

УДК 62-82-112.6

## АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОМПОНЕНТОВ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

**В. В. ПИНЧУК, С. Ф. АНДРЕЕВ, Д. Г. ВОРОЧКИН**

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

**В. К. ШЕЛЕГ**

*Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», Республика Беларусь*

### Введение

Наиболее полно современным требованиям развития машиностроения соответствует агрегатно-модульная система построения различных машин и оборудования. Представляется, что переход к агрегатно-модульному конструированию гидроблоков управления гидроприводов технологических машин (ГУ) позволит снизить негативное влияние факторов инвариантности процесса проектирования на выходные показатели создаваемых ГУ (материало- и энергоёмкость, затраты и сроки создания). Однако при создании конструкций гидроаппаратов монтажные корпуса во внимание не принимаются, что ухудшает показатели конструкций ГУ в целом.

В связи с вышеизложенным можно утверждать, что оптимизация параметров системы компонентов с учетом монтажных корпусов ГУ позволит уменьшить материало- и энергоёмкость ГУ, повысить качество проектов.

### Постановка задачи

Установлено [1], [2], что разработка и обоснование параметров присоединительных размеров соединительно-монтажного модуля (СММ) позволяет выполнить проектирование гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ: СММ, замыкающих блоков (БЗ), блоков распределителей (БР) и присоединительных блоков (БП). Для оптимизации параметров СММ получено выражение общего критерия оптимальности [3]:

$$\begin{aligned}
 X = & \frac{C_1}{18d^2d_3} \times (d(1 + 2k\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3)^2 \times (k_1d_3(1 + \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta + \\
 & + 2\sqrt{0,25d_3^2(k_1^2 + 2k_1^2\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + 2k_1\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3(k_1\Delta + k_1\Delta\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + k_1\Delta_2\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - \Delta_2) + \Delta^2 - \Delta_2^2) + \\
 & + \frac{C_2}{6d_3d} \times (d(1 + 2k\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3) \times (k_1d_3(1 + \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta + \\
 & + 2\sqrt{0,25d_3^2(k_1^2 + 2k_1^2\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + 2k_1\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3(k_1\Delta + k_1\Delta\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + k_1\Delta_2\sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - \Delta_2) + \Delta^2 - \Delta_2^2) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{C_3}{2d_3} \times (k_1 d_3 (1 + \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta + \\
& + 2\sqrt{0,25d_3^2(k_1^2 + 2k_1^2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + 2k_1 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3(k_1 \Delta + k_1 \Delta \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + k_1 \Delta_2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - \Delta_\Sigma) + \Delta^2 - \Delta_\Sigma^2) + \\
& + \frac{C_4}{3d} \times (d(1 + 2k \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3), \quad (1)
\end{aligned}$$

где  $C_1$ – $C_4$  – коэффициенты взаимной важности частных критериев;  $d$  и  $d_3$  – диаметры магистральных и коммуникационных каналов СММ, мм;  $p_{\text{НОМ}}$  – номинальное давление рабочей жидкости в каналах СММ, МПа;  $[\sigma]$  и  $[\sigma_1]$  – допустимые напряжения материала шпилек ГУ и винтов крепления гидроаппаратов – (БП) к СММ, МПа;  $\Delta$  –  $\Delta_3$ ,  $\Delta_\Sigma$  – конструктивно задаваемые размеры зазоров и размеры стенок [1]–[3], мм. Однако общий критерий оптимальности СММ (1) лишь сужает допустимое множество вариантов проектируемой конструкции соединительно-монтажного модуля, задавая в нем множество компромиссно-оптимальных проектов – область Парето. То есть оптимизировать параметры СММ возможно на основе исследований общего критерия оптимальности СММ  $X$ , используя в качестве варьируемых параметров коэффициенты важности критериев  $C_1$ – $C_4$  и соотношения диаметров каналов  $d/d_3$ . В свою очередь предполагается, что результаты исследований критерия  $X$  позволят разработать алгоритм проектирования компонентов агрегатно-модульных ГУ для машин с различными условиями эксплуатации [3].

