

УДК 62-82-112.6(083.13)

О.К. ГУРБАН; В.В. ПИНЧУК, д-р техн. наук

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь

А.А. ГИНЗБУРГ

ОАО «ГСКТБ ГА», г. Гомель, Республика Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ ПРИ РАСЧЕТЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ МОНТАЖНЫХ КОРПУСОВ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ

Оптимизация критериев при расчете и проектировании монтажных корпусов гидроблоков управления требует разработки математической модели монтажного корпуса гидроблоков управления с учетом влияния формы корпуса. Установлено, что показатели качества с учетом гидравлических потерь давления зависят от конструктивной схемы присоединительных плоскостей гидроаппаратов, положение которых в пространстве будет расположено концентрично вокруг сквозных магистральных каналов подвода и слива рабочей жидкости. По результатам проведенных численных исследований получена зависимость общего критерия оптимальности гидроблока управления (ГУ) от числа граней и монтажного корпуса. Созданная математическая модель монтажного корпуса, включающая уравнения, описывающие поток жидкости через каждый элемент корпуса, позволяет рассчитывать общие гидравлические потери давления в магистральных каналах, используя численные методы. Проведя анализ различных вариантов формы корпуса и их влияния на гидравлические потери давления, можно определить оптимальную форму корпуса, которая обеспечит минимальные потери давления при работе монтажного корпуса ГУ. Такой подход позволяет сократить энергопотребление и повысить эффективность работы системы в целом.

Ключевые слова: приводы технологического оборудования, гидроблоки управления, технологические машины, гидроаппараты, критерий оптимальности

Введение. Оптимизация критериев при расчете и проектировании монтажных корпусов гидроблоков управления является важным этапом в создании эффективных и надежных систем управления. В последние годы наблюдается растущий интерес к проблеме повышения эффективности ГУ. В работах [1–3] приведены примеры оценки параметров в ГУ и влияние их на выходные показатели гидроблоков управления.

Для оптимизации критериев при проектировании монтажных корпусов гидроблоков управления учитывают моделирование и расчет параметров конструкции, а также проводят анализ различных вариантов формы корпуса и их влияния на гидравлические потери давления.

При комплексном подходе к оптимизации критериев проектирования монтажных корпусов гидроблоков управления можно повысить уровень их эффективности и экономичности системы управления, что будет способствовать повышению эффективности производственных процессов.

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть аспекты, включающие число граней, площадь наружной поверхности монтажного корпуса, гидравлические потери давления и количество гидроаппаратов.

Постановка задачи. Ранее установлено, что, учитывая конструктивную форму присоединительных плоскостей гидроаппаратов, наиболее рациональное расположение гидроаппаратов в пространстве концентрично вокруг сквозных магистральных каналов подвода и слива рабочей жидкости, а с увеличением их количества, определяемого принципиальной гидросхемой (ПС), их расположение будет образовывать спираль вокруг указанных каналов [4–6].

Для оценки существующих конструкций ГУ призму с числом установочных площадок n можно с опреде-

ленной степенью приближения рассматривать как монтажный корпус в виде прямоугольного параллелепипеда с установленными на его боковых гранях в одном уровне гидроаппаратами.

При разработке математической модели монтажного корпуса ГУ с учетом потерь давления при работе гидросистемы необходимо учитывать геометрические параметры корпуса и их характеристики потока жидкости через систему. Вот несколько ключевых аспектов, которые следует учесть.

1. Гидродинамические потери возникают из-за трения между движущейся жидкостью или газом и внутренними поверхностями корпуса, а также из-за изменений скорости и направления потока.

2. Пропускная способность системы — это параметр, определяющий, насколько легко жидкость или газ могут пройти через систему без значительных потерь на давление. Пропускная способность может зависеть от конструктивных особенностей корпуса, таких как диаметр каналов, форма и количество изгибов, наличие препятствий.

3. Оптимизация конструкции: использование результатов моделирования для оптимизации геометрии корпуса и распределения гидроаппаратов внутри него может помочь снизить потери на давление и повысить эффективность системы.

