конкретных проектных операций (соединительных каналов в монтажном корпусе и гидроаппаратах, плоскостей для стыковки элементов между собой), составляет общую структуру ГУ. В свою очередь, общая структура ГУ состоит из структур элементов. Для разработки структуры монтажного корпуса, при помощи которого решается задача инвариантного соединения гидроаппаратов, согласно принципиальной гидросхеме воспользуемся приведенными в работе [3, с. 80] аксиомами.

Аксиома 1. Взаимодействие между элементами или подсистемами происходит по отдельным признакам. Конкретная связь может быть осуществлена только по одноименным признакам.

Аксиома 2. Между средствами (системами, подсистемами, элементами) существует связь, если:

- 1) они характеризуются хотя бы одним одинаковым признаком;
- 2) признаки имеют одинаковое значение (если изменение признака одного элемента приводит к изменению признака другого). Аналитически связь между средствами по признаку может быть определена в виде [3]:

$$g_i^{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если связь существует} \\ 0 & \text{в противном случае либо с учетом знака } (-1, 0, +1). \end{cases} \quad (9)$$

Процесс проектирования монтажного корпуса как переход от одного описания объекта к другому можно выразить как

$$O_0 = \tilde{O}P_1 \Rightarrow \tilde{O}P_2 \Rightarrow \tilde{O}P_n, \quad (10)$$

где O_0 – означает процесс проектирования; $\tilde{O}P_1, \tilde{O}P_2, \dots, \tilde{O}P_n$ – описание объекта проектирования на разных этапах его разработки.

Описание монтажного корпуса, определяющее достигаемые с его созданием и использованием цели, назовем целевым:

$$\tilde{\text{ОП}}_1 = A_0 = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}, \quad (11)$$

где A_0 – полученное описание монтажного корпуса на первом этапе; a_1, a_2, \dots, a_m – промежуточные результаты описания. Описанием объекта ОП₁ на первом этапе будет форма монтажного корпуса, полученная на основе исследований выражения (8).

Ранее установлено, что оптимальные пространственные компоновки ГУ можно получить за счет использования монтажного корпуса в виде многогранной призмы с различным числом n площадок для установки гидроаппаратов, концентрично расположенных вокруг сквозных магистральных каналов подвода и слива рабочей жидкости. Установлено также [2], [4], что нормирующие множители в формуле (8): Δp^* – гидравлические потери давления; V^* – объем монтажного корпуса и S^* – площадь наружной поверхности монтажного корпуса следует принимать V^* и S^* при $n = 3$, а Δp^* при $n = 7$ (при указанных значениях n параметры Δp^* , V^* и S^* будут иметь минимальные значения).

После подстановки в (8) нормирующих множителей Δp^* , V^* и S^* и соответствующих преобразований получим [2, с. 119]:

$$X(N, n, b) = \left(\frac{0,33K(n, N)}{(N-1)/7+1} + \frac{0,33nK(n, N)}{4\text{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)\sqrt{3}[(N-1)/3+1]} + \frac{\left[na/2\text{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) + bnK(n, N) \right] 0,33}{\sqrt{3a/2+3b}[(N-1)/3+1]} \right) \rightarrow \min. \quad (12)$$

Методы исследований

По результатам численных исследований выражения (12) получена зависимость общего критерия оптимальности ГУ X от числа граней n монтажного корпуса. С увеличением количества гидроаппаратов в гидросхеме кратность размера b призмы учитывалась коэффициентом K .

Соотношение высоты призмы b к ее ширине a рассматривалось исходя из минимального числа гидроаппаратов в гидросхеме $N = 3$, в пределах $b/a = 0,3, \dots, 0,9$. В расчетах принимаем $a = 1$.

Число гидроаппаратов в принципиальной гидросхеме рассматривалось в пределах $N = 3 - N_{\max}$. В нашем случае $N_{\max} = 30$.

На рис. 2 представлен график расчетных значений целевой функции при варьировании числа граней монтажного корпуса (площадок) для $b = 0,6, n = 3, \dots, n_{\max}, n_{\max} = 8$.

По оси абсцисс на рис. 2 отложены значения N – число гидроаппаратов.

По оси ординат отложены расчетные значения $X(N, n, b)$ – общего критерия оптимальности ГУ, используемых для установки гидроаппаратов в процессе разработки ГУ, и $b = 0,6$.