#### Методы исследований

Для решения поставленной задачи проведем исследование значений  $X$  по формуле (1). В качестве исходных постоянных величин примем следующие значения:  $d = 10$  мм;  $\Delta = 2$  мм;  $\Delta_1 = 1$  мм;  $\Delta_2 = 3$  мм;  $\Delta_3 = 3$  мм;  $k = k_1 = 1,45$ ;  $[\sigma] = [\sigma_1] = 1$  МПа;  $p_{\text{НОМ}} = 1$  МПа.

Диаметр магистральных каналов СММ  $d = 10$  мм принят из ряда величин условных проходов  $D_y$ , устанавливаемых ГОСТом [4]. Размеры зазоров и стенок  $\Delta_1$ – $\Delta_3$ ,  $\Delta_\Sigma$  заданы на основе рекомендаций источников [1]–[3]. Коэффициенты  $k = k_1 = 1,45$  определены исходя из размеров резиновых уплотнительных колец с диаметром резины  $d = 2,5$  мм [4]. Величины  $p_{\text{НОМ}} = 1$  МПа и  $[\sigma] = [\sigma_1] = 1$  МПа в данном случае приняты произвольно, однако для конкретных реальных гидросхем эти величины должны приниматься из перечня рабочих параметров той или иной гидросхемы.

Исходными переменными при расчетах общего критерия оптимальности СММ  $X$  являются следующие величины. Диаметр коммуникационных каналов СММ  $d_3$  задан в диапазоне от 1 до 20 мм. То есть  $d_3 = d_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 20$ ). Ввод коэффициентов  $C_1$ – $C_4$  осуществим исходя из условия  $C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 1$  [1]. Для реализации этого условия введем индексы переменных  $J = 1, 2, \dots, 8$  и  $K = 1, 2, \dots, 10$ . Исследование значений  $X$  на чувствительность к изменению коэффициентов важности критериев будем выполнять для вектора  $C_1 = C_2 = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5$  и соотношений  $C_4/C_3 = 1/1,15; 1/2; 1/3; 1/4; 1/5; 1/6; 1/7; 1/8$ . Такой подбор значений коэффициентов важности критериев  $C_1$ – $C_4$  будет наиболее полно отражать характеристику ГУ исходя из условий его эксплуатации.

Обозначим отношение  $C_4/C_3 = D$ , тогда коэффициент  $C_3$ , учитывая ранее принятое условие ввода коэффициентов, можно определить из выражения

$$C_3 = (1 - (C_1 + C_2))/(1 + D). \quad (2)$$

Введем обозначения:  $C_1 = C_{1K}$ ;  $C_2 = C_{2K}$ ;  $D = D_J$ .

Зададим векторы коэффициентов  $C_1, C_2$  и значения  $D$ :

$$C_1 := C_2 := (0.05 \ 0.1 \ 0.15 \ 0.2 \ 0.25 \ 0.3 \ 0.35 \ 0.4 \ 0.45 \ 0.5);$$

$$D = (1 \ 0.5 \ 0.333 \ 0.25 \ 0.2 \ 0.167 \ 0.143 \ 0.125).$$

Текущие значения коэффициентов  $C_3$  и  $C_4$  определим из формул:

$$C_{3J,K} = \frac{1 - (C_{1K} + C_{2K})}{1 + D_J}; \tag{3}$$

$$C_{4J,K} = D_J C_{3J,K}. \tag{4}$$

Матрицы текущих значений коэффициентов  $C_3$  и  $C_4$  приведены на рис. 1.