Учет этих аспектов при разработке математической модели позволит создать более точное и полное описание процессов, происходящих в монтажном корпусе ГУ, и обеспечить оптимальную работу системы.

Методы исследований. Для того, чтобы установить оптимальное пространственное расположение гидроаппаратов при создании ГУ приводов технологического оборудования, необходимо разработать математическую модель монтажного корпуса ГУ и провести исследо-

вания влияния его формы на показатели качества. При определении критериев оптимальности монтажного корпуса 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).

Ранее установлено [4], 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 [4], что нормирующими множителями при расчетах пространственной компоновки ГУ будут: Δp^* — гидравлические потери давления; V^* — объем монтажного корпуса; S^* — площадь наружной поверхности монтажного корпуса. Параметры Δp^* , V^* и S^* будут иметь минимальные значения.

После подстановки нормирующих множителей Δp^* , V^* и S^* и соответствующих преобразований в работе [7] получено выражение общего критерия оптимальности ГУ X :

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

где K — функция Антье (число целое) определяется из соотношения:

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

где N — число гидроаппаратов.

Число гидроаппаратов в принципиальной гидросхеме рассматривалось в пределах $N = 3 - N_{\max}$ (в нашем случае $N_{\max} = 30$), а число граней монтажного корпуса — в пределах $n = 3, \dots, n_{\max}$ ($n_{\max} = 8$). Аналогично строятся графики функции $X(N, n, b)$ для остальных значений числа b .

Для решения этой задачи по расчету параметров оптимальной компоновки агрегатно-модульных ГУ применим выборочный метод в статистических исследованиях.

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

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

а оптимизацию компоновки агрегатно-модульных ГУ по двум параметрам (числу граней монтажного корпуса n и числу гидроаппаратов в принципиальной гидросхеме N) выполним при помощи двумерной функции плотности нормального распределения:

$$f(n, N) = \frac{1}{2\pi\sqrt{D_n D_N (1-R^2)}} e^{-\frac{1}{2(1-R^2)}\left(\frac{(n-m_n)^2}{D_n} - \frac{2R(n-m_n)(N-m_N)}{\sqrt{D_n D_N}} + \frac{(N-m_N)^2}{D_N}\right)}, \quad (3)$$

где в формулах (2) и (3) для нашего случая:

- математическое ожидание

$$m_n = \frac{1}{N_{\max}-2} \sum_{i=3}^{N_{\max}} x_i \quad \text{и} \quad m_N = \frac{1}{n_{\max}-2} \sum_{j=3}^{n_{\max}} y_j;$$

- дисперсия:

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

- коэффициент корреляции, учитывающий взаимосвязь параметров:

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

Для определения вероятностей [8] оптимальных значений n и N , присутствующих в расчетной формуле коэффициента корреляции R , используем выражение, устанавливающее взаимосвязь этих параметров. В итоге получим:

$$v_{i,j} = \frac{K_{i,j}}{\sum_{i=1}^{N_{\max}-2} \sum_{j=1}^{n_{\max}-2} K_{i,j}}, \quad (4)$$

где $K_{i,j}$ — элементы матрицы двумерной функции Антье.

В формуле (4) должно выполняться условие нормировки двумерных вероятностей [9]:

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

В нашем случае $R = -0,00792$ (отрицательное значение), следовательно для двумерного нормального распределения с увеличением числа граней происходит уменьшение числа гидроаппаратов N [10].

По результатам проведенных нами численных исследований выражения (1) получена зависимость общего критерия оптимальности ГУ X от числа граней n монтажного корпуса (рисунок). По оси абсцисс на рисунке отложены значения N , используемых в процессе разработки ГУ. По оси ординат отложены расчетные значения $X(N, n, b)$ — общего критерия оптимальности ГУ при $b = 0,6$. С увеличением количества гидроаппаратов

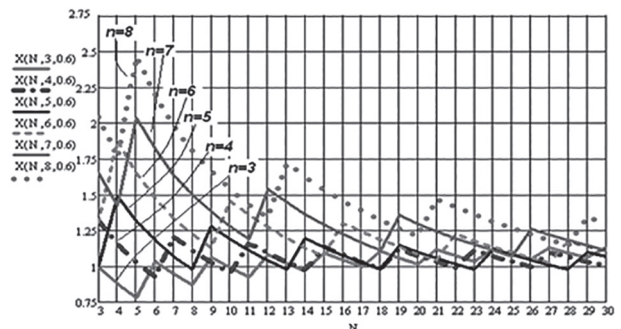


Рисунок — График расчетных значений целевой функции $X(N, n, b)$ для $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ и $b = 0,6$

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 $b/a = 0,3-0,9$. В расчетах принималось $a = 1$.