Аналогично строятся графики функции $X(N, n, b)$ для остальных значений числа b .

Для расчета параметров оптимальной компоновки агрегатно-модульных ГУ применяем выборочный метод в статистических исследованиях.

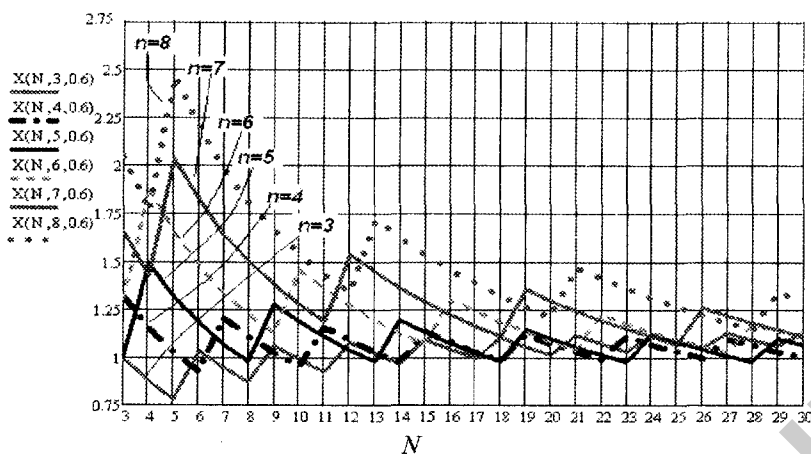


Рис. 2. График расчетных значений целевой функции $X(N, n, b)$ для $n = 3-8$ и $b = 0,6$

Полученные графики целевой функции $X(N, n, b)$ позволяют провести выборку чисел x_i и y_j , ($i = 3, \dots, N_{\max}, j = 3, n_{\max}$), удовлетворяющих условию $X(N, n, b) \rightarrow \min$.

Здесь x_i – выборочные значения числа граней многогранной призмы монтажного корпуса ГУ; y_j – выборочные значения числа гидроаппаратов.

Оптимизацию компоновки агрегатно-модульных ГУ по числу граней монтажного корпуса осуществим с помощью функции плотности нормального распределения по параметру n [5, с. 49]:

$$fn(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_n}} \exp\left(-\frac{1}{2D_n}(n - m_n)^2\right). \quad (13)$$

Двумерная функция плотности нормального распределения [5, с. 71]:

$$f(n, N) = \frac{1}{2\pi\sqrt{D_n D_N (1 - R^2)}} e^{-\left[\frac{1}{2(1-R^2)}\left(\frac{(n-m_n)^2}{D_n} - \frac{2R(n-m_n)^2(N-m_N)^2}{\sqrt{D_n D_N}} + \frac{(N-m_N)^2}{D_N}\right)\right]} \quad (14)$$

позволяет оптимизировать компоновку агрегатно-модульных ГУ по двум параметрам n и N .

В формулах (13) и (14) имеем:

– математическое ожидание: $m_n = \frac{1}{N_{\max} - 2} \sum_{i=3}^{N_{\max}} x_i$ и $m_N = \frac{1}{n_{\max} - 2} \sum_{j=3}^{n_{\max}} y_j$;

– дисперсия: $D_n = \frac{1}{N_{\max} - 2} \sum_{i=3}^{N_{\max}} (x_i - m_n)^2$ и $D_N = \frac{1}{n_{\max} - 2} \sum_{j=3}^{n_{\max}} (y_j - m_N)^2$;

– коэффициент корреляции, учитывающий взаимосвязь параметров:

$$R = \frac{\sum_{i=3}^{N_{\max}} \sum_{j=3}^{n_{\max}} (x_i - m_n)(y_j - m_N)v_{i,j}}{\sqrt{D_n D_N}}. \quad (15)$$

В формуле (15) для определения вероятностей $v_{i,j}$ [5, с. 65] оптимальных значений n и N используем формулу (1), устанавливающую взаимосвязь этих параметров:

$$v_{i,j} = \frac{K_{i,j}}{\sum_{i=1}^{N_{\max}-2} \sum_{j=1}^{n_{\max}-2} K_{i,j}}. \quad (16)$$

В формуле (16) должно выполняться условие нормировки двумерных вероятностей [5, с. 57]:

$$\sum_{i=1}^{N_{\max}-2} \sum_{j=1}^{n_{\max}-2} v_{i,j} = 1.$$

Здесь $K_{i,j}$ – элементы матрицы двумерной функции Антье.