$$C_3 = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.4 & 0.35 & 0.3 & 0.25 & 0.2 & 0.15 & 0.1 & 0.05 & 0 \\ 0.6 & 0.533 & 0.467 & 0.4 & 0.4 & 0.333 & 0.267 & 0.2 & 0.133 & 0 \\ 0.675 & 0.6 & 0.525 & 0.45 & 0.375 & 0.3 & 0.225 & 0.15 & 0.075 & 0 \\ 0.72 & 0.64 & 0.56 & 0.48 & 0.4 & 0.32 & 0.24 & 0.16 & 0.08 & 0 \\ 0.75 & 0.667 & 0.583 & 0.5 & 0.417 & 0.333 & 0.25 & 0.167 & 0.083 & 0 \\ 0.771 & 0.686 & 0.6 & 0.514 & 0.429 & 0.343 & 0.257 & 0.171 & 0.086 & 0 \\ 0.778 & 0.7 & 0.613 & 0.525 & 0.438 & 0.35 & 0.263 & 0.175 & 0.087 & 0 \\ 0.8 & 0.711 & 0.622 & 0.533 & 0.444 & 0.356 & 0.267 & 0.178 & 0.089 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$C_4 = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.4 & 0.35 & 0.3 & 0.25 & 0.2 & 0.15 & 0.1 & 0.05 & 0 \\ 0.3 & 0.267 & 0.233 & 0.2 & 0.167 & 0.133 & 0.1 & 0.067 & 0.033 & 0 \\ 0.225 & 0.2 & 0.175 & 0.15 & 0.125 & 0.1 & 0.075 & 0.05 & 0.025 & 0 \\ 0.18 & 0.16 & 0.14 & 0.12 & 0.1 & 0.08 & 0.06 & 0.04 & 0.02 & 0 \\ 0.15 & 0.133 & 0.117 & 0.1 & 0.083 & 0.067 & 0.05 & 0.033 & 0.017 & 0 \\ 0.129 & 0.114 & 0.1 & 0.086 & 0.071 & 0.057 & 0.043 & 0.029 & 0.014 & 0 \\ 0.113 & 0.1 & 0.088 & 0.075 & 0.063 & 0.05 & 0.038 & 0.025 & 0.013 & 0 \\ 0.1 & 0.089 & 0.078 & 0.067 & 0.056 & 0.044 & 0.033 & 0.022 & 0.011 & 0 \end{pmatrix}.$$

Рис. 1. Матрицы текущих значений коэффициентов  $C_3$ – $C_4$

**Полученные результаты, их анализ и обсуждение**

В процессе исследований критерия оптимальности  $X$  варьировались параметры: изменение соотношения диаметров каналов  $d/d_3$  и значения принятых переменных  $C_{1K}, C_{2K}, C_{3JK}, C_{4JK}$  согласно заданному вектору и матрицам на рис. 1. С целью удобства обработки и анализа полученных результатов расчет функционала (1) выполнялся из условия  $X(I, J, K) = 0,01X(I, J, K)$ . Графики вариаций по значениям  $K$  для  $J = 1; 3; 5; 8$  приведены на рис. 2. На рис. 3 приведены графики вариаций по значениям  $J$  для  $K = 1; 3; 5; 8$ .