Полученный график расчетных значений целевой функции $X(N, n, b)$ позволяет провести выборку числа граней многогранной призмы монтажного корпуса ГУ x_i и числа гидроаппаратов y_j ($i = 3, \dots, N_{\max}; j = 3, \dots, n_{\max}$), удовлетворяющих условию $X(N, n, b) \rightarrow \min$.

Заключение. Использование метода математического моделирования позволяет определить конструкционные параметры монтажного корпуса с наименьшими затратами, а также разработать гидравлический привод технологического оборудования.

Список литературы

1. Chen, J. Design and optimization of mounting enclosures for machine control units in harsh environments / J. Chen, Z. Li, K. Wang // Journal of Engineering Design. — 2021. — Vol. 32, iss. 12. — Pp. 789–803.
2. Li, Z. Topology optimization of mounting enclosures for machine control units in harsh environments / Z. Li, J. Chen, K. Wang // Structural and Multidisciplinary Optimization. — 2021. — Vol. 64, iss. 4. — Pp. 1529–1543.
3. Chen, J. Parametric optimization of mounting enclosures for machine control units in harsh environments / J. Chen, Z. Li, K. Wang // Engineering Optimization. — 2022. Vol. 54, iss. 1. — Pp. 123–140.
4. Пинчук, В.В. Расчет присоединительных размеров компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроаппаратов технологических машин / В.В. Пинчук, А.В. Мархуленко, Д.Г. Ворочкин // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2013. — № 1. — С. 20–25.
5. Лисьев, В.П. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В.П. Лисьев. — М.: Моск. гос. ун-т экономики, статистики и информатики, 2006. — 199 с.
6. Пинчук, В.В. 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 // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2016. — № 4. — С. 41–45.
7. 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.
8. Азашиков, М.С. Влияние упругой связи между элементами гидроцилиндра на динамическую нагруженность стреловой группы / М.С. Азашиков, З.К. Емтыль, А.П. Татаренко // Новые технологии. — 2007. — № 3. — С. 95–96.
9. Орлов, Е.В. Автоматизированная программа расчета гидравлических параметров трубопровода при реновации альтернативных покрытий / Е.В. Орлов, Д.И. Шлычков, В.А. Орлов // Вестн. МГСУ. — 2010. — № 1. — С. 231–234.
10. Коханенко, В.Н. Модель расчета параметров потока на входе в расширение / В.Н. Коханенко, И.В. Папченко, Н.Г. Папченко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2008. — № 4. — С. 140–143.

Gurban O.K., Pinchuk V.V., Ginzburg A.A.

Optimization of criteria for calculation and design of mounting housings of hydraulic control units

Optimization of criteria for calculation and design of mounting housings for hydraulic control units requires the development of a mathematical model of the mounting housing for hydraulic control units taking into account the influence of the housing shape. It has been established that quality indicators, taking into account hydraulic pressure losses, depend on the design scheme of the mounting surfaces for the hydraulic components, which position in space will be arranged concentrically around the through mainline supply and drain channels for the working fluid. Based on the results of numerical studies, a relationship between the overall optimality criterion of the hydraulic control unit (HCU) and the number of sides of the mounting housing has been obtained. The created mathematical model of the mounting housing, including equations describing the fluid flow through each element of the housing, makes it possible to calculate the total hydraulic pressure losses in the main channels using numerical methods. Having analyzed various variants of the housing shape and their influence on the hydraulic pressure losses, it is possible to determine the optimal housing shape, which will provide the minimum pressure losses during the operation of the HCU mounting housing. This approach can reduce energy consumption and improve the overall efficiency of the system.

Поступила в редакцию 02.07.2024.