В нашем случае $R = -0,00792$ (отрицательное значение), следовательно, для двумерного нормального распределения с увеличением числа граней n происходит уменьшение числа гидроаппаратов N .

На рис. 3 показан график функции плотности нормального распределения оптимального числа граней n многогранной призмы агрегатно-модульного ГУ.

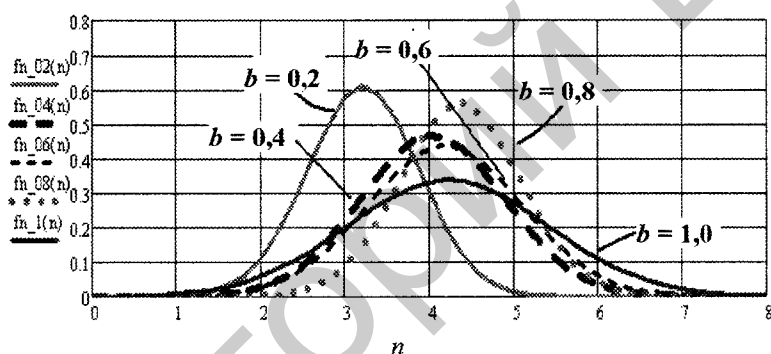


Рис. 3. График функции плотности нормального распределения числа граней n для $X(N, n, b) \rightarrow \min$

Из анализа графика функции $f_n(n)$, представленного на рис. 3, следует, что оптимальная компоновка агрегатно-модульного ГУ может быть получена при количестве граней монтажного корпуса $n = 4$.

На рис. 4 представлен график двумерной функции $f(n, N)$ плотности нормального распределения общего критерия оптимальности компоновки агрегатно-модульных ГУ по параметрам n и N для $b = 0,8$.

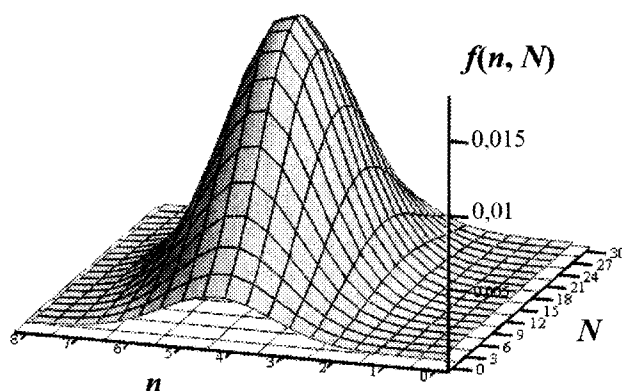


Рис. 4. Двумерная функция плотности распределения общего критерия оптимальности от числа граней монтажного корпуса n и числа гидроаппаратов N

Из анализа графика, представленного на рис. 4, следует, что оптимальная компоновка агрегатно-модульных ГУ соответствует значениям: количество граней монтажного корпуса $n = 4$; число гидроаппаратов $N = 20$.

Заключение

Таким образом, можно утверждать, что оптимальная компоновка ГУ достигается в случае расположения гидроаппаратов на монтажном корпусе модульного исполнения, имеющем сквозные магистральные каналы подвода и слива рабочей жидкости, форма которого позволяет установить в одном горизонтальном уровне четыре гидроаппарата.

Указанная компоновка системы компонентов агрегатно-модульных ГУ была использована при разработке конструкций унифицированных функциональных блоков, внедренных в производство на Гомельском заводе «Гидропривод».

Литература

1. Пинчук, В. В. Способы монтажа гидроблоков управления / В. В. Пинчук // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2004. – № 5. – С. 47–50.
2. Пинчук, В. В. Расчет и конструирование агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В. В. Пинчук, В. К. Шелег. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 270 с.
3. Быков, В. П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении / В. П. Быков. – Л. : Машиностроение, 1989. – 255 с.
4. Пинчук, В. В. Синтез гидроблоков управления на основе унифицированной элементной базы / В. В. Пинчук. – Минск : Технопринт, 2001. – 140 с.
5. Лисьев, В. П. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие / Моск. гос. ун-т экономики, статистики и информатики. – М. : Моск. гос. ун-т экономики, статистики и информатики, 2006. – 199 с.

Получено 01.10.2015 г.