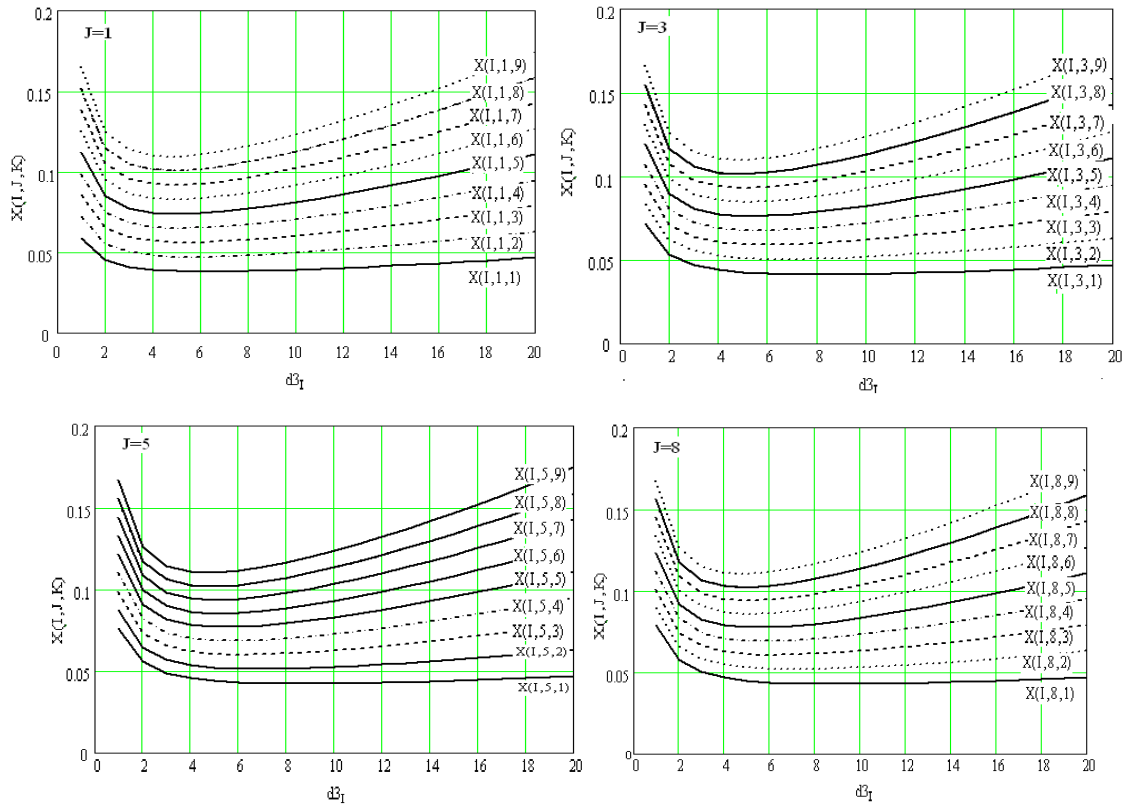


Рис. 2. Зависимость критерия оптимальности СММ  $X$  от коэффициентов важности критериев  $C_1-C_4$  для индексов переменных  $J=1; 3; 5; 8$  и вариациях индекса  $K$

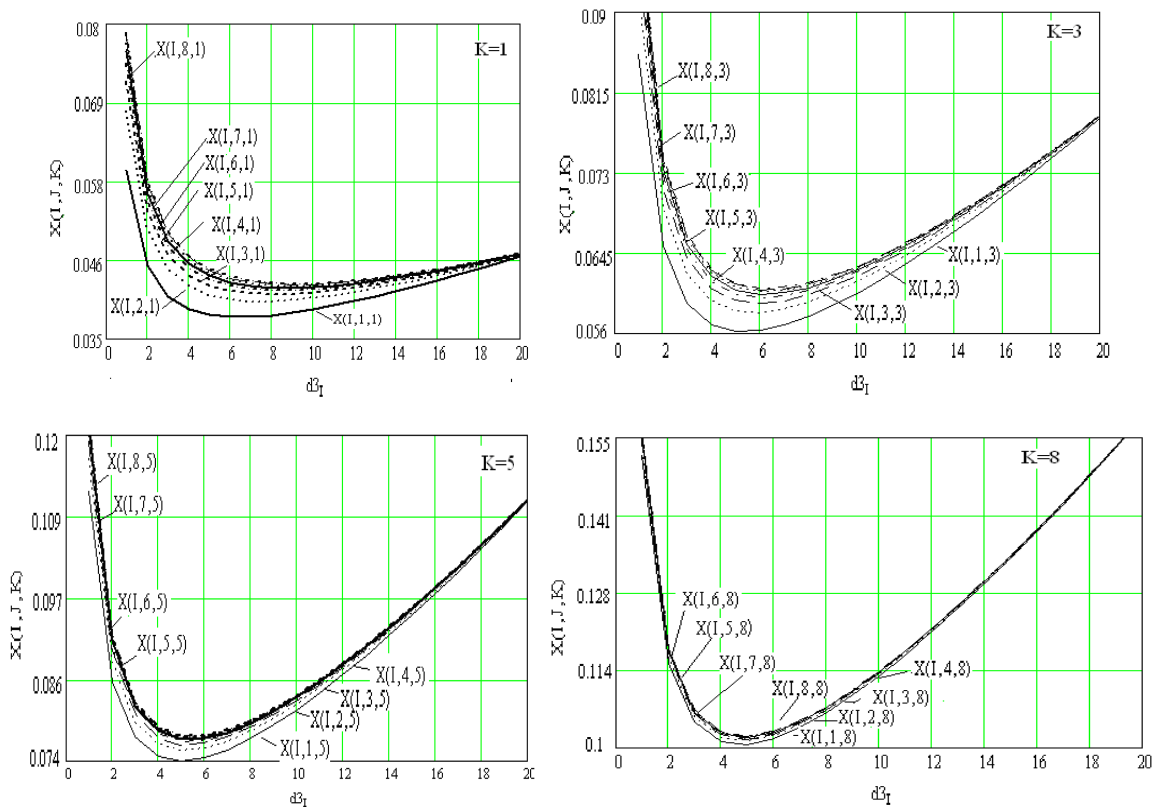


Рис. 3. Зависимость критерия оптимальности СММ  $X$  от коэффициентов важности критериев  $C_1-C_4$  для индексов переменных  $K=1; 3; 5; 8$  и вариациях индекса  $J$

Анализ рис. 2 и 3 показывает, что минимальные значения общего критерия оптимальности СММ  $X$ , что соответствует оптимальному техническому решению, имеют зависимость как от соотношения коэффициентов важности параметров  $C_1-C_4$ , так и от размера диаметра  $d_3$  коммуникационных каналов СММ, т. е. соотношения диаметров каналов  $d/d_3$ , так как величина  $d$  у нас постоянная, а  $d_3$  – переменная.

Значения локального минимума многопараметрической функции  $X$  имеют строгую зависимость между соотношением диаметров каналов  $d/d_3$  и значениями коэффициентов  $C_1-C_4$ . С увеличением индексов переменных  $K$ , что соответствует увеличению коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ , т. е. повышению значимости параметров  $V$  (объем ГУ) и  $S$  (площадь наружной поверхности ГУ), что наиболее актуально для мобильных машин, значения  $X_{\min}$  увеличиваются, а  $d_3$  уменьшается (т. е. отношение  $d/d_3$  увеличивается). Изменение  $X_{\min}$  происходит в диапазоне значений 0,04–0,11 (примерно в 2,5 раза).

С увеличением индексов переменных  $J$ , что соответствует уменьшению соотношения коэффициентов  $C_4/C_3$ , т. е. соотношению гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных каналах СММ уменьшается. Здесь значения  $X_{\min}$  увеличиваются, а размер  $d_3$ , как и в предыдущем случае, уменьшается (т. е. отношение  $d/d_3$  увеличивается). Изменение  $X_{\min}$  происходит в диапазоне 0,04–0,07 (примерно в 1,9 раза). Таким образом, на основе исследований критерия оптимальности  $X$  при вариациях индекса  $J$  имеется возможность установить оптимальное соотношение диаметров  $d/d_3$  с учетом количества СММ в ГУ.

Вместе с тем, если зафиксировать размер диаметра  $d_3$ , то вариации индексов переменных  $J$  и  $K$  при исследовании критерия оптимальности СММ  $X$  позволяют получить области оптимальных значений коэффициентов важности параметров  $C_1-C_4$ .

Результаты таких исследований приведены на рис. 4.

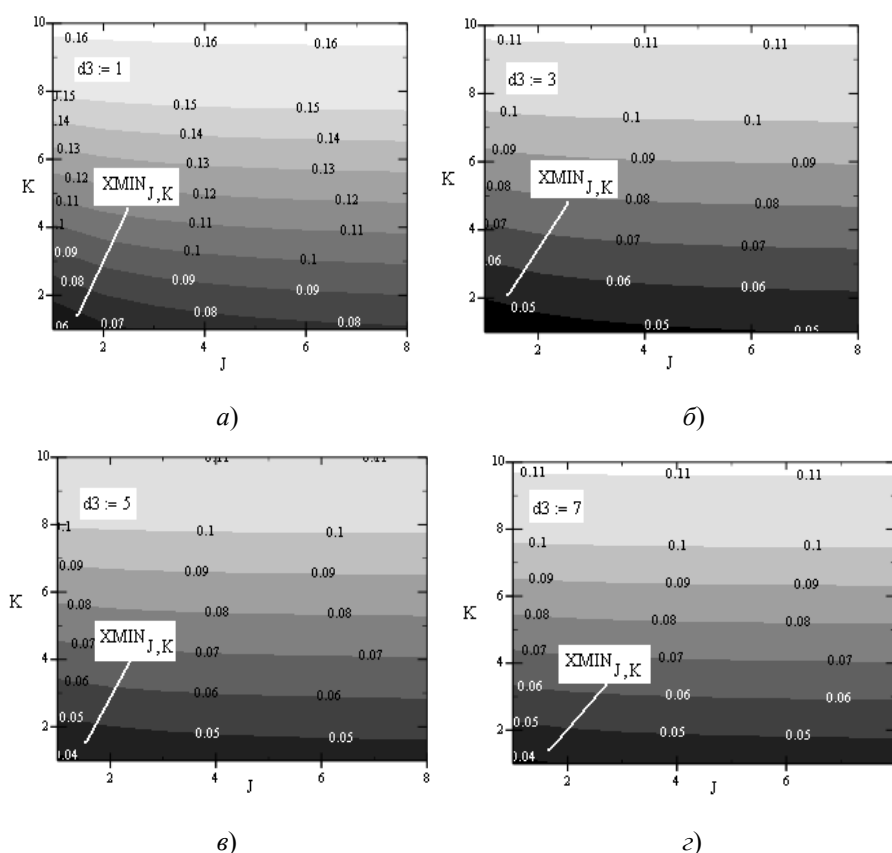


Рис. 4. Зависимость критерия оптимальности СММ  $X$  от коэффициентов важности критериев  $C_1-C_4$  при фиксированных значениях диаметра  $d_3$  и вариациях индексов переменных  $J$  и  $K$ : а –  $d_3 = 1$  мм; б –  $d_3 = 3$  мм; в –  $d_3 = 5$  мм; г –  $d_3 = 7$  мм

### Заключение

Учитывая изложенное, осуществить проектирование СММ, БП, БР, БЗ возможно на основе следующей последовательности действий (алгоритма проектирования системы компонентов агрегатно-модульных ГУ): необходимо задаться соотношением коэффициентов  $C_3/C_4$  с учетом одновременно работающих согласно принципиальной гидросхеме исполнительных органов привода; задаться величиной коэффициентов важности критериев  $C_1$  и  $C_2$  исходя из степени важности параметров  $V$  и  $S$  СММ по отношению к гидравлическим потерям давления в его горизонтальных и вертикальных каналах; по диаграммам на рис. 4,  $a-z$  с учетом заданных соотношений  $C_3/C_4$  и коэффициентов  $C_1$ ,  $C_2$  определить значение  $d/d_3$ ; установить диаметр  $d_3$ , исходя из требуемой пропускной способности расхода рабочей жидкости через СММ; исходя из размера  $d_3$  и соотношения  $d/d_3$ , используя зависимости размеров СММ, приведенные в источнике [3], выполнить расчеты габаритных и присоединительных размеров СММ; используя полученные размеры СММ, выполнить проектирование гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ. Указанный алгоритм проектирования системы компонентов агрегатно-модульных ГУ был использован при разработке конструкций унифицированных функциональных блоков, внедренных в производство на Гомельском заводе «Гидропривод».

### Литература

1. Пинчук, В. В. Проектирование унифицированных функциональных блоков / В. В. Пинчук, Н. В. Кислов // Вес. нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2001. – № 2. – С. 63–68.
2. Пинчук, В. В. Проектирование компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В. В. Пинчук, С. Ф. Андреев, А. В. Пархоменко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2010. – № 1 (40). – С. 39–48.
3. Пинчук, В. В. Алгоритм проектирования системы компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В. В. Пинчук, А. В. Марухленко, Д. Г. Ворочкин // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 1 (40). – С. 39–48.
4. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 510 с.
5. 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.

Получено 08.02.2013 г.